

L'approche spatiale en pédologie

Fondement de la connaissance des sols dans le milieu naturel Réflexions liminaires

G. PEDRO⁽¹⁾

RESUME

Cette présentation tente d'aborder quelques aspects concernant les relations des sols avec l'espace. Comme il s'agit d'un problème complexe et qui est loin d'être décanté au jour d'aujourd'hui, la meilleure façon de procéder semble être de présenter schématiquement les choses à travers les grandes options qui ont marqué ces problèmes au cours du temps.

— L'approche agrochimique du sol a concerné les seules zones cultivées (ager) et prenait comme cadre de travail la division de l'espace agricole (parcellaire). L'objet étudié était la « terre » d'un champ (terrain), que l'on appréhendait indépendamment des parcelles voisines et que l'on caractérisait analytiquement au laboratoire (physiquement et surtout chimiquement), afin d'évaluer son aptitude à la production, puis d'améliorer sensiblement cette dernière grâce à l'apport raisonné d'intrants (engrais et amendements) : Chimie agricole - Agrologie.

— La seconde voie, qui doit retenir l'attention, résulte de l'émergence de la Pédologie, qui considère le sol comme un objet naturel à polarité essentiellement verticale, ayant des caractéristiques propres et pouvant être assimilé de ce fait à une entité définie. Mais les sols étant variés et diversifiés spatialement, il a fallu procéder tout d'abord à un inventaire des grands types de sol de la Planète (en se référant principalement aux milieux non cultivés), inventaire qui a débouché comme dans toutes les sciences naturelles sur l'élaboration de classifications. Ce sont celles-ci qui ont servi de base à l'expression spatiale du milieu pédologique, avec *in fine* l'adoption implicite de l'équivalence entre unité taxonomique et unité cartographique et d'autre part, la recherche d'une correspondance entre l'unité taxonomique et l'échelle retenue (ou imposée) pour le document graphique à réaliser.

— Devant les insuffisances présentées par cette conception, surtout à grande échelle, une autre vision de l'espace pédologique fait surface et se développe depuis une quinzaine d'années. Dans cette approche, c'est la différenciation spatiale elle-même du milieu étudié (qu'il soit cultivé ou naturel), ou mieux l'hétérogénéité spatiale, qui est appréhendée en premier et qui fait alors l'objet de véritables recherches. « Toute couverture pédologique devient modélisable par un nombre fini de volumes ; ceux-ci se regroupent en ensembles distincts, ordonnés par emboîtement et juxtaposition, correspondant à des échelles de différenciation de paysages successives » (M. GAVAUD). Naturellement, la référence à des connaissances pédologiques générales demeure ; mais c'est alors un référentiel scientifique qui s'impose, et non pas une systématique qui se voudrait exhaustive et, par là même, totalisante.

Ainsi, après une phase d'étude des sols sans se référer à l'espace (Approche agrochimique) et une phase de mise au point de nomenclatures pour traiter des rapports des objets pédologiques avec l'espace (Approche taxonomique),

(1) Laboratoire des Sols, INRA, 78000 Versailles.

une troisième voie basée sur la prise en compte directe de l'espace se met progressivement en place (Approche topologique) ; c'est elle qui constitue aujourd'hui le fondement véritable de la connaissance des sols dans le milieu naturel.

MOTS CLES : Cartographie pédologique - Classification - Référentiel - Analyse tridimensionnelle.

THE SPATIAL APPROACH IN PEDOLOGY

Basis of the soil knowledge under natural conditions

This paper tries to deal with some aspects concerning the relations between soils and space. As it is a complicated problem which is far from being clarified nowadays, the best method seems to make a chronological approach.

— *The agrochemical approach concerned the only cultivated areas (ager) and dealt with the division of the agricultural zone (into plots). The object under study was the « soil » of field (plot) which was study independently of the surrounding plots and was analysed in the laboratory (from a physical and chemical point of view) in order to evaluate its production capacity and to improve considerably the latter through rational inputs (fertilizers and soil improvement) : Agricultural chemistry - Agrology.*

— *The second approach result from pedology which considers soil as a mainly vertically oriented natural objet having its own characteristics and being likely, therefore, to give rise to well defined bodies. But as soils are varied and diversified in space, a survey of the great types of soils had to be made (by referring mainly to the non cultivated areas) which resulted in the establishment of classifications as in any natural sciences. These classifications were used to define soils in space by adopting implicitly the equivalence between the taxonomic unit and the mapping unit and by trying to find a correlation between the taxonomic unit and the scale selected (or imposed) in order to produce the graphic document.*

— *Considering the limits imposed by this approach, above all on a large scale, an other approach of pedological space has been developing since about fifteen years. In this light, the space differentiation of the soil under study (whether it is cultivated or virgin) or better the space heterogeneity is analysed first and leads to conduct genuine researches. « Any soil mantle is likely to be modelized by a definite number of volume which are grouped into distinct units being fitted together and juxtaposed and corresponding to successive levels of soil differentiation » (M. GAVAUD). It is obvious that one still refers to general soil knowledge ; but then it is necessary to use a scientific reference system and not systematics which woul mean to be exhaustive.*

Thus, after having studied soils without referring to space (Agro-chemical approach) and after having established nomenclatures in order to deal with relations soils and space (Taxonomic approach), a third approach based directly on space develops gradually (Topological approach) and is nowadays at the basis of the soil knowledge under natural conditions.

KEY WORDS : Soil mapping - Classification - Reference system - Tridimensional analysis.

