

**O  
N  
A  
R  
E  
S  
T**

**INSTITUT DE RECHERCHES AGRICOLES ET FORESTIÈRES  
(I. R. A. F.)**

**NOTE CRITIQUE SUR LES OUTILS  
ET LES METHODES DE  
L'APPROCHE SYSTEMIQUE EN PEDOLOGIE**  
sur la base d'une analyse bibliographique



J. P. MULLER  
Pédologue ORSTOM  
1978

NOTE CRITIQUE SUR LES OUTILS ET LES METHODES  
DE L'APPROCHE SYSTEMIQUE EN PEDOLOGIE,  
sur la base d'une analyse bibliographique.

-----o-----

par  
Jean-Pierre MULLER  
Pédologue de l'ORSTOM +

+ O N A R E S T. Institut de Recherches Agricoles et Forestières  
Station Agronomique de Nkolbisson  
B.P. 2.067 - YAOUNDE  
(Cameroun)

COPYRIGHT ONAREST - J.P. MULLER.

"Droits de reproduction et d'adaptation soumis pour tous pays à l'autorisation écrite préalable des dépositaires du copyright. Sont autorisées les citations et reproductions de figures accompagnées des références bibliographiques".

"All rights reserved. No part of this book may be translated or reproduced by any means without the prior written permission from the copyright owners. Quotations and reproductions of drawings can be made with bibliographical references".

R E S U M E :

On sait maintenant qu'au-dessus de l'individu-sol il existe des structures (et fonctions) d'ordre supérieur, réalités physiques d'ordre supérieur, caractérisées, scientifiquement, par des propriétés spécifiques, parfaitement déterminables. Le pédologue, peu à peu obligé à concevoir des phénomènes qui n'auraient pas leur équivalent parmi les phénomènes élémentaires est progressivement amené à négliger, dans une certaine mesure, des effets élémentaires tandis que se dégagent des groupes d'effets spécifiquement naturels qui caractérisent des "systèmes-sol".

Cette "approche systémique" procède en plusieurs étapes : l'analyse du système, sa modélisation (et éventuellement sa simulation), et la "théorisation". Cette note, essentiellement basée sur une compilation bibliographique, est une analyse critique de l'extrême variété des outils et méthodes utilisées pour ce cheminement, et se propose d'en examiner les imperfections et insuffisances. Nous montrons comment le franchissement des étapes précédentes impose des filtres au niveau desquels s'opèrent des tris, oblige à diverses simplifications et abstractions, est empreint de subjectivité, est sujet aux modes ou influencé par des apports allogènes.

.../...

P L A N :

- 1.- Introduction : l'approche systémique.
- 2.- La collecte des données, l'analyse des systèmes.
  - 2.1 - Définitions, formulation ;
  - 2.2 - Mesures ;
  - 2.3 - Classification ;
  - 2.4 - Limites à l'objectivité et l'exhaustivité.
- 3.- La modélisation :
  - 3.1 - Nature des modèles ;
  - 3.2 - Le rôle des modèles ;
  - 3.3 - La conception du modèle ;
  - 3.4 - Limites de la modélisation et de la simulation.
- 4.- Explication des faits et théorisation :
- 5.- Conclusions.

.../...

## 1.- INTRODUCTION : L'APPROCHE SYSTEMIQUE.

La large échelle d'observation permise par les moyens de l'analyse pédologique (du très grand au microscopique) nous fait percevoir un autre infini, l'infiniment complexe, né de l'extraordinaire variété des éléments, des relations, des interactions et des combinaisons, sur lesquels repose le fonctionnement des systèmes naturels dont fait partie le sol.

Cette complexité nous oblige progressivement à compléter l'approche analytique, parcellisante, par une approche plus globale, l'approche systémique (ALKOFF, 1960). La première, la plus largement utilisée, ramène un système à ses éléments les plus simples, les étudie en détail et décrit les types d'interactions qui existent entre eux. La seconde se propose d'étudier le système dans sa totalité, sa complexité organisée, sa dynamique propre (et non sa totalité exhaustive, BOULDING, 1956).

Cette méthodologie (J.P. MULLER, 1977, à paraître) qui impose donc une vision génétique basée sur les deux propriétés fondamentales du relationnel et du devenir, procède en trois étapes fondamentales dans son application à l'étude du comportement dynamique des systèmes complexes : l'analyse du système, sa modélisation (voire sa simulation), et l'explication des faits (ou théorisation). Nous nous proposons dans cette note d'en faire une analyse critique sur la base d'une compilation bibliographique.

## 2.- LA COLLECTE DES DONNEES, L'ANALYSE DES SYSTEMES :

L'analyse des systèmes consiste à définir les limites du système à étudier, à identifier ses principaux éléments, les types d'interactions qui les lient, les grandes liaisons qui les intègrent en un tout organisé. Ces éléments et types de liaisons sont classés et hiérarchisés. On identifie ensuite et dégage les variables d'état et d'activité (flux), les boucles de rétroaction, les "sources" et les "puits".

.../...

La collecte des données s'effectue par l'observation directe ou par le biais de l'expérimentation, sur le terrain ou au laboratoire. Elle procède en plusieurs étapes qui sont autant de filtres au niveau desquels s'opèrent un tri des observations pertinentes. Apparemment élémentaire, elle est, dès les premiers stades, sélective et empreinte de subjectivité du fait de la multitude des informations, de la définition préalable des objectifs poursuivis par le pédologue, d'a-priori ou de références à des connaissances antérieures (souvent extra-pédologiques et dont il est difficile de se défaire), de l'obligation de faire un choix entre ce qui paraît important (ou significatif) et ce qui le semble moins.

