

# GENÈSE, MUTATION ET ÉCLATEMENT DES PARADIGMES :

## Le cas de la science des sols tropicaux

Yvon Chatelin

Institut français de recherche scientifique  
pour le développement en coopération (Orstom), Bondy (France)

L'*homo academicus*, cher à Pierre Bourdieu (1) et à quelques autres, a perdu son mystère. On sait tout de lui : comment il travaille, publie, ce qui le motive, les distinctions qu'il ambitionne, les relations fraternelles ou agressives entretenues avec ses collègues. Un observateur perspicace, Bruno Latour (2), a mis à nu ses intentions sournoises et perverses : transformer les hommes à son image, faire du monde une réplique de son laboratoire.

En réalité, le mystère n'a fait que se déplacer. Il résidait autrefois dans l'acte de la création scientifique, présenté comme l'expression du génie individuel de l'*homo academicus*. Il occupe aujourd'hui le terrain du paradigme, lieu ambigu formé d'un assemblage flou de concepts, de méthodes et d'idéologies (3), lieu difficile à cerner attribué à d'incertaines *communautés* scientifiques.

Il est facile d'énumérer quelques paradigmes retraçant à grands traits l'histoire des sciences : le paradigme de la physique newtonienne, celui de la mécanique quantique, de la biologie darwinienne ou pasteurienne, par exemple. Mais si la notion correspond à une réalité, il faut aussi faire du paradigme un outil de compréhension précis, applicable ici et là, dans nos pratiques scientifiques quotidiennes.

Allons plus loin. Les paradigmes reconnus, les savoirs sûrs et prestigieux, ne sont pas nécessairement ceux qui importent le plus. Ils sont acquis (pour le meilleur, pour le pire aussi). A la science instituée s'oppose celle qui émerge ou qui, peut-être, si tout va bien, émergera un jour. Le chercheur du Sud qui s'obstine au travail dans un laboratoire tropical est porteur d'une autre espérance que celui du Nord recevant le prix Nobel. A la science de la matière, à la physique des particules et des grands espaces interstellaires, il est permis de préférer les disciplines plus modestes s'occupant de notre Terre, celle que nous habitons et qu'il faut connaître avant de prétendre la protéger des ravages qu'elle subit.

Le domaine que nous proposons d'examiner se trouve ainsi presque cerné, mais il faut encore le restreindre. Nous ne retiendrons en effet qu'un domaine limité, servant seulement d'*exemple*, celui de la science des sols, que l'on appelle aussi pédologie.

Non l'ensemble de la discipline, sinon pour une mise en perspective générale, mais de préférence cette partie de la discipline qui s'est spécialisée dans le domaine tropical, c'est-à-dire dans le monde exotique, hors d'Occident.

Cet exemple étant choisi, il ne nous reste plus qu'à présenter brièvement notre position méthodologique. Nous considérerons que l'on ne peut définir et dénommer valablement un « paradigme » que si l'on peut désigner, avec précision, de quel *corps doctrinal* et de quelle *construction théorique* (ou de quel *modèle* général) ce paradigme est formé. Corrélativement, nous admettrons que beaucoup de pratiques scientifiques ne relèvent d'aucun paradigme particulier, étant entendu qu'il serait inutile de leur attribuer un paradigme tellement général qu'il paraîtrait valable, à la limite, pour la totalité de la science, ou presque.

### **Un savoir sans paradigme spécifique**

L'étude des latérites tropicales et plus généralement l'étude des sols tropicaux a commencé véritablement par un épisode précis, celui de la publication faite par un naturaliste de la Compagnie anglaise des Indes orientales, Buchanan, en 1807 (4). C'est lui qui a été le premier à décrire les latérites et à leur donner ce nom. Géologues, minéralogistes, géographes se sont immédiatement emparés de ce nouvel objet de recherche. Leurs travaux ont proliféré, aux Indes et dans la plupart des zones tropicales du monde. Les connaissances se sont développées rapidement (5), montrant que les latérites sont le produit de la décomposition des roches, qu'elles sont de nature ferrugineuse et aluminieuse, que leur composition varie selon leur position sur les reliefs, etc.

Pour comprendre l'importance des découvertes réalisées, il faut souligner que c'est en étudiant les latérites que l'on a compris pour la première fois ce qu'est l'altération météorique des roches (c'est-à-dire leur transformation en matériaux meubles, arènes et sols, sous l'influence du climat et plus précisément de la température et de l'humidité). Il est clair aujourd'hui qu'il s'agit d'un processus essentiel de la dynamique de notre planète. Il faut noter aussi l'ampleur de la zone géographique considérée : si l'on donne aux latérites une définition large, elles couvrent toutes les régions intertropicales. Peut-on pour autant parler d'une science nouvelle, émergeant d'un terrain original ? Il semble que non, parce que manquait justement le corps doctrinal cohérent, spécifique, que nous considérons nécessaire à la constitution d'un paradigme. Les premiers chimistes et minéralogistes qui ont découvert la composition des latérites ont employé les techniques habituelles de leurs disciplines. Dans leur cas, le mot « découverte » peut être pris au sens littéral : découvrir quelque chose, même si cela est très important et inattendu, n'implique pas nécessairement un changement dans le mode de pensée.

Voici donc, brièvement évoqué, le cas d'un *savoir scientifique nouveau*, produisant des connaissances fondamentales, mais se développant *sans paradigme spécifique*. La durée de cet épisode a été d'un siècle environ (avec un certain chevauchement sur les épisodes suivants).

### Naissance d'une discipline et de son paradigme

La véritable science du sol est née presqu'aussi soudainement (si l'on veut bien faire abstraction de précurseurs plus ou moins lointains), mais plus tard, que l'étude des latérites, sur la base des travaux de V.V. Dokuchaev décrivant le chernozem russe, autour de l'année 1880 (6). Le chernozem est un sol, une terre noire, riche en matière organique, très fertile, qui donne une productivité élevée aux grandes plaines céréalières russes et à d'autres régions comparables du monde.