INTRODUCTION

La connaissance et la caractérisation des sols de la planète, ainsi que la compartimentation de la couverture pédologique constituent encore aujourd'hui un problème très difficile, en tout cas beaucoup plus difficile qu'on a pu l'envisager durant de longues années. Il était donc grand temps que la science pédologique prenne à bras le corps de telles questions, car en tout état de cause l'aspect spatial en Pédologie représente à la fois le point d'entrée et le point

de sortie de l'ensemble des travaux relatifs, non seulement aux sols eux-mêmes, mais encore aux interactions de ceux-ci avec les autres paramètres de l'écosystème terrestre, homme compris naturellement ; et ceci tient avant tout au fait qu'à la surface du Globe les sols peuvent être diversifiés à tous les niveaux, c'est-à-dire à quelque échelle que l'on se place, de la plus petite (qui est celle correspondant à la planète entière) jusqu'à la plus grande (comme par exemple l'échelle du cadastre).

Aussi, le problème majeur de la Pédologie consiste-il aujourd'hui à réaliser une mise à jour dans ce domaine, la meilleure façon de tenter de la faire étant de revenir impérativement à la description, à la caractérisation et à la définition des objets ou corps pédologiques eux-mêmes.

Partant de là et en ce qui concerne cette introduction, il est clair que c'est en présentant, même schématiquement, les grandes options qui se sont manifestées au cours du temps, qu'on peut le mieux suivre l'évolution des idées et préciser les tendances actuelles. C'est donc cette manière de faire qui sera adoptée et à cet effet, nous évoquerons successivement :

- l'absence de relations de la Chimie agricole avec l'espace,
- le rôle joué par la Pédologie après son émergence et au cours de la première phase de son développement jusqu'aux années 1960,
- enfin, l'état actuel des relations sol-espace au sein d'une conception plus élargie de la connaissance pédologique.

Mais on aurait pu procéder autrement comme GAVAUD (1989) l'a envisagé très récemment.

I. DE LA CHIMIE AGRICOLE A LA PEDOLOGIE

La première approche scientifique sur le sol a été celle de la Chimie agricole, qui a eu un grand développement et un immense prestige au cours du XIX^e siècle à la suite des travaux de LIEBIG et de BOUSSINGAULT. Dans cette approche, qui a été la voie unique pendant longtemps, le sol en tant qu'objet de la nature n'est pas envisagé et encore moins défini ; il est simplement utilisé à des fins agricoles.

Or, il résulte de cet état de choses plusieurs éléments :

— seule la partie supérieure, la « terre arable », est prise en considération (absence de dimension verticale) et étudiée sous l'angle chimique vis à vis notamment des nutriments : (N, K, P)... qu'on essaie avant toute chose d'appréhender par voie analytique : teneur en éléments totaux, teneur en éléments dits « assimilables », teneur en éléments échangeables...

— si le sol occupe une certaine surface de l'espace cultivé (*ager*), c'est à la parcelle, unité foncière et administrative, que l'on fait référence.

Dans cette optique, l'analyse effectuée sur un échantillon du champ conduit à préciser la fertilisation qui doit être appliquée à toute la parcelle, celle-ci étant ainsi appréhendée comme une unité et traitée de la sorte à peu près indépendamment de ce qui se passe à côté.

Or, une telle approche agrochimique dans un contexte essentiellement *foncier* paraît bien incomplète :

— Tout d'abord elle considérait le sol comme un matériau statique (support des cultures et relai de l'alimentation des plantes), et non évolutif ; elle ne prenait donc pas en compte le temps.

— Par ailleurs, elle ne faisait pas intervenir non plus l'espace, ni verticalement vers la profondeur, ni surtout horizontalement dans ses dimensions latérales. Les aspects en relation avec la cartographie n'étaient jamais envisagés, puisque les problèmes à régler étaient abordés et traités cas par cas (c'est-à-dire parcelle par parcelle).

L'Agronomie reposait donc essentiellement sur le trépied classique : « Amélioration des plantes — Fertilisation — Protection des cultures », en sorte qu'il y avait à proprement parler, et malgré les tentatives de ce qu'on a appelé les « agropédologues », impasse vis à vis du sol (si ce n'est qu'en tant que « système-relai »). Cela a eu cependant un certain succès parce que dans les espaces agricoles des moyennes latitudes, le sol est relativement « stable » et qu'avec les modes de culture en usage, basés en particulier sur l'utilisation de la jachère, l'épandage du fumier, un faible apport en énergie mécanique..., l'intégralité du sol n'était pas mise en cause.

Mais ceci n'est plus vrai aujourd'hui, ni dans les moyennes latitudes où l'agriculture s'est fortement intensifiée depuis 50 ans, ni dans les autres régions du monde où les conditions du milieu font que l'on est en présence de terres fragiles, même vis à vis d'une agriculture extensive.

De ces quelques éléments, il ressort en définitive que le sol ne se présente donc pas comme un simple matériau que l'homme utilise comme bon lui semble ; c'est un point de passage obligé en vue de la mise en valeur de la Planète, et ce aussi longtemps qu'il faudra nourrir l'humanité. Dans ces conditions, une approche aussi *fragmentaire* et artificielle ne paraît pas du tout satisfaisante ; d'où l'intérêt de la mise en œuvre, dès la fin du siècle dernier, d'une problématique plus générale qui est celle de la Pédologie.

II. APPORT DE LA PÉDOLOGIE - INTÉRÊT ET LIMITATION

A) BREF APERÇU SUR LES IDÉES FORCES EN PÉDOLOGIE

Avec les travaux de DOKOUCHEV dans les vingt-cinq dernières années du XIX^e siècle, l'étude des sols peut s'appuyer sur des fondements scientifiques qui lui sont propres et qui forment le corps d'une nouvelle discipline : la Pédologie (G. PEDRO, 1986).

