

LES TRANSFERTS D'ECHELLE EN PEDOLOGIE: UNE REVUE

Jean Marc IRIS

I INTRODUCTION:

Il n'existe pas de définition précise du modèle spatial; il s'agit d'une notion floue qui exprime l'environnement dans lequel on se place dès qu'on envisage un transfert d'échelle. Plutôt que chercher à le préciser par des définitions conceptuelles complexes, nous allons l'exprimer à travers des exemples tirés de deux domaines d'études pédologiques: l'évolution des modes de description de la couverture pédologique, et l'évolution de l'estimation zonale du fonctionnement hydrique du sol.

Ces deux exemples permettent également de suivre la prise de conscience des modèles spatiaux par les naturalistes et les physiciens du sol.

II L'EVOLUTION DE L'APPROCHE NATURALISTE : LA REPRÉSENTATION SPATIALE DES SOLS.

II.1 LE PEDON OU LA REPRÉSENTATION MINIMALE.

On dit que la Pédologie naquit telle qu'on l'entend actuellement en Russie dans les années 1870. Son fondateur Vassili Vassilievitch DOKOUTCHAEV (1846-1903) fut chargé en 1877 d'estimer les effets de

deux années de sécheresse dans les steppes de sols noirs (chernoziem) du Sud de la Russie (Boulaïne 1984). Il publia ses résultats en 1883 et étendit ensuite ses investigations à l'ensemble du pays, puis il ajusta une classification des sols à ses observations.

Dès sa création donc, la caractérisation du sol est associée à la mise en place d'un outil de classement pour sa représentation spatiale. Tout au long de la grande période d'inventaire des sols et de cartographie régionale, la classification des sols fut employée comme outil de description. En France, la classification CPCS subit de profondes modifications à mesure de l'évolution de la connaissance pédologiques. Sa dernière édition datée de 1967 est actuellement en réfection (CPCS 1967). L'unité de base y est le profil pédologique type, appelé pédon, la couverture pédologique est constituée par la juxtaposition plus ou moins complexe de pédons (figure 1).

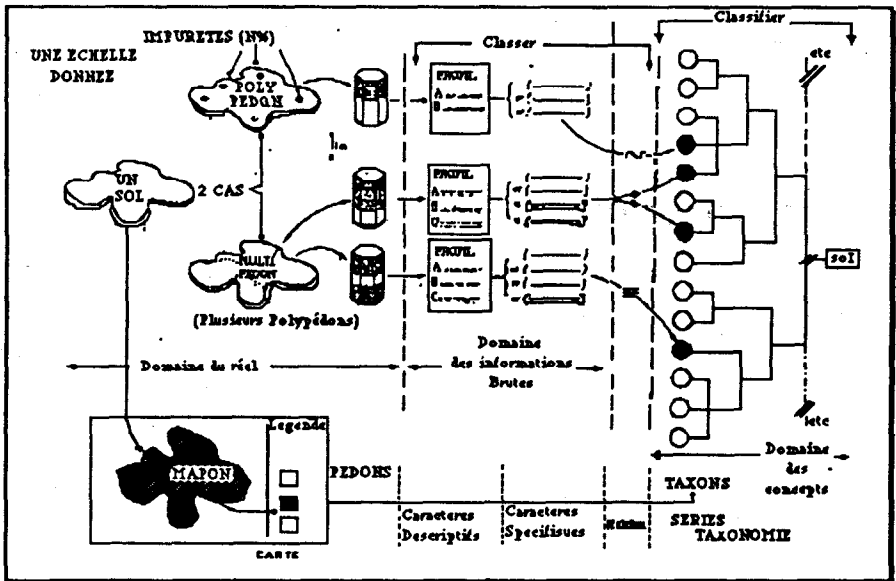


Figure 1- Schéma du modèle spatial taxonomique d'après Boulaïne 1982

Dans cette approche cartographique, le mode d'observation est adapté à l'échelle de la représentation. Le plus souvent l'équilibre entre la qualité de la représentation et le coût de l'étude est atteint avec une observation pour 1 cm² de carte.