## 2.1 - Définitions, formulation :

Un certain nombre de données peuvent être chiffrées (cf. ci-dessous). Mais beaucoup de faits d'observation et la plupart des concepts ne reçoivent pas (ou pas encore) de formulation mathématique et ne peuvent être exprimées que verbalement. C'est le cas de nombreuses observations morphologiques. Un langage spécifique est créé. Ainsi le langage actuel de la pédologie est riche mais souffre d'une certaine im-précision des définitions, fait appel à des stéréotypes empruntés à d'autres sciences (ex : types structuraux sur des bases géométriques), utilise parfois des termes interprétatifs (BREWER, 1973 pour la micro-morphologie), la terminologie variant suivant les auteurs et selon les époques. Les termes se chargent avec le temps d'idées qui les éloignent de leur sens primitif. Ce manque de spécificité et de stabilité a été souligné par CHATELIN (1972).

Le Glossaire de Pédologie (ORSTOM, 1969) est un progrès dans l'élaboration d'un langage opérationnel commun. Mais ces définitions ne peuvent être que temporaires et être revues au fur et à mesure que notre savoir augmente et que les méthodes d'investigation s'affinent. Mais s'il est nécessaire que les définitions gagnent en précision, les risques d'une trop grande rigidité sont grands : certaines données ne peuvent être relevées et sont perdues faute de pouvoir être exprimées dans un langage approprié. A la façon des systèmes observés, organisés en plusieurs niveaux hiérarchisés, le langage doit être structuré en niveaux cohérents de complexité croissante. Il doit s'adapter à l'objet observé et non l'inverse.

.../...

## 2.2 - Mesures :

L'expression de nombreuses données fait référence à différentes échelles de mesures (STEVENS, 1946) ou systèmes de nombres dont le choix est important dans la formulation des modèles mathématiques ou des méthodes statistiques utilisées (cf. ci-dessous). On distingue (DIJKERMANN, 1974) :

a/ - Des échelles non paramétriques qui peuvent être :

- Nominales : des termes classifient des objets (ex : structures polyédriques, prismatiques...). Des chiffres peuvent être affectés à ces termes pour un traitement statistique. Cette méthode primitive qui n'est pas en fait à proprement parlé une mesure, ne repose sur aucune règle précise et introduit artificiellement des discontinuités. Il n'existe pas de relation quantitative entre les chiffres successifs.
- Ordinales : plus raffinées, elles introduisent ces relations quantitatives et ordonnent les données suivant une séquence de leur degré de développement. Elles ont par exemple été utilisées pour classer les facteurs de fertilité des sols de la vallée de la Bénoué au Cameroun (J.P. MULLER, M. GAVAUD, 1976) où les variables ordonnables de chaque facteur ont été codifiées dans une échelle dont les degrés coïncident avec des limites naturelles, avec des seuils d'apparition de phénomènes remarquables, avec des classes empiriquement testées de fertilité (0 = nul, non ; 1 = très bas, très faible, très mauvais ; ... 4 = moyen, absence de caractéristiques néfastes... 6 = fort, important, bon ; 7 = exceptionnel). Mais ces échelles n'ont pu être utilisées pour certaines données non ordonnables de façon simple relativement aux rendements (ex. : textures). Dans ces échelles cependant, la valeur des intervalles choisis peut être variable (ex. : drainage externe des sols de la Bénoué. Classe 1 : très mauvais drainage, 180 à 225 j d'inondation ; classe 3 : drainage médiocre, 75 à 130 j d'inondation).

.../...



b/ - Des échelles paramétriques qui peuvent être :

- D'intervalles : les intervalles de variations sont égaux mais le zéro de référence n'est pas absolu. Exemple : Porosité des sols de la vallée de la vallée de la Bénoué : intervalles de variation de 5 % mais la classe 2 (mauvaise) a déjà 40 % de porosité.
- De proportions : (à raison géométriques ou arithmétiques) possédant un zéro absolu. Ce sont par exemple les échelles de temps, profondeur, pourcentages ...

Il s'avère que de plus en plus de données sont exprimables dans des échelles paramétriques. Il en est ainsi de la couleur (Code Munsell) ; de la consistance grâce au pénétromètre (DAVIDSON, 1965), comptages micrométriques....

En passant progressivement d'un stade qualitatif à un stade quantitatif la pédologie doit multiplier les mesures et notamment celles utilisant les échelles de proportions, avec pour ambition de satisfaire aux trois qualités d'une bonne mesure : justesse, précision, fidélité. Les progrès réalisés dans les techniques de détermination des textures illustrent bien cette évolution.

### 2.3 - Classification :

Elle intervient à différents stades de la collecte des données. Une détermination granulométrique se réfère à une échelle des tailles des particules établie préalablement. La taxonomie des sols intervient postérieurement à la définition des objets et de leur mesure éventuelle. Cet important problème de la classification dont le rôle est d'ordonner et de condenser les données sera examiné ultérieurement dans le cadre général des applications de l'approche systémique.

En établissant une classification dans un but précis (ex. : classes structurales) le risque est grand de perdre des informations ne servant pas directement l'objet visé. En outre ces classifications établies pour et mises à l'épreuve sur des sols d'une région déterminée peuvent ne pas être satisfaisantes dans d'autres régions. De nombreuses classifications par-

tielles sont plus ou moins acceptées en raison de l'autorité de ceux qui les proposent et leur champ d'action élargi à des données ou domaines de plus en plus éloignés de ceux pour lesquels elles ont été définies. Cette extrapolation du particulier au général est néfaste parce que réductrice. Une démarche consistant à élaborer des systèmes de classification englobant le maximum de données (approche globale visant l'universalité), quitte à réaliser des subdivisions ou adaptations locales ou destinées à des cas particuliers, correspond plus à la réalité complexe des faits.