Le point de départ repose sur le fait que le sol représente un objet naturel, différencié verticalement et diversifié spatialement. A partir de là, deux directions privilégiées ont fait l'objet de travaux :

— l'une est liée à la connaissance des divers objets pédologiques représentés à la surface du globe (sols *naturels* plus particulièrement),

— l'autre est en rapport avec l'expression naturelle de la diversification spatiale : c'est l'aspect cartographique à proprement parler.

1. Connaissance des sols

Le fait de considérer le sol comme un objet naturel dans l'ambiance intellectuelle de la fin du XIX^e siècle, c'est-à-dire à la fois naturaliste (classification) et évolutionniste (genèse) a conduit d'entrée à le concevoir comme une sorte d'« entité anatomique » que l'on pouvait caractériser et exprimer par référence à un « profil vertical ».

Ceci étant admis, la démarche à développer était la même que dans les autres sciences naturelles, à savoir :

— observer la diversité pédologique à la surface du globe et essayer d'extraire et de dénommer les types de sols qui paraissent liés à des conditions de genèse bien déterminées, afin d'en faire l'inventaire ;

— établir une classification de ces objets-sols, afin de disposer d'un canevas susceptible d'apporter des éléments de compréhension relatifs à la diversité pédologique.

C'est d'ailleurs ce qui a été tenté très tôt, et ce d'autant plus qu'on disposait d'entrée de jeu, grâce à DOKOUCHEV, d'un « modèle » génétique séduisant.

Mais l'inventaire n'a pas été aussi aisé à établir qu'on l'avait envisagé à première vue, en sorte que les premières classifications proposées ont inévitablement été conçues :

— à partir d'inventaires incomplets (ainsi certains types, tels les andosols, planosols, sols oxydiques... sont apparus bien plus tard) ;

— et en référence à des objets, qui n'étaient pas toujours aussi faciles à saisir qu'on pouvait le souhaiter.

Or, en Pédologie spécialement, on ne conçoit bien que ce que l'on a vu et étudié, et c'est ce qui explique que la nature du milieu géographique dans lequel a évolué tel ou tel chercheur, ait eu une importance considérable sur les conceptions mêmes que celui-ci développait sur le plan pédologique.

Ici aussi, et peut-être plus qu'ailleurs, « chacun trouve midi à sa porte ». On peut citer à ce sujet l'influence de la plaine russe sur les conceptions de DOKOUCHEV, et celle jouée par les sols de l'Iowa aux USA sur les travaux de G. SMITH et R. SIMONSON. Ce qu'on retrouve d'ailleurs dans d'autres disciplines, avec par exemple le rôle qu'a eu le Bassin de Paris au cours des premières phases de la Géologie (stratigraphie).

Au demeurant, il est bon de préciser à ce stade qu'une classification « naturelle », aussi bonne soit-elle, ne paraît pas être une donnée suffisante en pédologie, les sols ne pouvant pas être traités comme des plantes ou des animaux, du fait que leur existence même est par nature liée à l'occupation d'une certaine surface ; d'où l'importance « congénitale » de leur expression spatiale et l'intérêt de prendre en compte l'aspect cartographique de la question.

2. Expression cartographique

Etant donné l'approche envisagée, l'expression graphique de la répartition des sols consistait avant tout à retrouver les sols-types (des classifications) au sein d'une zone à étudier (souvent une feuille à contour quadrangulaire) et à essayer ensuite de les délimiter spatialement.

C'est en ce sens qu'on a pu dire que la cartographie des sols était une application de la pédologie typologique ou encore qu'elle n'était qu'un sous-produit de la classification (G. PEDRO, 1986).

Aussi dans une telle conception, et cela a été vrai surtout autour des années 1960, la classification apparaît-elle comme l'épine dorsale de la Science pédologique, pour la bonne raison qu'elle sert *en même temps* à structurer les connaissances pédogénétiques et à exprimer les unités cartographiques du milieu superficiel.

B) ÉVOLUTION DES IDÉES ET DES DÉMARCHES - PROBLÈMES DE CARTOGRAPHIE DES SOLS

Durant une longue période la classification est restée l'élément de base en vue des opérations cartographiques ; mais étant avant tout l'élément de connaissance, son élaboration est demeurée encore trop souvent entre les mains de pédologues non cartographes.

A ce sujet et en résumant quelque peu, on peut dire qu'au plan strictement cartographique, ceci a conduit à deux grandes manières de procéder : l'une de type descendant avec en quelque sorte un amalgame de plus en plus net entre les deux aspects classification-cartographie, l'autre de type ascendant qui tend à déboucher à la limite sur une disjonction quasi-totale des opérations.

1. Premier type de démarche

Dans cette approche, l'amalgame classification-cartographie, c'est-à-dire contenu-contenant, a été envisagée jusqu'à son terme le plus extrême, en sorte que :

— l'expression cartographique n'était souvent que pédologique, ce qui en pratique signifie que cette démarche tendait à rendre compte de l'extension des sols indépendamment de toutes les autres composantes du milieu ;

— l'équivalence unité taxonomique-unité cartographique était devenue une contrainte absolue (plus ou moins bien vécue d'ailleurs), de telle manière que le niveau taxonomique retenu était fonction de l'échelle du document cartographique à élaborer.

Considérée de l'intérieur, donc en harmonie avec son contenu intellectuel, une démarche de ce genre apparaît à première vue cohérente. En fait, elle s'est avérée très vite délicate à appliquer sur le terrain, c'est-à-dire dès lors que l'on a eu *réellement* des cartes à établir, à *grande échelle* en particulier. Il faut rappeler à ce sujet les problèmes qu'ont eu à résoudre, par exemple en France, les pionniers de la cartographie des sols : R. BETREMIEUX à l'INRA (Versailles), E. SERVAT et le Service d'Etude des Sols - INRA (Montpellier), les Services des Sols des Sociétés d'Aménagement... dans les années 1960-1970. Mais on pourrait citer aussi beaucoup d'expériences du même type à l'étranger.