Le pédon intègre la définition du sol dans sa totalité, il est indivisible. Différents auteurs ont cherché à assouplir cette contrainte en introduisant des représentations de l'hétérogénéité intra-pédon (Girard 1967,

Boulaine 1978), ou des appréciations empiriques, mais sans parvenir réellement à exprimer les variations pédologiques observées sur le terrain.

Les principales critiques qui ont été faites à l'égard de cette première conception du transfert d'échelle en Pédologie sont liées à son incapacité à décrire les variations continues de façon satisfaisante. De plus la référence à un profil pédologique type, également appelé "idéal", constitue une interprétation réalisée pendant une phase descriptive. A ces critiques, Boulaine (1984) a répondu par la définition de volumes élémentaires qui peuvent être associés de différentes manières, par juxtaposition, par association, en chaîne ou en séquence, sans remettre en cause l'existence d'un niveau de base homogène.

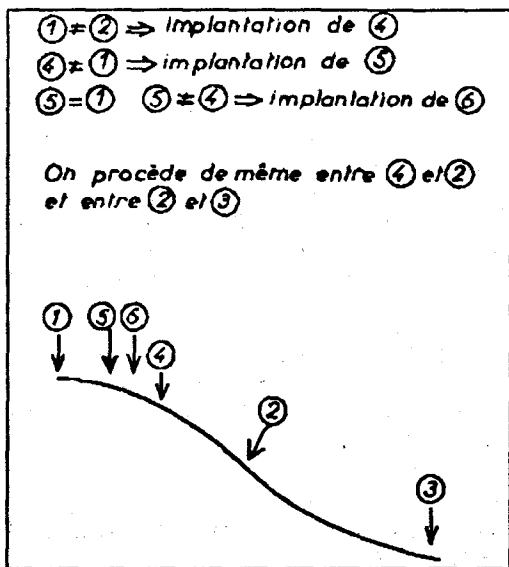
Ce mode de description est employé dans de nombreuses études cartographiques aux échelles régionales, nationales et internationales. A des échelles plus fines les pédologues de l'ORSTOM ont développé une méthode de représentation des couvertures pédologiques présentant des variations continues.

II.2 L'ANALYSE STRUCTURALE¹ : DE LA TOPOSÉQUENCE AU "PLAT DE NOUILLES".

G. Bocquier (1971) imagina cette nouvelle approche qui décrit l'organisation d'une séquence pédologique linéaire induite le plus souvent par des liens génétiques entre les "matériaux pédologiques" qui la constitue. Cette méthode a ensuite été appliquée par R. Boulet (1974) en Haute-Volta, puis par A. Chauvel (1977) en Casamance.

¹Le terme structural est employé ici dans le sens que lui ont donné les concepteurs de la méthode présentée.

Figure 2- Méthode de description "structuraliste" d'après Boulet et al 1983



Sur le terrain, une reconnaissance aussi précise que possible des constituants du sol le long de la séquence doit permettre de relier latéralement toutes les transformations observées dans les profils pédologiques (figure 2).

Cette reconnaissance entend s'appliquer à toutes les échelles supérieures à celle de la séquence. Les discontinuités et les organisations les plus fines sont décrites dans les fosses pédologiques.

La démarche suppose la continuité des matériaux, et l'expression de leur filiation au travers d'observations le plus souvent qualitatives. Les analyses de sols sont effectuées pour caractériser les matériaux charnières qui jouent un rôle important dans l'évolution du sol. Cette filiation est définie par la succession chronologique de deux matériaux et se traduit par des relations géométriques: à partir du moment où un axe général d'évolution pédologique est reconnu, l'organisation spatiale est supposée représenter une organisation chronologique. Ainsi le plus souvent le long d'un versant il est admis que les sols du sommet sont moins transformés que les sols à sa base.

La représentation de la séquence est facilitée par le mode d'observation mis en oeuvre: l'absence d'incertitude sur les parties non décrites de la couverture pédologique permet de tracer des courbes isofactorielles et des schémas synthétiques d'organisation pédologique (figure 3).