#### 2.4 - Limites à l'objectivité et l'exhaustivité :

Dès les premières phases de l'analyse pédologique, celle de la collection des données, l'information passe par des "filtres" qui sont autant d'obstacles à une analyse objective et exhaustive. Nous en examinerons les principales causes avant d'en rechercher les remèdes. Outre l'obligation de faire des choix imposés par les limites de notre savoir, il est des tares qu'il paraît déjà possible de combattre. Elles sont inhérentes :

##### a/ - Aux ambitions de la pédologie :

Science jeune, la pédologie a voulu s'ériger, dès sa naissance, en science autonome possédant une doctrine. Elle est ainsi rapidement devenue spéculative en cherchant à résoudre les délicats problèmes de genèse. Cette ambition d'être à la fois descriptive et explicative est nettement exprimée par la dualité des fonctions de la classification : Pensum des connaissances et systématique des sols. Mais les lois génétiques, spéculatives, formulées très tôt, ont fortement influencé l'analyse pédologique à tous les niveaux. Les types morphologiques sont conçus comme des stades évolutifs. Il n'y a pas de séparation bien nette entre le concret observé et l'interprétation théorique. Les "lois", incertaines, étant sujettes à de multiples changements, tant dans leur formation que dans leur contenu, cette instabilité s'est répercutée au niveau de l'observation. En outre, la formulation précoce d'une "pensée génétique" (CHATELIN, 1976) en privilégiant certaines voies de recherche, a polarisé l'attention des pédologues sur certains aspects des sols, en délaissant d'autres moins évidents ou ne servant pas l'objectif défini.

b/ - Aux idées-clés et apports allogènes :

La pédologie a certes développé des voies propres de recherche, mais a aussi sciemment recherché des bases considérées comme sûres, dans des disciplines voisines mieux établies, en leur empruntant des idées-clés, des concepts. Il est par exemple significatif, comme le souligne CHATELIN (1972), que la géochimie et la mise en place des matériaux, préoccupations issues de la géologie et la géomorphologie, ont largement inspiré l'étude des sols ferrallitiques. Il en est résulté une sélection de certains critères aux dépens d'autres. Ainsi relativement peu de travaux portent sur l'organisation des sols ferrallitiques, et notamment sur les implications morphologiques de l'histoire des sols ferrallitiques (polygénisme). Outre que ces idées subissent des changements (l'exemple du problème de la stone-line est éloquent), elles suscitent des interprétations sur des points fondamentaux, tels que la conception même du sol. Il va sans dire que cela influe notablement ~~sur~~ le choix de l'objet à étudier et les modes de description des sols dans ce qu'ils ont de subjectif. Il en résulte un déphasage dans le niveau des connaissances dans différents domaines ; la géochimie se situant généralement à la pointe des connaissances. Ce n'est que très récemment qu'avec des méthodes d'investigation modernes, telles que la microscopie, que certains aspects "oubliés" des sols ferrallitiques ont été abordés.

c/ - A la subjectivité de l'observateur :

"L'homme exerce des fonctions cognitives directes, se situant à la base de l'analyse pédologique" (CHATELIN, 1972).. Il est de plus en plus tiré profit de mesures plus ou moins "objectives" dans l'observation ou la perception des faits. Ces méthodes chimiques, physiques ou autres, sont critiquées, perfectionnées, renouvelées. Mais l'analyse morphologique est encore pour l'essentiel soumise à la perception directe de l'observateur. Il est illusoire de se débarrasser de toute subjectivité. Mais certaines pressions ou contingences peuvent être restreintes voire éliminées. Ainsi un observateur, fortement conditionné par les objectifs qu'il se fixe, est amené à négliger certains faits jugés futiles ; ces objectifs étant eux-mêmes dominés par les idées-clés en vogue.

.../...

Comme le souligne CHATELIN, pendant une certaine période les éléments grossiers n'ont fait l'objet d'aucune attention particulière, puis ont envahi tout à coup les paysages et polarisé les attentions. Des pédologues partisans d'un allochtonisme outrancier ont négligé les horizons supérieurs et leur possible continuité avec les B meubles profonds, à travers l'horizon grossier (MULLER, 1977). Diverses théories se sont succédées, chacune cherchant à vérifier des concepts d'emprunt anihilant ainsi la recherche de données nouvelles, de faits pourtant parfaitement décelables. Cette attitude en outre projective, réductrice, puisque consistant <sup>à utiliser</sup> /fréquemment des concepts élaborés ailleurs, sera analysée à propos de la modélisation (cf. 32).

d/ - Aux insuffisances dans la formulation :

La multiplication des mesures a permis une expression simple (directe ou graphique), en termes opérationnels, de nombreux faits expérimentaux et parfois d'observation. Mais l'expression de nombre d'entre-eux, notamment en morphologie, reste encore verbale. Or la terminologie pédologique, bien que concrète et riche, manque de rigueur et de stabilité. Nous avons vu que l'observateur est conditionné par des concepts ou idées-clés. Or des formulations imprécises ont souvent masqué la fréquence de certaines différenciations, rendu multiples les descriptions d'un même caractère, et, partant, rendu impossible ou du moins difficile la formulation de corrélations ou filiations évidentes. Un exemple type est celui des structures aliatiques. Plus grave encore est la perte d'information, par manque de bonne formulation.

La banalisation du langage pédologique constitue un autre écueil. Les termes du langage courant sont souvent vagues, sujets à de multiples interprétations et substitutions, ambigus. Un vocabulaire variable, hétérogène, voire incohérent, tout en étant souvent (et paradoxalement) rigide, diversifie artificiellement des faits déjà complexes, en retarde le regroupement en masquant leur fréquence. A un niveau supérieur, il complique la compréhension des processus et la formulation des concepts. CHATELIN et MARTIN (1972), dans une ébauche d'analyse sémantique, constatent ces "polysémies" et "connotations" ainsi que l'absence d'intermédiaires entre le vocabulaire consacré à la description élémentaire et

celui qui se situe au niveau des concepts interprétatifs. Ils proposent une terminologie applicable aux sols ferrallitiques en formant des néologismes à base étymologique.

Notons enfin qu'un langage pléthorique peut cacher tout simplement une mauvaise connaissance des faits, voire des insuffisances dans l'observation.