Cette fois, il y a incontestablement eu création d'un paradigme parce que Dokuchaev ne s'est pas contenté de décrire et d'analyser, mais qu'il a jeté les bases d'un ensemble théorique nouveau. Dokuchaev est aujourd'hui considéré comme le fondateur de la science du sol moderne, et il n'est pas un seul pédologue qui ignore son nom. De multiples réflexions théoriques, épistémologiques avant la lettre, conduites principalement par des auteurs russes ou soviétiques (7) lui ont été consacrées.

Comment définir le paradigme fondé par l'œuvre de Dokuchaev et de ses disciples et successeurs immédiats ? Les réflexions épistémologiques auxquelles nous avons fait allusion ont caractérisé (d'ailleurs très largement *a posteriori*) la discipline créée par Dokuchaev en identifiant une série de notions nouvelles pour le contexte scientifique de l'époque. Par référence à ces études, et en un résumé de quelques mots emprunté à Jean Boulaine (6), nous dirons que le *corps doctrinal* du paradigme en question comportait au moins ces trois grandes notions : (a) le sol est un corps naturel, autonome et variant, (b) les phénomènes naturels sont interdépendants, et (c) les sols se distribuent dans le monde suivant une loi générale de zonalité. En d'autres termes, Dokuchaev proclamait l'existence d'un objet naturel ayant ses caractères, ses dispositions spatiales, ses mécanismes et ses lois propres, et justifiable de ce fait d'une nouvelle discipline scientifique. Quant à la grande construction théorique du paradigme, c'était une *classification* universelle des sols, supposée « naturelle », capable de représenter tous les sols du monde. Le chernozem était considéré comme l'une des unités de cette classification, de même que les autres sols connus (podzols, latérites, etc.) ou à découvrir.

Le paradigme de la nouvelle science n'interdisait pas les recherches *sectorielles*, bien au contraire il les stimulait, et les travaux de laboratoire et de terrain se sont effectivement multipliés à un rythme rapide. Dès l'époque de Dokuchaev, des spécialisations sont apparues, en physique du sol (taille des particules, rétention de l'eau), chimie du sol (composition globale, éléments fertilisants), minéralogie du sol (nature des argiles), biologie du sol (microbes, vers, etc.). Le paradigme prétendait simplement assimiler et replacer dans un ensemble les résultats de toutes ces recherches. Selon la formule de B.G. Rozanov (8), il se caractérisait par « the diversity of scientific approaches and directions on the basis of an united general methodology ».

Il a fallu cependant un bon *nombre d'années* et de multiples *relais* pour transmettre de proche en proche le paradigme de Dokuchaev, pour l'adapter, pour qu'il prenne enfin forme dans l'étude des sols tropicaux. La durée de cette période de transfert est de l'ordre d'une cinquantaine d'années.

### **Apothéose et crise d'un paradigme dominant**

Nous parvenons ainsi à la période pendant laquelle l'Orstom a commencé à travailler, essaimant ses pédologues en Afrique, à Madagascar, puis dans le reste du monde tropical.

Les paradigmes n'ayant pas d'état civil, chacun est libre de les définir et de les dénommer à sa guise. Nous considérons que l'école française de pédologie tropicale a modelé « son » paradigme (dont le corps doctrinal dans son ensemble était hérité de Dokuchaev) en une sorte de triptyque associant : la « classification », la « cartographie » des sols et leur « mise en valeur ». Nous dirons plus simplement : *le paradigme de la classification*. Il avait toutes les vertus du paradigme idéal, car il était *globalisant* (capable d'unir et représenter tout le champ du réel) et *exclusif* (dans la mesure où la classification était « naturelle », elle ne souffrait aucune concurrence). Le paradigme s'attribuait une rare puissance, il s'est transmis et imposé rapidement chez les pédologues français métropolitains et tropicalistes (9), comme ailleurs (sous diverses variantes) dans le monde.

En fait, le paradigme portait en lui-même *les germes de sa propre destruction*. Son ambition était excessive et conduisait facilement à des excès dans la théorisation et dans les généralisations. La confrontation à la réalité s'est avérée de plus en plus difficile, alors que se multipliaient les observations et que progressait la compréhension des processus de genèse des sols. Très vite, différents auteurs ont proposé des modifications à la classification de départ, puis des classifications de plus en plus différentes les unes des autres. C'est ainsi que *la science du sol s'est diversifiée en écoles nationales*, chaque école ayant « sa » classification puis bientôt, la diversification se poursuivant, voyant sa classification assortie d'un nombre croissant de variantes, de révisions, de propositions nouvelles, de projets concurrents.

Les années 1960, le début des années 70, ont cependant été celles de *l'apothéose du paradigme* de la classification. La science du sol n'était pas isolée dans sa propre philosophie. Des réflexions épistémologiques se portaient alors sur le problème de la classification dans les sciences, en général, dans l'idée que si les taxonomies naturalistes issues du système linnéen avaient quelque peu vieilli, *l'opération consistant à classer n'en restait pas moins l'une des bases de toute démarche scientifique* (10).

Dans la science du sol, les classifications ont fleuri, la cartographie des sols a été vigoureusement stimulée. Rencontres internationales et publications se sont multipliées. Il était devenu évident que l'on ne pouvait pas prétendre à « la » classification, reflet univoque de la réalité des sols. Néanmoins, *les maîtres de la discipline* proposaient et défendaient des classifications dites « naturelles » ou, pour limiter les prétentions de leur entreprise, des classifications dites « génétiques », ou « morphogénétiques ». Une controverse complexe et difficile à apprécier avec exactitude opposait les classifications essentiellement génétiques (privilegiant les « facteurs » de formation des sols) aux classifications morphogénétiques voulant prendre aussi en compte des *particularités matérielles des sols indépendantes des grands facteurs bioclimatiques*. Seuls les pédologues américains, rejetant la tradition issue de Dokuchaev, ont voulu suivre une voie nouvelle, totalement empirique, débarrassée de toute loi naturelle supposée et de toute théorisation, mais conduisant elle aussi à une classification en niveaux taxonomiques hiérarchisés (11).