2. Deuxième type de démarche

Partant de la réalité terrain, ce procédé envisage de décrire, caractériser et dénommer *toutes* les situations pédologiques que l'on est susceptible de rencontrer dans le milieu naturel, situations qu'on caractérise à travers la notion de série et qu'on peut rattacher à la systématique générale par l'intermédiaire de la notion de *pedon*.

C'est ce qui a conduit à l'élaboration de taxonomies basées sur des critères quantitatifs et se voulant exhaustives. La Soil Taxonomy (1975), qui est le produit des recherches engagées aux USA depuis la dernière guerre, est l'exemple même de ce type d'approche.

Or, avec cette conception, on a abouti la plupart du temps à une *disjonction* assez nette entre les opérations ayant pour trait au contenu (détermination des limites) et celles relatives au contenant (dénomination des unités) :

— L'établissement des limites ressort ici des travaux du Service de Prospection basés sur les caractéristiques générales du milieu : géologiques, géomorphologiques..., et en relation avec les données de la photographie aérienne et de la télédétection spatiale.

— Vient ensuite la dénomination des diverses unités délimitées (contenu), ce que l'on fait après une sélection sur le terrain d'un pedon représentatif et en se référant à une taxonomie, qui a été conçue ailleurs et par d'autres, et que l'on utilise ainsi comme une sorte de code.

Une telle manière de faire a eu un certain succès dans la mesure où elle codifiait les opérations de rattachement(*). Mais une codification de ce type peut-elle être une fin en soi ? N'aboutit-elle pas très souvent à des expressions invraisemblables, à défaut d'être erronées, de la nature pédologique ? On peut par exemple à ce stade rappeler combien la notion de *B argilique* a empoisonné les problèmes de caractérisation pédologique.

D'un autre côté, elle a plusieurs conséquences néfastes :

— renforcer implicitement l'idée de l'entité-sol, ce qui est au plan intellectuel un recul, car tout pédologue de terrain se rend bien compte que le sol ne peut être mis en boîte ;

— rendre quelque peu ésotérique la pédologie et les cartes pédologiques ;

— de ce fait, détacher plus ou moins de la pédologie ceux qui, en amont

(*) D'autant qu'en théorie, la solution proposée est unique ; on sait en réalité que tout ceci n'est pas dans la pratique aussi évident qu'on a pu le penser (cf. à ce sujet, J.H. KAUFMAN, 1987).

ou en aval, manifestaient le besoin de s'appuyer sur elle ; et dans ce domaine, on peut citer : agronomes, hydrologues, géologues, géographes,...

III. RETOUR A LA RÉALITÉ PEDOLOGIQUE

IMPORTANCE DE LA CONNAISSANCE SPATIALE DANS LE DÉVELOPPEMENT ACTUEL DE LA PÉDOLOGIE

Jusque là et d'une manière générale (1), même lorsqu'on envisageait les problèmes de cartographie des sols, il faut bien souligner que l'accent était mis essentiellement sur le contenu (cf. M.C. GIRARD, 1983). Mais progressivement, dès lors que les pédologues ont eu à regarder les choses de plus près sur le terrain, un certain nombre d'insatisfactions sont apparues. Citons-en quelques unes seulement, à titre d'exemple, qui sont soit d'ordre cartographique, soit d'ordre taxonomique :

— Du côté de la cartographie tout d'abord, il est apparu que l'homogénéité pédologique, même sur des surfaces limitées, existait peu à grande échelle ;

— Au plan taxonomique d'un autre côté, on s'est aperçu dans un certain nombre de cas que deux sols portant le même nom pouvaient être plus différents que deux sols auxquels avaient été donnés des noms distincts.

A partir de ce constat, deux attitudes étaient à même de se développer quant à l'expression réaliste de la différenciation spatiale :

a) ou bien on se coupait totalement des conceptions pédologiques, et on en revenait à des pratiques pragmatiques plus ou moins analytiques pour tenter de représenter la réalité sol ;

b) ou bien on conservait l'apport de la pédologie mais en l'adaptant, de façon à bien exprimer les phénomènes pédologiques dans l'espace et à mettre l'accent sur le contenant. Dans cette optique, il est certain que l'aspect cartographique de type naturaliste est intimement lié à la démarche pédologique, qui a pu de la sorte être complètement renouvelée.

C'est de cette seconde attitude dont il va être question maintenant, la première ne pouvant donner lieu à un développement scientifique que dans la mesure où elle est susceptible de s'insérer dans une filière géostatistique.

A) BRÈVE PRÉSENTATION DES APPROCHES ACTUELLES

Les idées les plus récentes partent du fait que la couverture pédologique est une composante majeure de l'écosystème terrestre et que son étude véritable implique la prise en compte de son extension dans l'espace et, par voie de conséquence, de son développement dans le temps.

A partir de là, les travaux de terrain ont conduit à montrer que les choses n'étaient pas aussi simples qu'on l'avait envisagé au cours du passé récent et à mettre l'accent en particulier sur plusieurs points :

a) Tout d'abord le sol n'est pas un corps à contour délimité, puisqu'il se présente généralement dans l'espace comme un continuum. Ce n'est donc pas à proprement parler un objet, mais un *quasi-objet*.

b) En second lieu, les différents sols du milieu naturel ne peuvent être considérés comme des objets pédologiques de même facture ; et de ce point de vue, il est souhaitable d'emblée de distinguer :

(1) Il est clair qu'un certain nombre de pédologues ne voyaient pas les choses de cette façon : H. JENNY, M.G. CLINE, etc., mais ils n'ont pas été suivis à l'époque par les instances pédologiques officielles.