### 3.- LA MODELISATION :

La création des modèles et la simulation sont parmi les méthodes les plus largement utilisées par l'approche systémique, au point que pour certains ils en constituent l'essentiel.

Confrontés à la complexité et à l'interdépendance; / <sup>nous</sup> cherchons tous à utiliser des modèles analogiques simples qui, à partir d'une analyse préalable, visent à réunir les principaux éléments d'un système en vue d'émettre des hypothèses sur son comportement d'ensemble, en tenant compte de l'interdépendance des facteurs. Mais la construction de tels modèles analogiques devient irréalisable quand le nombre des variables devient important comme dans les systèmes naturels, et les systèmes-sol en particulier. On fait alors intervenir des moyens mécaniques et électroniques (simulateurs et ordinateurs par exemple).

La modélisation consiste à construire un modèle à partir des données de l'analyse (cf. ci-dessous). On établit un schéma complet des relations causales entre les éléments des différents sous-systèmes, puis on exprime dans un langage approprié les équations décrivant les interactions entre les différents éléments du système.

Les modèles utilisés en pédologie sont de natures diverses, sont réalisés dans des buts multiples, et sont construits de façon très variées en utilisant diverses simplifications et abstractions (DIJKERMANN, 1974).

.../...

### 3.1 - Nature des modèles :

Ils peuvent correspondre à des objets concrets ou des concepts (DIJKERMANN 1974) :

a/ - Modèles concrets : ce sont notamment toutes les expérimentations sur échantillons non perturbés, sur colonnes...

b/ - Modèles conceptuels : Il s'agit soit d'images mentales, soit d'expressions verbales, structurales (diagrammes, cartes) ou mathématiques d'un concept.

- Les modèles mentaux n'ont pas de formulation. Ce sont les images que l'on se fait du monde qui nous entoure. Flous et incomplets, ils simplifient généralement et inconsciemment la réalité et sont sujets à changement. Un réel danger réside en leur possible conversion ou traduction en modèles verbaux, structuraux, voire mathématiques (cf. 22).

- Les modèles verbaux utilisent le langage pour exprimer des concepts (cf. 21). Qualitatifs ils manquent nécessairement de précision et justesse. Ils ont été utilisés par JENNY (1941) pour l'étude des facteurs de pédogenèse, SIMONSON (1959) et HOLE (1961) pour exprimer les processus pédogénétiques, ou RUNGE (1973) qui combine en deux "vecteurs énergétiques" les facteurs et les processus pédogénétiques.

- Les modèles structuraux traduisent le savoir sous forme de dessin, diagrammes ou cartes. Ces modèles ont été utilisés par BOULAINÉ (1976) en cartographie, ARNOLD (1965) pour formuler de multiples hypothèses de travail en pédogenèse, BOCQUIER (1971) et BOULET (1974) pour représenter des séquences de sols (diagrammes) sous le double aspect de leur organisation (structural) et dynamique (fonctionnel).

- Dans les modèles mathématiques la structure du système et son fonctionnement sont exprimés sous forme quantitative par des équations mathématiques. Ces modèles sont très largement utilisés. YAALON (1975) analyse par exemple les fonctions du développement du sol (litho, clima, bio, chrono-fonctions). De très nombreux modèles mathématiques sont donnés en chimie et physique du sol (SEGALEN, 1957 pour la composition minérale, de BOISSEZON et al., 1973 pour la composition organique, HUMBEL

.../...

1975 pour la perméabilité des sols ferrallitiques, par exemple). De plus en plus de problèmes pédogénétiques sont traités quantitativement et trouvent une formulation mathématique. Les modèles statistiques sont parmi les plus courants : d'abord simples (JENNY 1941) ils deviennent de plus en plus élaborés en intégrant un nombre de plus en plus important de variables d'état et d'activité (MORRIS, 1970).

### 3.2 - Le rôle des modèles :

Ces modèles servent des buts variés : collation des données, description du comportement d'un système.

- Modèles d'observation : ce sont par exemple les échantillons jugés représentatifs de différents sous-systèmes d'un système naturel trop étendu pour être étudié dans sa globalité. En l'absence de coupe continue ou tranchée, le pédologue série des profils pédologiques sur un caténon afin d'en saisir la géométrie des horizons et la dynamique latérale. L'échantillon rapporté au laboratoire est sensé représenter un horizon. Les erreurs d'échantillonnage sont évidemment fréquentes (BECKETT et WEBSTER, 1971) mais peuvent être estimées et réduites par plusieurs prélèvements systématiques (PETERSON et CALVIN, 1965) tel que cela se pratique en agronomie. La subjectivité du préleveur biaise aussi le mode de prélèvement : le choix des sites répond parfois à des *à priori* et est souvent légitimé par la nécessité de justifier un concept idéalisé, souvent inconsciemment préétabli.

- Modèles expérimentaux : ils sont utilisés en pédologie expérimentale (HALLSWORTH et CRAWFORD, 1965) pour simuler artificiellement et en conditions définies (contrôlées) des phénomènes naturels. Ils sont très fréquemment utilisés en géochimie des altérations (MELFI et al. 1973, ROBERT 1975) ou dans l'étude des translocations (THORP et al 1957) pour ne citer que quelques exemples. Comme le souligne DIJKERMANN (1974) le danger de tels modèles est une simplification abusive des éléments et de leurs interactions et de trop s'éloigner des conditions naturelles.

.../...

- Modèles descriptifs : ils sont destinés à caractériser le système étudié. La cartographie en est un parmi les plus importants (ex. : BEAUDOU, CHATELIN, 1976 en milieu ferrallitique de Côte d'Ivoire, BRABANT, 1977 en domaine tropical sec au Cameroun).

- Modèles explicatifs : ils sont établis pour faciliter la compréhension du fonctionnement et les relations entre les éléments d'un système. Nombreux travaux basés sur les équilibres thermodynamiques tels que les diagrammes de stabilité usent de tels modèles (cf. par exemple SEGALEN 1964, 1973 pour le fer et l'aluminium).