L'école française de pédologie avait, à l'époque, un grand renom international, que confortait une *spécialisation tropicale* dont il y avait peu d'équivalent ailleurs. Le maître du paradigme était Georges Aubert. Fort d'une expérience acquise en zones tempérées et méditerranéennes, G. Aubert était en effet devenu le promoteur de la pédologie tropicaliste française (orstomienne, par la même occasion). Une connaissance du terrain sur de larges zones climatiques l'a conduit à développer une classification originale, appliquée et discutée avec les nombreux pédologues dont il avait la direction scientifique. Cette classification fut présentée sur la scène internationale en collaboration avec un autre français de grand renom, Ph. Duchaufour, dès 1956. Finalement, elle devait être reprise et modifiée par un groupe de pédologues français, d'ailleurs plus métropolitains que tropicalistes (12).

Depuis son apparition à la fin du siècle dernier, le paradigme de Dokuchaev s'est donc maintenu pendant plusieurs décades, malgré sa diversification en écoles nationales concurrentes. Bien que le consensus fût devenu impossible entre ces écoles, il paraissait admis que la classification des sols restait une nécessité. Elle était la seule construction conceptuelle capable de *transposer les connaissances* acquises, d'éviter la répétition indéfinie des expérimentations agronomiques, de reproduire les opérations de développement agricole. Ce qui était obtenu en une certaine localisation sur un sol donné pouvait être obtenu sur le « même sol » en un autre endroit, fût-il lointain. La classification donnait à chaque sol *une sorte d'identité* définie par son appartenance taxonomique (groupe, sous-groupe, famille, série de sol).

La multiplication des classifications n'allait pas sans créer de problèmes. Pour y pallier, des groupes et commissions de *corrélation entre classifications* furent institués. Parallèlement, la cartographie des sols fut poursuivie et des *synthèses continentales et mondiales* entreprises, sous l'égide d'organisations internationales. Il est facile de comprendre que cette orientation du paradigme a favorisé un certain *style de travail*, et même une certaine division sociale du travail, avec d'un côté les pédologues cartographes de terrain, et de l'autre la classe internationale des grands maîtres de la classification et de la synthèse géographique (13).

Malgré un succès apparent, on peut considérer que le paradigme de la classification a brutalement et définitivement *perdu son rôle dominant* dès la seconde moitié des années 1970, pour deux sortes de raisons. La première est que ce paradigme, avec l'importance qu'il attribuait au travail d'inventaire et de cartographie de terrain, apparaissait à beaucoup de chercheurs comme un obstacle à des recherches nouvelles, plus spécialisées, allant plus loin dans la compréhension des mécanismes d'évolution des sols. La deuxième est que le paradigme s'est effondré de lui-même, par ses difficultés internes : complexification croissante, difficultés de comparer une classification à l'autre, impossibilité de décider quelle est la meilleure. Les spécialistes du sol, dans leur majorité, se sont désintéressés de toute classification ou, au mieux, ont pensé que classification et cartographie avaient suffisamment progressé et qu'il fallait tourner la page. Les deux chercheurs américains qui se sont permis d'écrire, un peu plus tard, que la *Soil Taxonomy* n'avait aucune valeur « géographique » (14), c'est-à-dire qu'elle était un très mauvais outil pour représenter la distribution spatiale des sols, pour constituer leur cartographie, n'ont pas produit de grandes conséquences par leur publication

elle-même. Mais de façon symbolique, on peut dire que, dénonçant une telle carence de la classification, ils ont tout simplement pris acte de *la mort du paradigme*.

### L'impossible paradigme systémique

Alors que des philosophes réfléchissaient encore au rôle général des mécanismes de classification, que des pédologues croyaient à la réussite de leur taxonomie des sols, un paradigme nouveau et envahissant se préparait, dès le début des années 1960. Il s'agit du *paradigme systémique* issu principalement des travaux de Bertalanffy, puis développé et explicité par de multiples auteurs (15).

Une définition très simple du système consiste à dire qu'il s'agit d'un ensemble d'éléments en interaction. Rien ne saurait mieux convenir à la pédologie, à toutes les sciences des milieux naturels, géographie et écologie incluses bien entendu. En ce qui concerne les sols, certains peuvent prétendre que l'on a toujours su, depuis Dokuchaev, qu'il s'agit de systèmes. Encore fallait-il l'affirmer explicitement, et priver en quelque sorte les sols de leur privilège de corps autonome. Il fallait aussi *trouver des méthodologies* en accord avec ce postulat, s'appuyer sur des réflexions concernant d'autres disciplines scientifiques. C'est ce qui a été entrepris dans les années 1970, par de nombreux auteurs (16).

En parallèle avec l'extension du paradigme lui-même, cette période a été aussi celle du développement de l'*informatique* et de la création de grandes *bases de données*. L'association internationale de science du sol a suivi le mouvement, créant un *Working Group on Soil Information Systems*. Différents *glossaires* destinés à normaliser la collecte des données ont été créés, à grand renfort de commissions, consultations et réunions en tous genres. Des bases informatisées ont été mises en place (17).

Il est clair qu'informatisation n'est pas synonyme d'analyse de système. Une *véri-table* analyse de système doit aboutir à des formalisations complexes, à des modèles prévisionnels, à des simulations. Elle doit générer des résultats, des concepts, des idées que l'on n'aurait évidemment pas trouvés sans elle. Les pédologues l'ont bien compris et certains ont tenté de progresser en ce sens (18).