— les sols entiers, développés, évolués qui tendent vers un équilibre et qui sont en quelque sorte les *vrais* objets pédologiques ;

— des sols frustrés (peu évolués - minéraux bruts) où la morphogénèse prend le pas sur la pédogénèse.

Par ailleurs, un sol (contrairement à un animal ou à un végétal) ne meurt pas, sauf si l'érosion le fait disparaître ; il évolue *en permanence* pour s'adapter aux conditions du milieu, qui peuvent être constantes ou encore variables au cours des âges. En sorte que s'il y a des sols monogéniques parmi les couvertures pédologiques assez récentes, il existe aussi à la surface du Globe beaucoup de sols polygéniques, marqués par des évolutions, soit continues, soit discontinues dans le temps :

— Les premiers peuvent être considérés comme des « volumes pédologiques de référence » (ce qu'on a appelé longtemps des types de sol) ;

— Les seconds, malgré l'apparence, non ; on peut certes les caractériser par un profil spécifique (profil synthétique régional), mais celui-ci n'a pas exactement la signification d'un type de sol. A titre d'exemple, il est aisé de se référer aux sols de la zone tropicale sèche d'Afrique de l'Ouest, qui résultent en grande partie d'un héritage paléoclimatique, pas forcément très ancien, et où la mise en équilibre ne concerne que l'épipédon (M. GAVAUD, Communication personnelle - 1989).

L'approche des problèmes pédologiques n'est donc pas la même, suivant qu'on a affaire à :

— des milieux *instables* dominés par la morphogénèse actuelle : domaine des sols peu évolués ou tronqués...

— des milieux *stables*, plus mûrs, où l'évolution prépondérante est de nature pédologique : domaine des sols-type classiques de la pédologie (sols à tendance monogénique),

— et enfin des milieux *pénestables* à histoire plus ancienne et où la pédogénèse adaptative se traduit par des modifications morphogéniques liées à l'approfondissement géochimique et à l'action des facteurs externes : c'est le domaine de ce qu'on appelle aujourd'hui les systèmes de transformation pédologique, dont un exemple est donné figure 1, avec l'individualisation de couvertures complexes, souvent de type polygénique.

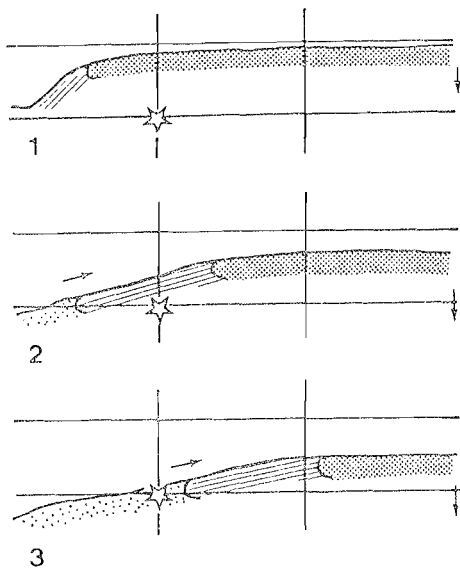


Figure 1 : Dynamique des systèmes de transformation : relations entre l'enfoncement vertical de la couverture pédologique et son évolution latérale dans les systèmes sols ferrallitiques-podzols de l'Amazonie (d'après Y. LUCAS et al., 1988) - en pointillé dense : domaine ferrallitique ; en pointillé large : domaine podzolique ; en hachure : domaine de transition.

Evolution of transformation systems : relations between the vertical subsidence of the soil cover and its lateral displacement in the ferrallitic-podzolic soil systems of Amazonia (from Y.LUCAS et al., 1988).

A partir de là, le problème des relations de la couverture pédologique et de l'espace doit être réexaminé. Plusieurs situations peuvent être brièvement évoquées (fig. 2) :

— Dans le cas le plus simple, qui était à peu près le seul envisagé avec les conceptions classiques, l'évolution se fait essentiellement sous l'influence de l'action de l'eau gravifique qui a une trajectoire verticale. De ce fait, chaque secteur vertical d'une surface quelconque évolue en quelque sorte pour lui-même et indépendamment de ses voisins. La variabilité spatiale ne peut alors provenir que de la modification de facteurs externes : roche-mère (nature, fragmentation), type de végétation, microclimat... On est donc amené à penser que chaque secteur vertical correspond à une sorte de « maille », qui se répète latéralement par translation aussi longtemps que les conditions du milieu demeurent identiques. Les notions de profil et de pedon restent donc acceptables comme échantillon représentatif d'une couverture pédologique continue. Cette situation caractérise tout spécialement les milieux très filtrants, non seulement en position plane mais aussi dans des secteurs en pente (ex. sols des Andes sur cendres volcaniques), sous des conditions subhumides et même en présence de climats très humides. Naturellement, pour ce faire, les matériaux doivent être alors d'autant plus filtrants que le climat est plus humide et que le relief est plus accentué.

Figure 2 : Relations des couvertures pédologiques et de l'espace.

— En haut : Cas d'une évolution à polarité essentiellement verticale sous l'influence de l'eau gravifique ; chacun des secteurs évoluant en quelque sorte indépendamment de ses voisins est représentatif de l'ensemble de la couverture pédologique.

— En bas : Cas de l'existence d'une continuité hydrique, donc pédologique entre secteurs adjacents, et en particulier entre l'amont et l'aval. La couverture pédologique doit être représentée par un « système-sol », dont le « pas » correspond à un demi-interfluve.

Relations between soil covers and space.

— Top : A vertically oriented evolution under gravity water ; each unit being independent of the surrounding ones is representative of the whole soil mantle.

— Bottom : A hydric continuity and therefore a pedologic continuity between upstream and downstream. The soil mantle must be represented by a « soil system » whose pitch corresponds to half an interfluve.