- Modèles prédictifs : ils ont pour but de prévoir l'évolution du système sol en faisant intervenir le facteur temps. Les modèles explicatifs en déterminant un sens de l'évolution sont déjà prédictifs mais l'inverse n'est pas toujours vrai, notamment quand le modèle est uniquement basé sur des relations empiriques.

### 3.3 - La conception du modèle :

Un modèle constitue une simplification voire une abstraction du système étudié. Il permet, le but de l'étude étant précisé, de manier plus facilement le système (par la pensée ou réellement). Plusieurs artifices, non exclusifs, sont utilisés :

- La réduction de l'échelle : il s'agit de ramener le système à une dimension, généralement inférieure, permettant théoriquement d'intégrer toutes ses variables. Le "sol élémentaire" (GERASIMOV, 1974), le pédon (BOULAIN, 1969) ou l'échantillonnage (PETERSON et CALVIN, 1965) en sont des exemples. La cartographie des sols utilise constamment ce procédé.

- L'idéalisation : Comme nous l'avons souligné les systèmes naturels sont extrêmement complexes. Leur analyse exige des simplifications. Des hypothèses ou postulats sont nécessaires. YAALON (1975) donne, dans une analyse bibliographique des types de séquences, de nombreux exemples de telles réductions : Lithofonctions de RUHE (1968) et CHESTWORTH (1973), climofonctions de JENNY (1941), biofonctions de NOY MAIR (1973-74),

.../...



chronofonctions de STEPHENS (1947), CHESWORTH (1973), VREEKEN (1975), BIRKELAND (1974), ou les "modèles énergétiques de RUNGE (1973), dans lesquels les différenciations pédogénétiques sont expliquées par les variations de quelques facteurs externes, voire un seul, les autres étant considérés comme constants. Comme le souligne DIJKERMANN (1974), il s'agit souvent de simplifications grossières. Les modèles thermodynamiques constituent aussi des idéalizations dans la mesure où sont appliquées des lois valables pour les systèmes fermés.

- L'analogie ou l'extrapolation : le raisonnement analogique repose sur l'extrapolation de lois, théories ou hypothèses établies et vérifiées pour d'autres systèmes, plus simples ou plus maniables, ou la transposition de la connaissance d'un niveau inférieur à un niveau de complexité supérieure. Cette méthode est largement utilisée en agronomie quand les résultats d'essais locaux sont extrapolés à d'autres sols ou étendus à des aires de dimensions supérieures, non directement étudiés mais jugés similaires. Le raisonnement par analogie est aussi pratiqué à partir de sciences mieux établies que la pédologie (géologie ou biologie par exemple).

- La simulation : cette méthode précieuse pour aborder la dynamique des systèmes étudie le comportement dans le temps d'un système complexe (PATTEN 1971-72). Elle est aussi basée sur un raisonnement analogique : il s'agit de reproduire la réalité en faisant varier artificiellement et simultanément des groupes de variables. On peut simuler les variations de différents facteurs externes (ex. : KLINE 1973 pour les relations sol-plante et pédogenèse), ou des processus internes au système (DUTT et al. 1972). On peut pour cela utiliser un simulateur, c'est-à-dire un modèle physique interactif, donnant en temps réel une réponse aux différentes actions et décisions de l'utilisateur (ex. : simulateur de pluies, COLLINET 1975). Des programmes de simulation de plus en plus élaborés sont établis (COSLOP 2 de AHNERT, 1973).

Cette méthode permet de vérifier l'action d'un grand nombre de variables sur le fonctionnement global d'un système, hiérarchiser le rôle de ces variables, détecter les points d'amplification ou d'inhibition

.../...

grâce auxquels on peut influencer sur le comportement du système. L'utilisateur peut agir sur les variables espace et temps : accélération des phénomènes lents, ralentissement des phénomènes rapides, réductions d'échelle. Il peut en outre tester différentes hypothèses sans prendre le risque de détruire le système qu'il étudie.

### 3.4 - Limites de la modélisation et de la simulation :

a/ - Les changements fonctionnels des composants d'un système sol sont fréquemment étudiés au laboratoire ou par des essais au champ. Cette approche empirique est efficace si quelques variables du système sont étudiées pendant un temps court. Des équations simples peuvent décrire ces changements (KLINE, 1973). Mais elles restent des modèles à petite échelle, applicables à une petite partie du système. Ces modèles "isomorphiques" (PATTEN, 1971) montrent une à une les relations entre composants du système et éléments du modèle. ANDERSON (1972) juge cette méthode (appelée "constructionist approach") non valable parce que la possibilité de réduire tout à des lois simples n'implique pas celle de partir de ces lois pour reconstruire des systèmes complexes : la connaissance d'agrégats de particules élémentaires ne doit pas être comprise en termes de simple extrapolation des propriétés des particules simples, parce qu'à chaque niveau de complexité de nouvelles propriétés apparaissent qui nécessitent de nouvelles lois, concepts et généralisations. Il y a des raisons théoriques fondamentales pour qu'il soit impossible de construire une théorie compréhensive à large échelle à partir de composants de petites dimensions (WILSON, 1972) : le problème de développement d'une théorie d'un système compréhensif doit être directement abordé. KLINE (1973) reconnaît qu'il manque une théorie testable au niveau du système lui-même.

Dans un système immensément complexe comme le sol, où il y a une multitude de composantes qui changent selon une grande variété d'échelles de temps, il est difficile, sinon impossible, d'étudier les changements d'un système entièrement empiriquement et de le décrire avec des modèles isomorphiques. Il est nécessaire d'étudier globalement le système (le microscope d'ODUM, 1971), plutôt que de se focaliser sur les détails. Dans

ces modèles dits "homomorphes" (PATTEN, 1971) plusieurs éléments sont regroupés et leurs ensembles étudiés comme simples éléments du système. SIMONSON (1959) envisageait d'ailleurs déjà explicitement de tels modèles, dans une théorie généralisée qui postule que le développement du sol implique des additions, enlèvements, transferts et transformations de matériaux qui impliquent une vision globale. Mais les processus évoqués ne se réfèrent pas explicitement à une unité fonctionnelle et les relations restent peu explicites.