Les résultats sont apparus décevants. Aucune théorie d'ensemble, aucun modèle général ne sont sortis des ordinateurs et n'ont transformé définitivement la science du sol. Celle-ci dispose sans doute de moyens informatiques, traite des données, effectue des calculs, mais continue à élaborer des constructions théoriques qui sont essentiellement des *modèles conceptuels* (en termes de processus d'évolution, d'histoire des sols, etc.). Cela semble particulièrement vrai pour la pédologie tropicale. En effet, un vieux sol latéritique est formé d'éléments différents (les uns vivants, soumis à des cycles de temps courts, les autres de nature minérale, soumis aux durées géologiques) et de flux d'énergie et de matière variés (chaleur, pluie). Il est probablement trop complexe, aujourd'hui encore, pour l'analyse de système, ses modèles et ses simulations.

Que reste-t-il alors du paradigme systémique ? Incontestablement, il imprègne la pensée de tous les chercheurs. Chacun sait que toute réalité est faite d'éléments en interaction. Vu sous cet angle, le paradigme apparaît *solidement installé*. Mais si l'on considère qu'il ne donne pas de méthodologie précise, de construction théorique bien

définie (comme l'avait été la classification des sols), on peut dire aussi qu'il reste flou, à la limite de l'idéologique.

Cette situation a eu deux conséquences : l'éclatement des frontières interdisciplinaires et la fragmentation en micro-paradigmes.

#### *Éclatement des frontières interdisciplinaires*

Dans ce nouveau contexte, il est facile de comprendre que les *frontières entre disciplines* tendent à disparaître. Où placer de telles frontières, quand les interactions du système naturel étudié s'étendent en toutes directions ? Le sol est un système ouvert, englobé dans des systèmes de plus en plus larges que l'on peut définir comme écosystèmes ou milieux naturels, régions géographiques, jusqu'à l'ensemble de la terre et de son environnement cosmique proche.

Le milieu naturel (à une échelle de grandeur encore assez proche de celle de la notion de sol) forme une sorte d'hyper-système. Même si cela peut paraître arbitraire ou quelque peu artificiel, il est toujours possible de le découper en sous-systèmes, pour définir des *objets de recherche accessibles* par telle ou telle méthodologie. Suivant les cas, ces sous-systèmes comprennent ou excluent le sol dans sa totalité, ou une partie du sol, la végétation, ou une partie de la végétation, etc. Prenons l'exemple de la surface du sol dont on peut constituer un objet d'étude. Cet objet est complexe, ses constituants sont de nature minérale (argile et sable), organique (humus), micro-biologique (bactéries), végétale (racines), animale (termites, vers). Il peut se définir comme une interface entre le sol global et son environnement météorique : érosion, ruissellement, infiltration s'étudient alors par une approche multidisciplinaire réunissant des données pédologiques, hydrologiques, climatologique (19).

C'est ainsi que l'on voit se multiplier des approches méthodologiques, des thématiques, des travaux qui coupent *transversalement* les frontières entre disciplines classiques.

#### *Fragmentation en micro-paradigmes*

Nous dirons ensuite que le paradigme systémique s'est *fragmenté* en une série de *micro-paradigmes*. Dans le cas du paradigme de la classification, nous avons parlé d'une « diversification » en plusieurs écoles. Dans chacune de ces écoles, il s'agissait toujours de construire une classification, et les analogies de l'une à l'autre étaient souvent grandes. Il nous semble que la fragmentation du paradigme systémique creuse de plus profonds fossés. Les micro-paradigmes ont un commun une référence à la même notion de système, mais cette notion est trop générale pour leur donner beaucoup d'unité. Nous avons choisi d'en définir quatre. Il s'agit bien d'un *choix*, contestable comme tous les choix.

Le premier sera celui du « *sol défini comme élément de l'écosystème* », défendu par J. Tricart et J. Kilian. La notion de sol est considérablement affaiblie par rapport à celle de la pédologie classique, elle ne s'applique plus qu'à la partie tout à fait supérieure des formations superficielles (surmontant les roches). Il n'est plus question d'accorder aux sols cette sorte d'ontologie, ou d'existence comme individus que leur donnaient les classifications. Au contraire, les éléments et propriétés des sols se trou-

vent en quelque sorte dissociés, atomisés, par une représentation spatiale qui superpose de nombreux figurés. Une carte peut se présenter comme un tableau pointilliste formé d'une multitude de ces petits figurés indiquant localement l'un la pente du relief, l'autre l'épaisseur de l'humus, le troisième la présence de graviers, et ainsi de suite (20). Chacun peut y constituer les combinaisons qui l'intéressent, s'il n'accepte pas les « *unités édapho-écologiques* » ou les « *unités morpho-pédologiques* » proposées par le cartographe lui-même (21).

Le second micro-paradigme sera celui du « *sol défini comme système biogéodynamique* », dont le créateur a été G. Bocquier. La notion d'un profil pédologique vertical (tel qu'il peut apparaître sur une coupe de sol, par exemple talus de route, tranchée, fosse pédologique) est implicitement admise dans tout système de classification. Elle implique que, pour l'essentiel au moins, l'organisation du sol, sa genèse passée, son évolution actuelle puissent s'expliquer et se représenter par des mécanismes s'effectuant en place, sans autres déplacements que verticaux. Dans le nouveau micro-paradigme, elle cède la place à la notion de séquences de sol distribuées au long des reliefs et dont toutes les parties sont historiquement et dynamiquement liées. Seuil et discontinuités se produisent naturellement, bloquant ou inversant les processus naturels. Ainsi s'expliquent des biogéosystèmes parfois fortement différenciés et contrastés qu'il ne faut pas prendre pour des assemblages d'origine hétérogène, mais pour des unités organiques (à l'image d'un corps vivant, à l'issue de son embryogenèse) (22). Une méthodologie stricte, traçant avec minutie les variations de tous les paramètres, est indispensable pour comprendre chaque organisation (23).