— Dans d'autres situations du milieu terrestre, qui sont aussi bien représentées, la situation évolutive n'est pas la même ; la trajectoire de l'eau gravifique pouvant être verticale, puis oblique et enfin latérale, en sorte qu'il existe

une *continuité hydrique*, donc *pédologique*, entre deux secteurs contigus, celle-ci reliant l'amont à l'aval. Naturellement, ceci ne veut pas dire que cette continuité hydrique soit permanente; elle peut l'être en conditions humides ; elle est en revanche intermittente ou temporaire dans le cas des milieux plus arides.

Au total dans une telle situation, il devient aisé de mettre en évidence, lors de l'étude de la spatialisation de la couverture pédologique, une loi de variation pédologique verticale et latérale qui, au sein d'une région donnée, va se retrouver chaque fois que les conditions pédoclimatiques seront les mêmes ; c'est ce qui permet de définir un « système-sol » (fig. 3). Tout le problème est de chercher à déterminer alors le « pas » de cette variation, qui permettra de mieux représenter cartographiquement la réalité pédologique (cf. P. BRABANT, 1989) ; il est clair que dans cette situation, la considération d'un profil isolé du contexte pédologique général n'a pas de sens.

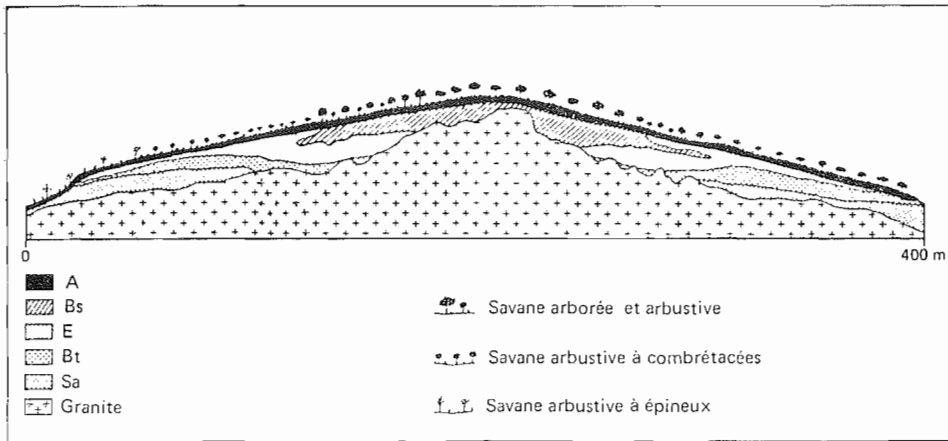


Figure 3 : Un des système-sols caractéristique du Nord-Cameroun ; ce système dit « sol lessivé tropical » est représentatif de l'unité cartographique 21 de P. BRABANT et M. GAVAUD (1985).

One of the soil systems characteristic of northern Cameroons ; this system called « tropical leached soil » is representative of the mapping unit 21 by P. BRABANT and M. GAVAUD (1985).

Or, il résulte de ces considérations toute une série de points essentiels qu'on peut résumer ainsi :

- 1) Le sol n'est pas une entité définie, mais un *continuum* (même si celui-ci peut se résoudre dans un certain nombre de cas à des entités définies) ;
- 2) La direction verticale de genèse n'est pas exclusive : il faut envisager aussi le développement des gradients latéraux. L'évolution « normale » est à la fois verticale et latérale ; elle se caractérise de ce fait au niveau de l'interfluve et de l'unité élémentaire de modelé. L'évolution uniquement verticale est en quelque sorte un cas *limite* de la pédologie, même s'il n'est pas rare.
- 3) Un objet pédologique ne peut être considéré en lui-même, par référence à la seule superposition verticale ; il se définit toujours par rapport à ses voisins.

On comprend dès lors combien la différenciation spatiale devient la clé de voûte de la pédologie ; ce qui entraîne un certain nombre de conséquences.

B) CONSÉQUENCES PÉDOLOGIQUES

Dans un tel cadre, la première constatation est que l'étude du contenant placé dans son contexte naturel est *indissociable* de celle du contenu ; de ce fait, la prise en considération de la différenciation spatiale constitue un *préalable* indispensable à toute analyse pédologique, et ce, que le milieu soit naturel, qu'il soit aménagé ou encore cultivé. Les rôles sont donc *inversés* : au lieu d'être un sous-produit de la classification, l'aspect spatial — pris dans une acception cartographique, qui permet de préciser les relations des objets pédologiques avec l'espace — monte en première ligne.

A partir de là, la mise en œuvre d'une telle approche nécessite de disposer plus spécialement de deux éléments :

- un principe de compartimentation de l'espace pédologique *naturel*,
- un référentiel scientifique de qualité, qui permette le transfert des informations d'un lieu à un autre.

1. Principe de compartimentation de l'espace pédologique

Un tel principe a été pressenti depuis un certain temps par bon nombre de pédologues du monde entier. Il a été formulé récemment, dans sa plus grande généralité, par M. GAVAUD et l'équipe ORSTOM au cours d'une étude sur les sols de l'Amazonie vénézuélienne (1986) :

« *La couverture des sols est modélisable par un nombre fini de volumes ; ces derniers se regroupent en ensembles distincts, ordonnés par emboîtement et juxtaposition, correspondant à des échelles de différenciation du paysage successives.* »

L'élément de base est constitué par l'unité dynamique correspondant au volume élémentaire de modelé (bassin versant élémentaire-interfluve), dont le « motif » est de l'ordre 0,1-1 km² : un versant, un glacis, une colline ferrallitique...

En dessous existent des niveaux inférieurs allant de quelques centaines de mètres jusqu'au centimètre qui s'emboîtent les uns dans les autres. Il s'agit :

- des toposéquences élémentaires,
- des unités pédologiques,
- des horizons,
- des assemblages (intra-horizon),
- des organisations élémentaires.