La modélisation procède donc de deux approches complémentaires, mais du fait de la jeunesse de la science pédologique rares sont les systèmes homomorphes satisfaisants.

b/ - La simulation apparaît comme un des outils les plus féconds de l'approche systémique.

L'apport du simulateur se situe à un niveau qualitatif : traitant d'abondantes données sur une fraction réduite (voire infime) de temps il révèle des structures, modalités ou tendances auparavant inobservables et résultant de la dynamique propre du système, et permet l'acquisition plus rapide de mécanismes fondamentaux.

Mais malgré le nombre et la diversité de ses applications la simulation reste une approche parmi d'autres, une méthode complémentaire d'étude d'un système complexe. On ne peut en attendre un optimum ou la solution exacte d'un problème. Elle ne dégage que des tendances générales du comportement d'un système, ses directions probables d'évolution et suggère de nouvelles hypothèses. Mais plus sérieux est le danger de la liberté d'action de l'utilisateur qui change les conditions initiales "pour voir", avec le risque de se perdre dans une infinité de variables et de comportements incohérents associés à ces modifications aléatoires. Les résultats de la simulation ne doivent donc pas être confondus avec la réalité mais être confrontés à ce que l'on connaît de cette dernière, pour servir de base à une modification éventuelle du modèle de départ. L'utilité de la simulation se révèle à la suite de ces approximations successives.

.../...

#### 4.- EXPLICATION DES FAITS ET THEORISATION :

La collecte des données (catalogue) n'a d'intérêt que si elle débouche sur une explication, si elle supporte un raisonnement. "Les généralisations, les doctrines, les hypothèses et les théories sont l'âme des sciences" (MENDELEEV). Le besoin d'explication est généralement sous-tendu par les questions particulières que nous nous posons ou lorsque la réalité des faits (par exemple d'un comportement) ne correspond pas à l'image, au schéma, que nous nous faisons (DIJKERMANN, 1974). Le risque est que ces questions ne soient pas les bonnes puisqu'elles sont "finalisées" par le chercheur, laquelle finalité peut être différente de la réalité des faits. En outre elles subissent des modes : les mêmes types de questions ont cours un certain temps puis sont abandonnées faute de réponses satisfaisantes (ex. : le problème de la stone-line en milieu ferrallitique). La démarche est donc généralement inversée : on se pose des problèmes particuliers puis on étudie le système en vue de répondre à ces problèmes au lieu d'étudier globalement le système puis de se poser les questions particulières. C'est tout le problème des recherches fondamentales et appliquées.

Les réponses aux questions posées sont des théories\*. Le raisonnement en pédologie ne suit pas une logique formelle de propositions et conclusions. Une tentative de théorisation formelle a cependant été faite par SCHELLING (1970). Son mérite est de faire apparaître les faiblesses, lacunes et contradictions de la connaissance en pédologie.

Les hypothèses sont largement utilisées en pédologie. Ayant à juger de la fertilité des sols d'une vallée alluviale (MULLER, GAVAUD, 1976) nous avons pris par exemple comme hypothèses que le drainage interne pouvait être estimé par son expression morphologique, que la perméabilité était une fonction directe de la structure, que les horizons blanchis étaient éluviaux.... Le danger est évidemment d'utiliser inconsciemment donc abusivement des hypothèses et de confondre interprétation et conclusions, lesquelles sont des déductions basées sur des données et relations sûres. Une approche plus acceptable est d'émettre plusieurs

---

\* Suivant "Le Robert" : construction intellectuelle méthodique et organisée, de caractère hypothétique (au moins en certaines de ses parties) et synthétique.

hypothèses ou alternatives (ARNOLD, 1965), ce qui réduit les risques de s'enfermer dans une voie fautive, et d'ériger progressivement l'hypothèse au rang de loi universelle. La réalité des faits est souvent la synthèse des idées les plus acceptables contenues dans plusieurs hypothèses (DIJKERMANN, 1974).

Il n'y a par contre que très peu de lois scientifiques en pédologie. Une loi au sens physique du terme ne souffre pas d'exceptions. La loi de la zonalité (climatique) des sols est ainsi fortement contestée : des sols "tempérés" sont trouvés en zone intertropicale (HARRIS, 1968), le facteur temps (âge des sols) n'est pas pris en compte, et la grande variété des sols à l'intérieur des zones climatiques font que cette loi ne peut constituer une base pour l'agronomie (GORSHENIN, 1968). Cette loi trouverait cependant des applications locales (HUMBEL, 1974) que nous contestons ou en tout cas modulons (MULLER, 1977).

#### 5.- CONCLUSIONS :

Nous avons vu qu'au cours de ses différentes étapes une approche systémique du sol imposait des filtres au niveau desquels s'opère un tri, qu'elle offrait de nombreuses imperfections, obligeait à diverses simplifications et abstractions, et débouchait sur des explications empreintes de subjectivité et sujettes aux modes. Mais il faut signaler aussi les dangers d'une utilisation trop systématique de l'approche systémique. Une approche purement descriptive sous le seul angle du relationnel, conduit rapidement à une collection inutilisable de modèles de différents systèmes. Une trop grande généralité de la notion de système peut aussi se retourner contre elle en détruisant sa fécondité dans une platitude stérilisante. De même l'usage abusif des analogies, homologies ou isomorphismes, peut entraîner des interprétations qui compliquent au lieu d'éclairer, en se fondant sur des ressemblances superficielles plutôt que sur des principes et des lois fondamentales communes à tous les systèmes. La séduction qu'exercent des modèles conçus comme des aboutissements de la réflexion et non comme des points de départ de la recherche est une autre menace. Enfin un autre grand danger est la tentation de la "théorie unitaire" du modèle ayant réponse à tout.