Le troisième micro-paradigme se situe aux franges de la pédologie et de la géologie et sera décrit comme celui du « *sol considéré comme un résidu géochimique* ». Depuis leurs premières études, les latérites tropicales sont apparues formées d'un résidu d'insolubles, issus de la dissolution des roches, fer et aluminium principalement. La minéralogie et la géologie des argiles ont exercé une très forte attraction sur les pédologues tropicalistes français, précipitant la crise de la classification des sols. Le travail de D. Nahon n'est donc pas à l'origine de ce micro-paradigme issu de la géologie des argiles, mais il le représente poussé à son extrême. Les immenses et épaisses couvertures pédologiques des tropiques deviennent les produits d'une fonte et de redistributions géochimiques s'effectuant pratiquement sur place. L'échelle d'observation privilégiée est celle du microscope optique, de la microsonde électronique, le langage utilisé est celui de la géochimie. La pédologie traditionnelle n'a plus grand chose à dire sur la genèse des sols. Des processus qui paraissaient bien établis, comme le remaniement des latérites par exemple, s'expliquent autrement, et en tout cas à l'échelle micro. Les pédologues ont en effet longtemps considéré qu'une latérite pouvait durcir, et constituer une « cuirasse », celle-ci étant susceptible d'être à son tour remaniée, c'est-à-dire détruite en laissant des « gravillons latéritiques », un peu comme une roche peut être détruite en donnant des galets. Dans les perspectives du paradigme de la géochimie, cuirasse, gravillon, ou tout autre figure trouvée dans le sol s'expliquent essentiellement par des dissolutions, des concentrations, des substitutions d'atomes (fer, aluminium, silice, etc.) s'effectuant dans de micro-structures cristallines ou amorphes (24).

Le quatrième micro-paradigme a trouvé son origine dans une approche structuraliste des sols et des paysages (en ce sens que le « structuralisme » implique la mise en œuvre d'une « sémantique » et non seulement la reconnaissance de différentes organisations, ou structures, ce qui est tout à fait trivial pour les sciences de la nature). Tel que l'a exposé J.F Richard, ce micro-paradigme considère le « *sol comme un corps du géon* », le géon étant la structure élémentaire du milieu naturel. Qu'il s'agisse d'un arbre, d'une termitière, d'un bloc de roche ou d'un matériau pédologique, chaque corps naturel doit être identifié, nommé et représenté. Un langage descriptif spécifiquement constitué, capable d'exprimer la variabilité (notion d'intergrade) et l'importance (notion de quantification) des corps naturels, sert à établir une sorte de modèle structural de chaque site étudié (à titre d'exemple, figure 1, la représentation de la bordure d'un plateau latéritique cuirassé (d'après J.F. Richard, 1989, *Le paysage : un nouveau langage pour l'étude des milieux tropicaux*. Éditions de l'Orstom, 210 p.). Des règles formelles permettent les changements d'échelle, du géon au paysage ou à la région. Le micro-paradigme revendique une forte transdisciplinarité, car il associe dans de mêmes schémas les objets habituels de différentes disciplines, pédologie, botanique ou géographie. Contrairement à d'autres, implicitement globalisants et exclusifs, il ne se présente que comme la première étape de démarches scientifiques qui doivent ensuite s'ouvrir librement vers des déterminations et des thématiques spécialisées (25).

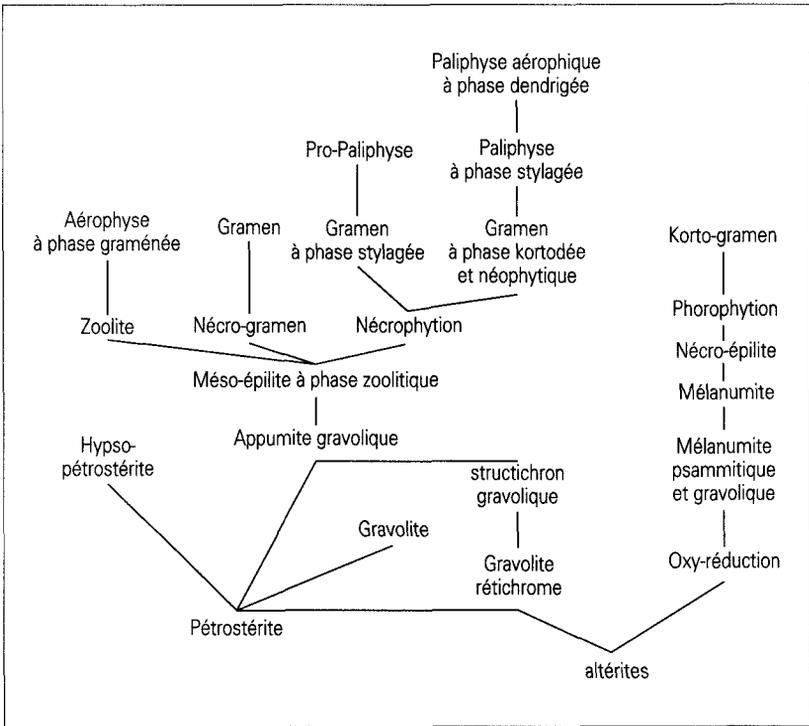


Figure 1.

Pourquoi s'agit-il là de micro-paradigmes ? Parce que chacun d'eux propose une *représentation globale* des systèmes naturels et une *méthodologie* générale. Ils impliquent des principes doctrinaux et des constructions conceptuelles complexes qu'on ne peut confondre, pas plus que les anciennes classifications, avec des recherches sectorielles aux buts limités et sans prétentions épistémologiques particulières.

### Questions à suivre ...

En revisitant à grand pas l'histoire de la science des sols, telle que l'Occident l'a exportée et appliquée dans les milieux tropicaux, nous avons rencontré quatre situations principales : celle d'un progrès scientifique sans émergence de paradigme, celle d'une véritable révolution scientifique et du transfert de son paradigme d'un pays à l'autre, celle d'un paradigme dominant (celui de la classification), puis une situation récente marquée par un paradigme dominant mais trop exigeant et qui se fragmente en micro-paradigmes concurrentiels. Nous avons noté la durée de vie de plus en plus courte de chaque épisode. Plusieurs sujets de réflexion s'ouvrent à la suite de cette étude.