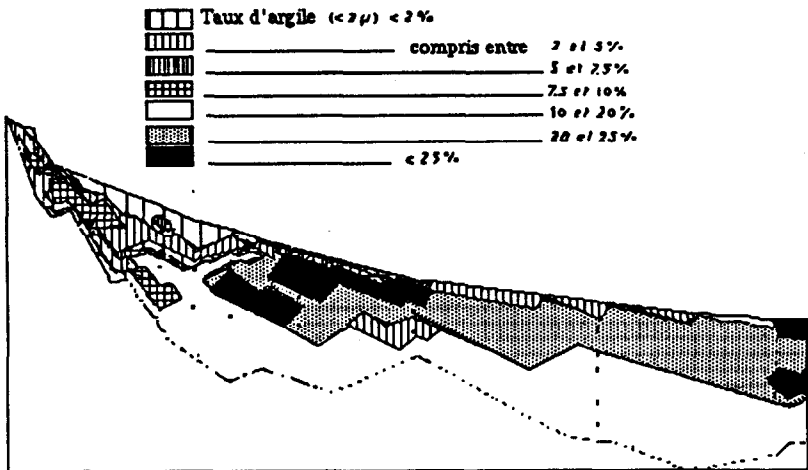
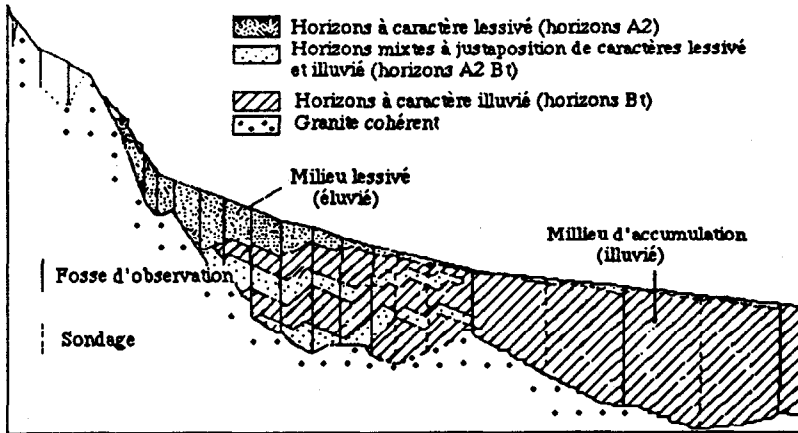


Figure 3- Représentation d'une toposéquence d'après Bocquier 1971

La quantité d'information recueillie n'est pas liée à l'échelle de la représentation mais au degré de complexité du milieu, elle est donc le plus souvent extrêmement importante. De plus aucune phase de synthèse n'est tolérée pendant la description du milieu.

C'est en utilisant cette démarche qu'il a été possible de représenter et de comprendre les principaux modes de différenciation des sols. On a pu ainsi définir des liens entre des profils qu'on croyait indépendants. L'extrapolation rigoureuse constitue ici un moyen d'analyse sûr du fonctionnement pédogénétique des versants.

Cette méthode a été appliquée par la suite à des petits bassins versants élémentaires en Guyane (R. Boulet 1981) et en Côte d'Ivoire (E. Fritsch et al 1988). La représentation cartographique est une juxtaposition de lignes isovales des différents paramètres pris en compte qui s'apparente à une représentation spatiale multivariée (figure 4). L'interprétation de ces documents est très difficile et leur aspect leur a donné le nom de "plat de nouilles".