.../...

Pour dépasser ces alternatives, l'approche systémique doit être opérationnelle, afin d'éviter les écueils d'un réductionisme paralysant ou d'un systémisme englobant. Elle doit déboucher alors (J. de ROSNAY, 1975) :

- 1/ Sur la transmission de la connaissance : elle offre un cadre conceptuel qui aide à organiser les connaissances au fur et à mesure de leur acquisition, renforce leur mémorisation, facilite leur transmission.
- 2/ Sur l'action : elle dégage des règles qui permettent d'affronter la complexité et permet de situer et hiérarchiser les divers éléments sur lesquels se fondent les conclusions.
- 3/ Sur la création : elle catalyse la pensée inventive tandis que l'approche analytique est le support de la "pensée connaissante". Ouverte, à l'image des systèmes qu'elle étudie, elle décroïsonne la connaissance. Elle réhabilite parmi les méthodes scientifiques l'analogie ou le modèle.

Nous avons pu constater que les outils et les méthodes de l'approche systémique étaient déjà largement utilisés en podologie. L'intérêt de cette approche passe finalement par sa démystification.

BIBLIOGRAPHIE :

- AHNERT (F.).- COSLOP 2 - A comprehensive model program for simulating slop profil development. Geocom Progr., 8 : 99-122.
- ALKOFF (R.L.), 1960.- Systems, Organisations and Interdisciplinary Research. General Systems Yearbook, vol. 5, p. 6.
- ANDERSON (P.W.), 1972.- More is different. Science, 177 : 393-396.
- ARNOLD (R.W.), 1965.- Multiple working hypotheses in soil genesis. Soil Sci.Soc.Am.Proc., 29 : 717-725.
- BEAUDOU (A.G.), CHATELIN (Y.), 1976.- Méthodologie de la présentation des volumes pédologiques. Typologie et cartographie en milieu ferrallitique. Multigr.ORSTOM Adiopodoumé, 18 p.
- BECKETT (P.H.T.), WEBSTER (R.), 1971.- Soil variability : A review. Soils Fert., 34 : 1-15.
- BIBENT (R.), 1975.- Altération artificielle proche des conditions naturelles : Mise en évidence de la formation des gels au cours de la ferrallitisation. In : IIIe. Réun. Ann. Sci. Terre, Montpellier, 1975, Univ. Sci. Techn. Languedoc, 39.
- BIRKELAND (P.), 1974.- Pedology, Weathering and Geomorphological Research. Oxford University Press, Oxford, 185 pages.
- BOCQUIER (G.), 1971.- Genèse et évolution de deux toposéquences de sols trpicaux du Tchad. Interprétation biogéodynamique. Thèse Fac. Sci. Strasbourg. Mém. ORSTOM, Paris 1973, n° 62 : 356 p.
- BOISSEZON (P.de), MOUREAUX (C.), BOQUEL (G.), BACHELIER (G.), 1973.- Les sols ferrallitiques. T. IV. La matière organique et la vie dans les sols ferrallitiques. Init. Doc. Techn., n° 1, ORSTOM Paris, 146 pages.
- BOULAINÉ (J.), 1969.- Sol, pédon, génon. Concepts et définitions. Bull. A. F. E. S., 1969, 2 : 31-40.
- BOULAINÉ (G.), 1976.- Inédit
- BOULET (R.), 1974.- Toposéquences de sols tropicaux en Haute-Volta. Equilibres dynamiques et bio-climatiques. Thèse Strasbourg, résumé in Cah. ORSTOM, sér. Pédol., XIII, 1 : 3-6.
- BOULDING (K.E.), 1956.- The Image. Ann., ARBOR, The Univ. of Michigan Press. 175 p. (op.cit).
- BRABANT (P.), 1977.- Carte pédologique à 1/200.000ème du Nord-Est Benoué (Cameroun). A paraître.

- BREWER (R.), 1973.- Some considerations concerning micromorphological terminology. IVth Intern. Working Meeting on Soil Micromorphology Kingston, 1973. In "Soil Microscopy", pp. 28-48.
- CHATELIN (Y.), 1972.- Eléments d'épistémologie pédologique. Application à l'étude des sols ferrallitiques. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., vol. X, 1 : 3-24.
- CHATELIN (Y.), 1976 - Contribution à une épistémologie des Sciences du sol. Thèse, Institut des Sciences de la Terre, Dijon. 142 pp.
- CHATELIN (Y), MARTIN (D), 1972 - Recherche d'une terminologie typologique applicable aux sols ferrallitiques. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., vol. X n° 1 : 25-44.
- CHESWORTH (W.), 1973.- The parent rock effect in the genesis of soil. Geoderma, 10 : 215-225.
- COLLINET (G), 1976.- Rapport multigraphié - «bidjan.
- DAVIDSON (D.T.), 1965.- Penetrometer measurements. In C.E. Black (Editor), Methods of Soil Analysis, I. Agron. Monogr., 9 : 472-485.
- DIJKERMANN (J.C.), 1974.- Pedology as a Science : The role of data, models and theories in the study of natural Soil systems. Geoderma, 11 : 73-93.
- DUTT (G.R.), SHAFFER (M.J.), MOORE (W.J.), 1972.- Computer simulation model of dynamic biophysicochemical processes in soils. Tucson, Univ. of Arizona, Agr. Exp. Sta., Techn. Bull. 196 : 101 p.
- GERASIMOV (I.P.), 1974.- World soil maps and relevant scientific problems of Science. X Int.Congr.Soil Sci.Moscow, XIII, 13-28.
- GORSHENIN (K.), 1968.- Zonality. Sov.Soil Sci., 11 : 1559-1561.
- HALISWORTH (E.G.), CRAWFORD (D.V.), 1965.- (Editors) Experimental Pedology. Proceedings Univ. of Nottingham Eleventh Easter School in Agricultural Science, Butterworths, London, 414 pages.
- HARRIS (S.A.), 1968.- Comments on the validity of the law of zonality. Trans. Int.Congr.Soil Sci., 9th, Adelaide, 4 : 585-593.
- HOLE (P.D.), 1961.- A classification of pedoturbation and others processes and factors of soil formation in relation to isotropism and anisotropism. Soil Sci., 91 : 375-377.
- HUMBEL (F.X.), 1974.- La compacité des sols ferrallitiques du Cameroun : Une zonalité dans ce milieu en relation avec la dessiccation saisonnière. Cah. ORSTOM. sér. Pédol., vol. XII, n° 1 : pp 73-102.