Au dessus, il est possible d'envisager divers niveaux supérieurs, le passage de l'un à l'autre se faisant par juxtaposition simple ou composée. On distingue par exemple :

- le type de relief ou « land system » (1-10 km²), constitué par la juxtaposition de mailles élémentaires (correspondant à l'unité dynamique de base) et conduisant à l'individualisation de mosaïques,
- le type de paysage ou « land region », qui correspond à des surfaces d'altération ou d'érosion (10-100 km²) et qui est formé par la juxtaposition de mosaïques,
- enfin les grandes structures liées aux histoires tectonique et morphologique de l'écorce terrestre (100 à 10 000 km²).

A partir de ces éléments suivant le degré d'analyse et l'échelle cartographique envisagés, on procède aux opérations d'emboîtement et de juxtaposition en s'arrêtant au niveau correspondant à l'étude envisagée.

La mise en œuvre d'une telle approche au cours de laquelle le problème du transfert d'échelle est convenablement appréhendé amène à souligner plusieurs points :

a) La compartimentation concerne un espace naturel et fait appel à tous les paramètres intervenant dans le milieu superficiel. Elle est donc multidisciplinaire et de type écologique tout en mettant l'accent sur le rôle capital du sol en tant que composante de l'écosystème terrestre.

b) Ce rôle est d'autant mieux affirmé que l'analyse pédologique de l'unité dynamique sur un site donné (*site représentatif, secteur de référence...*) a été conduite en détail, c'est-à-dire qu'elle a comporté non seulement une description précise du système-sol mais encore une étude de son fonctionnement. C'est à ce titre que la prise en compte de la différenciation spatiale devient réellement un objet de recherches pédologiques et qu'elle aboutit ainsi à faire avancer la théorie et, par là même, la discipline (G. PEDRO, 1987).

c) Enfin, une telle approche n'interdit pas de procéder à une segmentation verticale de l'unité dynamique, ce qui peut être utile dans un certain nombre de cas. Mais ce découpage est alors effectué *a posteriori* et réalisé en toute connaissance de cause !

2. Élaboration d'un référentiel pédologique

La genèse et le développement des sols constituant depuis DOKOUCHEV le cadre d'une discipline scientifique signifie que toute étude pédologique est susceptible de généralisations. Encore faut-il, pour ce faire, disposer d'un instrument qui permette de procéder à un transfert des informations pédologiques. C'est le rôle qui devrait être attribué à un référentiel, qui n'est pas à proprement parler une classification au sens habituel du terme dans laquelle existent impérieusement différents niveaux hiérarchisés et liés les uns aux autres en descendant ou en remontant : séries, types, familles, sous-groupes, groupes, sous-classes, classes... Ce n'est pas une taxonomie, dans le sens d'un canevas systématique, qui aurait la prétention de régler toutes les situations « verticales » susceptibles d'être rencontrées dans le milieu naturel .

Le référentiel, dont on a besoin en pédologie aujourd'hui, a pour but d'aider à la compréhension des situations pédologiques en tenant compte de leur genèse, de leur durée, de leur histoire... A ce titre, il se doit d'envisager plusieurs aspects :

a) S'appuyer sur l'ensemble des phénomènes pédologiques connus, qu'ils soient verticaux et/ou latéraux, ne tenir compte que ce que l'on a décrit et étudié en détail, n'utiliser enfin qu'après une relecture attentive des données anciennes, surtout lorsque celles-ci ont été rassemblées dans une autre ambiance intellectuelle,

Le référentiel doit donc être ouvert et non totalisant ; il pourra toujours être complété ultérieurement, au fur et à mesure des recherches de base entreprises dans le cadre d'autres situations pédologiques.

b) S'en tenir à des faits généraux et à des règles généralisables. Ce qui implique la primauté du qualitatif, mais du qualitatif ordonné. L'objectif d'un référentiel est avant tout de bien situer les données pédologiques caractérisant un milieu, et non pas de se substituer à des études très détaillées, qui de toute façon seront à faire, si nécessaire, site après site. Il est bon d'ajouter par ailleurs que si la quantification de critères spécifiques doit être envisagée comme dans toute discipline scientifique, elle a à prendre une autre forme que la recherche de valeurs-seuils qui seraient valables pour *tous* les lieux et dans *toutes* les circonstances. Le véritable objectif à atteindre se trouve dans la recherche de lois de variation permettant de dégager des constantes paramétriques caractérisant tel ou tel phénomène pédologique, non seulement dans les systèmes naturels, mais aussi dans les systèmes anthropisés qui sont toujours plus ou moins perturbés (cf. Y.M. CABIDOUCHE (1984) ; A. BRUAND (1988). A l'heure qu'il est, tout ceci paraît constituer la seule voie raisonnable pour l'avenir.

CONCLUSION

Il est clair que la mise sur pied d'une présentation de ce type s'est avérée être quelque peu délicate, la Pédologie n'ayant pas encore atteint une maturité scientifique suffisante. Dans de telles conditions, il a paru préférable de s'en tenir à une présentation générale, même quelque peu schématique, des grandes options de la connaissance des sols ; avec en arrière-plan l'obligation de se référer en permanence à deux points d'appui :

— prendre en compte les travaux de nos prédécesseurs et anciens (surtout lorsqu'on considère les conditions dans lesquelles ceux-ci ont été effectués), et les idées qu'ils ont apportées ;

— et en même temps poursuivre les recherches, afin d'améliorer sans cesse les corpus de la science ; ce qui d'ailleurs permet souvent d'intégrer les anciennes conceptions à des développements plus élaborés.