- Les querelles scientifiques peuvent être nombreuses, et les grandes découvertes le sont aussi. Cependant, il n'y a pas *nécessairement* à chaque fois un conflit de paradigmes, ou l'émergence d'un paradigme nouveau, comme pourraient être tentés de le prétendre les protagonistes de ces controverses et de ces découvertes. Celles-ci doivent être soigneusement relativisées par rapport aux paradigmes.
- L'histoire des sciences nous a habitués à l'image d'un progrès scientifique par enchaînement des connaissances, une découverte venant s'ajouter à une autre. Ceci se produit, certes, mais ce qui marque probablement plus la période actuelle que les « découvertes » elles-mêmes, c'est *un jeu sans cesse renouvelé* d'idées, d'écoles, de méthodes à la mode, de styles de science ou, dans les cas les plus accusés, de paradigmes. Trop exclusivement comprise comme une nécessité d'ordre *diachronique*, assurant une avancée scientifique discontinue (par ruptures épistémologiques), la mutation des paradigmes s'installe de plus en plus dans le *synchronique*, fragmentant le champ scientifique.
- Les sciences dites « occidentales » ont longtemps reposé sur le modèle attribué aux sciences expérimentales, pour lesquelles une expérience réussie et reproductible est nécessairement reconnue par la communauté scientifique. Par contre, c'est une véritable *crise des consensus* que nous venons de décrire, pour la période récente, crise d'autant plus grave qu'elle ne recouvre pas seulement d'habituelles querelles scientifiques mais surtout l'émergence de divers micro-paradigmes.
- La *turbulence épistémologique* que nous venons de décrire est certainement à mettre en rapport avec les mécanismes de stimulation et de concurrence qui accompagnent le développement numérique des *communautés scientifiques* (dans les pays du Nord).
- Sur ce nouveau terrain épistémologique et social, il faut s'attendre à un *style du travail scientifique* différent de ce qu'il avait été dans une période de paradigme dominant (celui de la classification, dans le cas étudié), avec des communautés moins hiérarchisées sans doute, mais probablement plus de rivalités et de conflits.

La science du sol peut être tenue pour un exemple représentatif de ce qui se passe à plus vaste échelle, dans *l'ensemble des sciences écologiques et agronomiques*. Ces disciplines parviendront-elles à s'inscrire dans la problématique de la conférence de Rio ? Sauver la planète en évitant la destruction de l'environnement exigera la mobilisation des chercheurs, l'acceptation de priorités fortes, l'abandon peut-être d'ambitions intellectuelles et personnelles allant à l'encontre de cette crise des consensus et de cette turbulence spontanément et si facilement développées dans les années récentes. D'autre part, quelle place sera faite aux jeunes communautés scientifiques des pays du Sud, qui n'ont pas eu jusqu'à présent les mêmes exigences épistémologiques, les mêmes contraintes sociales (26) que celles du Nord ? Ces questions engagent l'avenir du monde entier.



## ORIENTATIONS BIBLIOGRAPHIQUES

- 1) Bourdieu (P.), 1984, *Homo Academicus*, éd. de Minuit, 302 p.
- 2) Latour (B.), 1984, *Les microbes : Guerre et Paix*, éd. A.M. Métailié, 281 p.
- 3) On trouvera un exposé général sur les notions de paradigme et de révolution scientifique dans le livre de Thomas Kuhn, 1970, *La structure des révolutions scientifiques*, éd. française Flammarion, 246 p. Malgré de nombreuses publications ultérieures, Th. Kuhn n'est jamais parvenu à définir de façon satisfaisante et stable la notion de paradigme, et encore moins à donner des règles de travail précises pour son application.
- 4) Buchanan (F.), 1807, *A journey from Malabar through the countries of Mysore, Canara and Malabar*. East Indian Company, London, 2, pp. 436-460.
- 5) Chatelin (Y.), 1972, *Les sols ferrallitiques. Historique. Développement des connaissances et formation des concepts actuels*, Ed. de l'Orstom, Init. Doc. Techn., 20, 98 p.
- 6) Dokutchaeu (V.V.), 1879, « Report on the principles of natural soil classification. 1883, Russian chernozem ». In : *Selected works*, Moscou, Selkhozgiz (1949). D'un accès plus facile, voir Glinka (K.D.), 1931, *Treatise on soil science*. Israel Program for Scientific Translations, 1963, 674 p. et Boulaine (J.), 1989, *Histoire des pédologues et de la science des sols*. Inra, Paris, 285 p.
- 7) Le lecteur peut remonter dans l'immense littérature concernée en commençant par le texte de Gerasimov (I.P.), 1964, « A modern Dokouchayev approach to soil classification and its use on the soil maps of URSS and of the world ». *Soviet Soil Science*, 6.
- 8) Rozanov (B.G.), 1982, « Methodological basis of Modern soviet soil science and its future development ». Cah. Orstom, sér. Pédol., 19, 1, pp. 79-90. Rozanov (B.G.), 1964, « Laterite and laterization ». *Soviet Soil Science*, 13.
- 9) Agafonov (V.), 1926, Quelques réflexions sur l'histoire de la pédologie. *Ann. Sc. Agron. fr. et étrang.*, p. 132. Afanasiev (J.), 1927, *Soil classification problems in Russia*. 1st Intern. Congr. Soil Science, 4, pp. 498-501. Demolon (A.), *La génétique des sols*, Que sais-je ? n° 352, P.U.F. Margulis (H.), 1954, *Aux sources de la pédologie*. ENSA, Toulouse, 85 p. Boulaine (J.), 1983, *Un siècle de pédologie*. Centenaire de la publication du livre « Le chernozem russe » par V.V. Dokouchaeu. C.R. Acad. Agri., 69, 8, pp. 517-528. Boulaine (J.), 1984, « L'héritage de V.V. Dokouchaeu et de sa conception de la pédologie ». *Science du sol*, numéro spécial. Kovda (V.A.), 1984, « L'apport de V.V. Dokouchaeu dans la science et l'agriculture ». *Science du sol*, numéro spécial. Boulaine (J.), 1989, *Histoire des pédologues et de la science des sols*. Inra, Paris, 285 p.
- 10) *La classification dans les sciences* (ouvrage collectif). Ed. J. Duculot, S.A. Gembloux, 1963. Sandri (G.), 1969, *On the logic of classification*. Qual. and Quant., 3, 1-2, pp. 80-124.
- 11) Soil Survey Staff, 1960, *Soil classification. A comprehensive system*. 7th Approximation. U.S. Depart. Agric., 265 p. Cline (M.G.), 1963, « Logic of the new system of soil classification ». *Soil Science*, 96, 1, pp. 17-22. Volobuyev (V. R.), 1964, « Principles of genetic classification of soils ». *Soviet Soil Science*, 12. Smith (G.D.), 1965, « Lectures on soil classification ». *Pédologie*, 4, 134 p. Smith (G.D.), 1965, « La place de la pédogenèse dans le système compréhensif proposé de classification des sols ». *Bull. Soc. Belge Pédologie*, numéro spécial 3, pp. 137-164. Tiurin (I.V.), 1965, « The system of soil classification in the USSR ». *Bull. Soc. Belge Pédologie*, numéro spécial 3, pp. 7-24. Tavernier (R.), Sys (C.), 1965, « Classification of the soils of the Republic of Congo (Kinshasa) ». *Bull. Soc. Belge Pédologie*, numéro spécial 3, pp. 91-136. Soil Survey Staff, 1973, *Soil taxonomy. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys*. U. S. Depart. Agric., 330 p. Kellog (C.E.), 1974, « Soil genesis, classification and cartography » 1924-1974. *Geoderma*, 12, pp. 347-362.
- 12) Aubert (G.), 1954, « La classification des sols utilisés dans les territoires tropicaux de l'Union française ». 2ème Conf. Inter-africaine des sols, Léopoldville. Aubert (G.), Duchaufour (Ph.), 1956, *Projet de classification des sols*. 6<sup>e</sup> Congr. Intern. Sci. du Sol, vol. E, pp. 597-604. Aubert (G.), 1957, « Classification et cartographie des sols ». *C. R. Acad. Agric. Fr.*, 2, pp. 70-72. Aubert (G.), 1964, « La classification des sols