- HUMBEL (F.X.), 1975.- Etude de la macroporosité des sols par des tests de perméabilité ; Application d'un modèle de filtration aux sols ferrallitiques du Cameroun. Cah. ORSTOM, sér.Pédol., vol. XIII, 2 : 93-118.
- JENNY (H.), 1941.- Factors of soil formation - A system of quantitative pedology. Mc Graw-Hill, New-York, N.Y., 281 pages.
- KLINE (J.R.), 1973.- Mathematical simulation of soil - Plant relationships and soil genesis. Soil Sci., 115 : 240-249.
- MELFI (A.J.), VALLARELLI (J.), PEDRO (G.), LEVI (F.), HYPOLITO (R.), 1973.- Etude sur la formation d'oxydes et d'hydroxydes de Mn par altération expérimentale de silicates manganésifères. C.R.Acad.Sci.série D, t.277, 1 : 5 à 8.
- MORRIS (J.M.), 1970.- Multivariate methods in the study of soils. Soils Fert., 33 (4) : 313-318.
- MULLER (J.P.), 1977 a/- Microstructuration des structichrons rouges ferrallitiques, à l'amont des modelés convexes (Centre-Cameroun). Aspects morphologiques. Cah.ORSTOM, sér.Pédol., XV, 2.: à paraître.
- MULLER (J.P.), 1977 b/- La microlyse plasmique et la différenciation des épipédons dans les sols ferrallitiques rouges du Centre-Cameroun. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., XV, 3 :à paraître.
- MULLER (J.P.), 1977 c/- La séquence verticale d'organisation des horizons meubles ferrallitiques au Cameroun. Variations en latitude en fonction du pédoclimat et de l'âge des sols. A paraître Cah. ORSTOM, sér. Pédol.
- MULLER (J.P.), Réflexions sur les fondements d'une systématique des sols. A paraître.
- MULLER (J.P.), GAVAUD (M.), 1976.- Conception et réalisation d'une carte d'aptitudes culturales, à propos de la cartographie des sols de la vallée de la Bénoué au Cameroun. Cah.ORSTOM, sér. Pédol.,vol.XIV, 2 : 131-160.
- NOY-MEIR (I.), 1974.- Multivariate analysis of the semi-arid vegetation in south-eastern Australia. II. Vegetation catenae and environmental gradients. Aust. J. Bot., 22 : 115-140.
- ODUM (H.T.), 1971.- Environment, Power and Society, Wiley, New-York.
- ORSTOM, 1969.- Glossaire de pédologie. Description des horizons en vue du traitement informatique. Initiations & Documentations Techniques, n° 13. ORSTOM Paris, 82 p.
- PATTEN (B.C.), 1971-72.- Systems analysis and simulation in ecology. Academic Press, New-York, N.Y., I (1971) : 607 p. II (1972) : 592 p.

- PETERSEN (R.G.), CALVIN (L.D.), 1965.- Sampling. In : C.E. Black (Editor), Methods of soil Analysis. Agron. Monogr. 9 : 54-72.
- ROBERT (M.), 1970.- Etude expérimentale de la désagrégation du granite. Thèse Sci. Paris (1ère partie) et Ann. Agron., 21, 6 : 787-817.
- ROSNAY (J. de), 1975.- Le Macroscopie, vers une vision globale. Ed. Seuil, Paris, 295 p.
- RUEH (R.V.), WALKER (P.H.), 1968.- Hillslope models and soil formation. I. Open systems. Trans. 9th. Int. Cong. Soil Sci., Adelaïde, S.A., 4 : 551-560.
- RUNGE (E.C.A.), 1973.- Soil development sequences and energy models. Soil. Sci., 115 : 183-193.
- SCHELLING (J.), 1970.- Soil genesis, soil classification and soil survey. Geoderma, 4 : 165-193.
- SEGALEN (P.), 1964.- Le fer dans les sols. Initiations et Documentations Techniques, ORSTOM Paris.
- SEGALEN (P.), 1973.- L'aluminium dans les sols. Initiations, Documentations Techniques, n° 22, ORSTOM Paris.
- SIMONSON (R.W.), 1959.- Outline of a generalized theory of soil genesis. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 23 : 152-156.
- STEPHENS (C.G.), 1947.- Fonction Synthesis in Pedogenesis. Trans. R. Soc. S. Austr., 71 : 168-182.
- STEVENS (S.S.), 1946.- On the theory of scales of measurement. Science, 103 : 677-680.
- THORP (J.), STRONG (L.E.), GAMBLE (E.E.), 1957.- Experiments in genesis The role of leaching. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 21 : 99-102.
- VREEKEN (W.J.), 1975.- Principal kinds of soil chronosequences and their pedogenetic significance. (op. cit).
- YAALON (W.J.), 1975.- Conceptual models in pedogenesis : Can soil forming functions be solved ? Geoderma, 14,3 : 189-205.

YAALON (W.J.), 1975.- Conceptual models in pedogenesis : Can soil forming functions be solved ? Geoderma, 14,3 : 189-205