Au stade où l'on en est, le problème peut être présenté aujourd'hui brièvement de la manière suivante :

— au cours de la phase *agrochimique*, on se situait dans un *cadre foncier* et on étudiait le sol d'une parcelle donnée, *sans référence à la variabilité spatiale* et sans se préoccuper de ce qui se passait dans la parcelle d'à côté ;

— dans une deuxième phase (phase *taxonomique*), les sols ont été (ou sont) répertoriés et classés les uns par rapport aux autres, *en vue de leur identification et aussi de leur représentation cartographique* ; mais celle-ci n'apparaissait en réalité que comme un sous-produit de la classification, en quelque sorte une « résultante ».

Dans la pratique, et si on prend une comparaison avec les opérations de traduction, on s'occupait du texte sans tirer partie du contexte, c'est-à-dire que l'on faisait d'une certaine façon du mot à mot à l'aide d'un dictionnaire. On sait que si cette manière de faire conduit quelquefois au sens exact, elle aboutit très souvent au non-sens. Or, tous les spécialistes savent bien que le non-sens constitue, dans ce genre d'exercice, le plus grand ennemi.

— Enfin dans sa phase actuelle, l'étude des sols se fait dans son cadre *naturel* et passe avant tout *par des recherches de cartographie*, l'analyse de la différenciation spatiale devenant le moteur de la connaissance pédologique ; avec la prise en compte de tous les facteurs de l'environnement et de toutes les conditions du milieu pédologique, qu'elles soient externes ou bien internes. Pour reprendre la comparaison avec les problèmes de traduction, cette approche a pour objectif de s'occuper du texte en se servant du contexte ; selon cette conception, c'est la fidélité à l'esprit qui compte, même si on doit apparemment s'écarter de la lettre. Cette voie est donc par nature plus écologique, et comme les relations géométriques entre les corps pédologiques sont à la base de toute investigation, on pourrait la qualifier d'approche *topologique*.

En définitive, ce survol montre essentiellement que les problèmes en Pédologie sont beaucoup moins simples qu'on l'a pensé à une certaine période. A ce titre, la phase *taxonomique* a très longtemps fait illusion ; elle a trop laissé croire à la Communauté pédologique que cette discipline avait l'apparence d'un *verger*, avec des arbres en ligne et des allées bien tracées. En réalité, nous sommes encore bien loin du compte. Toutefois les quelques pistes, qui apparaissent heureusement à l'horizon dans le domaine des relations sols-espace, laissent enfin espérer un plein épanouissement de la discipline dans un avenir très rapproché.

Reçu pour publication : Janvier 1989

Accepté pour publication : Octobre 1989

BIBLIOGRAPHIE

Une présentation de ce type a fait appel à de nombreuses références ; mais seules celles, qui sont explicitement évoquées dans le texte et les figures, sont répertoriées ci-après.

- AUBERT G.** et **DUCHAUFOR Ph.**, 1956. — Projet de classification des sols. Comptes Rendus VI, Vong. Int. Science du Sol, Paris, E, p. 597-604.
- BOULAIN P.**, 1980. — Pédologie appliquée. Masson Ed., 220 p.
- BRABANT P.**, 1989. — Les sols des forêts claires du Cameroun. Ed. ORSTOM, 2 tomes (sous-presse).
- BRABANT P.** et **GAVAUD M.**, 1985. — Les sols et les ressources en terres du Nord Cameroun. Ed. ORSTOM.
- BRUAND A.**, **TESSIER D.** et **BAIZE D.**, 1988. — Contribution à l'étude des propriétés de rétention en eau des sols argileux : importance de la prise en compte de l'organisation de la phase argileuse. Compte Rendu Ac. Sc. Paris, 307, II, pp. 1937-1941.
- CABIDOUCHE Y.M.**, 1984. — Une approche cartographique du fonctionnement des sols de Guyane comme support des productions fourragères. Colloque INRA n° 24 « Prairies guyanaises et élevage bovin », pp. 127-163.
- CPCS**, 1967. — Classification des sols. Multigraph, 87 p.
- FAO-UNESCO**, 1987. — Legend (revised) - Soil map of the World, 127 p.
- GAVAUD M.**, **BLANCANEUX P.**, **DUBROEUQ D.** et **POUYLLAU M.**, 1986. — Les paysages pédologiques de l'Amazonie vénézuélienne. Cah. ORSTOM, série Pédol., XXII, n° 3, pp. 265-284.
- GAVAUD M.**, 1989. — La pratique des études de paysages pédologiques. Application à la zone tropicale. Comptes rendus 1^{er} Colloque franco-africain de Pédologie tropicale - SOLTROP 89. Editions ORSTOM, pp. 35-63.
- GIRARD M.C.**, 1983. — Recherches d'une modélisation en vue d'une représentation spatiale de la couverture pédologique. Thèse Paris VII, 414 p.
- KAUFMAN J.H.**, 1987. — Comparative classification of some deep, well-drained red clay soils of Mozambique. ISRIC - Technical paper n° 16, 61 p.
- LUCAS Y.**, **BOULET R.** et **CHAUVEL A.**, 1988. — Intervention simultanée des phénomènes d'enfoncement vertical et de transformation latérale dans la mise en place de systèmes de sols de la zone tropicale humide. Cas des systèmes sols ferrallitiques - podzols de l'Amazonie brésienne. Compte Rendu Ac. Sc., Paris, 306, II, pp. 1395-1400.
- PEDRO G.**, 1986. — La Science des Sols en France. AFES 1 volume, Ed. ORSTOM, 335 p.
- PEDRO G.**, 1988. — La thématique scientifique en pédologie tropicale. Cah. ORSTOM, série Pédol., XXIII, p. 295-302.
- SOIL TAXONOMY**, 1975. — USDA, Agriculture Handbook n° 436 - Washington.