- utilisée par les pédologues français en zone tropicale ou aride ». *Sols Africains*, 9, 1, pp. 96-105. Commission de Pédologie et de Cartographie des Sols (CPCS), 1967, *Classification des sols*. Ed. CPCS, 96 p.
- 13) Duchaufour (Ph.), 1961, « Comparaison de la classification américaine et de la classification française ». *Pédologie*, 11, 1, pp. 138-147. Lobova (Ye.V.), 1965, « Brief review of the principal soil classification systems in european countries and USA ». *Soviet Soil Science*, 2. D'Hoore (J.), 1964, « La carte des sols d'Afrique au 1/5 000 000 ». Mémoire explicatif. Commission de Coopération Technique en Afrique (C.C.T.A.), Lagos, 210 p., 7 cartes. Gerasimov (I.P.), 1966, « A world soil map and associated scientific problems ». *Soviet Soil Sci.*, 4, pp. 369-380. Dudal (R.), 1968, *Definition of soil units for the soil map of the world*. FAO, 75 p. FAO-UNESCO, 1974, *Soil Map of the World*. Kovda (V.A.), Lobova (Ye. V.), Rozanov (B.G.), 1976, « Classification of the world's soils ». *Soviet Soil Science*, 7, pp. 851-863.
  - 14) Campbell (J.B.), Edmonds (W.J.), 1984, « The missing geographic dimension to Soil Taxonomy ». *Annals of the Association of American Geographers*, 74, 1, pp. 83-97.
  - 15) Wiener (N.), 1961, *Cybernetics or control and communication in the man and the machine*. M.I.T. Press. Bertalanffy (L. von), 1968, *Théorie générale des systèmes*. Ed. française 1973, Dunod, 296 p. Popper (J.), 1973, *La dynamique des systèmes*. Eyrolles, 272 p., Le Moigne (J.L.), 1977, *La théorie du système général*. P.U.F., 258 p.
  - 16) Parmi une vaste littérature sur la question, on consultera dans l'ouvrage *La systémique dans les sciences de la terre*, 1979, CNRS, Institut de Géodynamique, Bordeaux, 237 p., les textes suivants. Humbert (L.), « Définition de la systémique et des sciences de la terre ». Callot (G.), « Approche systémique en pédologie ». Guermond (Y.), Kaiser (B.), Tricart (J.), 1979, « Approche systémique en géographie ».
  - 17) Bie (S.W.), 1975, « Towards integrated soil systems ». *Proc. Meet. ISSS Work. Gr. Soil Inform. Syst.*, pp. 73-78. Jongen (P.), 1975, « Large soil data sets and their manipulation ». *Proc. Meet. ISSS Work. Gr. Soil Inform. Syst.*, pp. 31-35. Schelling (J.), 1975, « The role of soil information systems ». *Proc. Meet. ISSS Work. Gr. Soil Inform. Syst.*, pp. 13-16. Schelling (J.), Bie (S. W.), 1978, *Soil information systems. Considerations for the future*. Intern. Congr. Soil Sci., 3, pp. 208-213. *Glossaire de pédologie. Description des horizons*, 1969, Ed. Orstom, Init. Doc. Techn., 13, 82 p. *Glossaire de pédologie. Description de l'environnement*, 1971, Ed. Informatique et Biosphère, 173 p. Van Den Driessche (R.) et al., 1975, *Procédures opérationnelles en statistique et informatique pour données en langage naturel*. Cah. Orstom, sér. Pédol., 13, 3-4, pp. 223-226. Tomlinson (R.F.), 1978, *Design considerations for digital soil map systems*. Intern. Congr. Soil Sci., 3, pp. 191-207.
  - 18) Dijkerman (J.C.), 1974, « Pedology as a science: the role of data, models and theories in the study of natural soil systems ». *Geoderma*, 11, 2, pp. 73-93. Yaalon (D.H.), 1975, « Conceptual models in pedogenesis: can soil-forming functions be solved? » *Geoderma*, 14, 3, pp. 189-205. Huggett (R.J.), 1976, « Conceptual models in pedogenesis. A discussion ». *Geoderma*, 16, 3, pp. 261-262.
  - 19) Roose (E.), 1977, *Érosion et ruissellement en Afrique de l'Ouest*. Éditions de l'Orstom, 108 p. Casenave (A.), Valentin (C.), 1990, *Les états de surface de la zone sahélienne : influence sur l'infiltration*, Éditions de l'Orstom, 229 p.
  - 20) « Notre cartographie s'écarte donc des méthodes traditionnelles consistant à ne figurer que certains aspects du milieu, analysés séparément par les disciplines classiques (pédologie, géomorphologie, hydrologie, etc.)... (elle associe) étroitement les données lithologiques, géomorphologiques et pédologiques... chaque groupe de données est figuré sur la carte par des trames différentes dans une même couleur... La carte morphopédologique fait donc apparaître un certain nombre d'unités territoriales non limitées formellement. » (J. Tricart et J. Kilian, 1979, *L'éco-géographie*. Maspéro, Hérodote, 326 p.)
  - 21) Kilian (J.), 1974, « Étude du milieu physique en vue de son aménagement ». *L'Agronomie Tropicale*, 29, 2-3, pp. 141-153. Tricart (J.), 1974, « De la géomorphologie à l'étude écographique intégrée ». *L'Agronomie Tropicale*, 29, 2-3, pp. 122-132. Tricart (J.), 1979, « Paysage, écologie et approche systémique ». *Bull. Ass. géogr. fr.*, 465, pp. 377-382. Tricart (J.), Kilian (J.), 1979, *L'éco-géographie et l'aménagement du milieu naturel*. Maspéro, Hérodote, 326 p.
  - 22) « On voit apparaître ici autre chose que la modification du sol sous l'influence des agents extérieurs: ce sont des phénomènes d'auto-développement ou d'auto-évolution avec des agents extérieurs constants. On décèle ainsi un déterminisme de la différenciation pédologique par la différenciation elle-même...

Les accumulations réalisées à l'aval influent à leur tour sur les altérations et les migrations amont. Les différentes accumulations étudiées se réalisent dans un certain ordre déterminé par le jeu des barrières géochimiques successives... » G. Bocquier, *Genèse et évolution de deux toposéquences de sols tropicaux au Tchad. Interprétation biogéodynamique*. Editions de l'Orstom, Mém. 62, 351 p.)

- 23) Bocquier (G.), Paquet (H.), Millot (G.), 1970, « Un nouveau type d'accumulation oblique dans les paysages géochimiques ». *C.R. Acad. Sci.*, 270, pp. 460-463. Bocquier (G.), 1971, *Genèse et évolution de deux toposéquences de sols tropicaux au Tchad. Interprétation biogéodynamique*. Thèse Fac. Sci., Strasbourg, 364 p. Idem, 1973, Éd. de l'Orstom, Mém. 62, 351 p. Boulet (R.), 1978, *Toposéquences de sols tropicaux en Haute-Volta*. Éd. de l'Orstom, Mém. 85, 272 p.
- 24) Nahon (D.), 1971, « Genèse et évolution des cuirasses ferrugineuses quaternaires sur grès ». *Bull. Serv. carte géol. Als. Lor.*, 24, 4, pp. 219-241. Nahon (D.), 1976, *Cuirasses ferrugineuses et encroûtements calcaires au Sénégal Occidental et en Mauritanie : géochimie, structures, relais et coexistence*. Sciences Géologiques (Strasbourg), Mémoires, n° 44, 232 p. Leprun (J.C.), 1979, *Les cuirasses ferrugineuses des pays cristallins de l'Afrique occidentale sèche*. Thèse Fac. Sci., Strasbourg, 219 p.
- 25) Voir divers textes, in *Cah. Orstom*, sér. Pédol., 1977, 15, 1, pp. 3-62. Beaudou (A.G.) et al., 1978, *Recherche d'un langage transdisciplinaire pour l'étude du milieu naturel (tropiques humides)*. Ed. de l'Orstom, Trav. & Doc. 91, 143 p. Richard (J.F.), 1985, *Le paysage. Un nouveau langage pour l'étude des milieux tropicaux*. Thèse, Paris. Idem, 1989, Éd. de l'Orstom, Coll. Init. Doc. Techn., n° 72, 210 p.
- 26) Gaillard (J.), 1988, *Les chercheurs des pays en développement. Origines, formations et pratiques de la recherche*. Ed. de l'Orstom, Col. Études et Thèses, 222 p.



**LES SCIENCES HORS D'OCCIDENT  
AU XX<sup>E</sup> SIÈCLE**

**SÉRIE SOUS LA DIRECTION  
DE ROLAND WAAST**



**VOLUME 3**

**NATURE  
ET  
ENVIRONNEMENT**

**YVON CHATELIN  
ET CHRISTOPHE BONNEUIL**  
ÉDITEURS SCIENTIFIQUES

**CRISTOM**  
éditions

**LES SCIENCES HORS D'OCCIDENT  
AU XX<sup>e</sup> SIÈCLE**

20<sup>TH</sup> CENTURY SCIENCES:  
BEYOND THE METROPOLIS

**SÉRIE SOUS LA DIRECTION  
DE ROLAND WAAST**

**VOLUME 3**

**NATURE  
ET  
ENVIRONNEMENT**

NATURE AND ENVIRONMENT

**YVON CHATELIN  
ET CHRISTOPHE BONNEUIL  
ÉDITEURS SCIENTIFIQUES**

---

**ORSTOM Éditions**

L'INSTITUT FRANÇAIS DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE POUR LE DÉVELOPPEMENT EN COOPÉRATION  
PARIS 1995