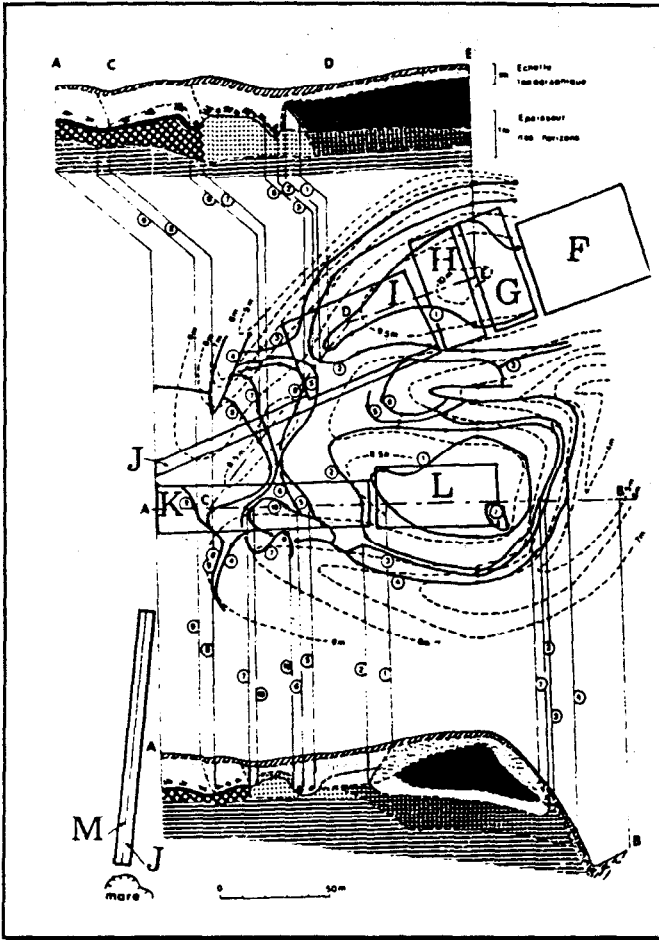


Figure 4- Représentation cartographique d'un site d'après Boulet et al 1982

La démarche "structuraliste" est reconnue pour constituer un excellent moyen d'analyse; son emploi est cependant limité à des petites surfaces par son coût et par l'absence d'outil de synthèse adapté à la quantité et à la nature des informations recueillies pendant la phase descriptive.

II.3 CHOISIR: L'EXACTITUDE OU LE RÉALISME ÉCONOMIQUE.

Bien que les approches "taxonomiques" et "structuralistes" soient incompatibles, un compromis existe, et a été largement employé en Côte d'Ivoire et dans la plupart des pays de l'Ouest Africain. Cette méthode, dite de description "morpho-pédologique", n'a été jamais été clairement formalisée. Partant du principe de la différenciation des sols le long des versants, ceux-ci sont considérés comme les axes de variabilité maximum et donc caractérisés finement par une forte densité d'observations. Différentes formes de modelé sont identifiés, et à chacun de ces modelés correspond un type de différenciation également identifié. La représentation pédologique s'effectue en deux temps: d'une part la représentation des modelés dans une carte des "paysages" qui exprime les grands modes de différenciation des sols; d'autre part une carte des sols basée sur une classification et dont les limites suivent les courbes du niveau topographique (figure 5). Le degré d'interpolation étant très fort entre les séquences reconnues le long des versants, la précision y est moindre et l'échantillonnage doit être adapté à l'échelle de la représentation cartographique.

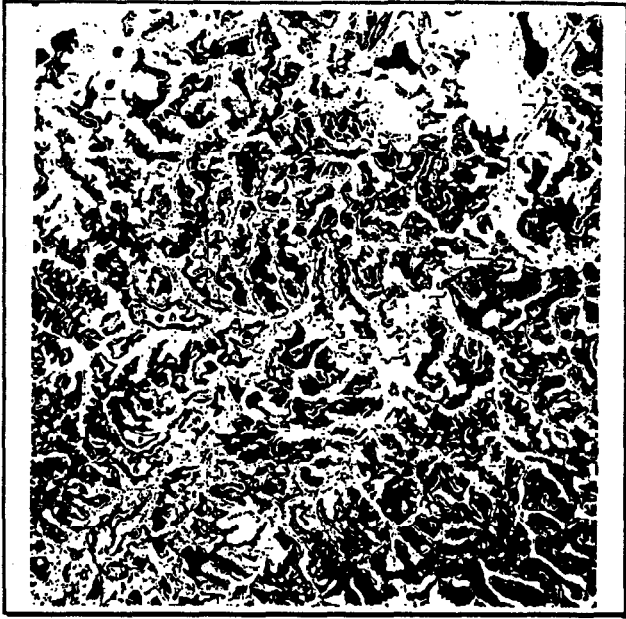


Figure 5- Représentation cartographique par la méthode morpho-pédologique d'après Boulver 1975

L'existence de ce compromis ne doit pas cacher les différences fondamentales entre les deux précédentes méthodes qui sont induites par deux modèles de répartition des sols.

Le modèle "taxonomique" ne fait pas d'hypothèse sur la distribution spatiale des sols, mais une hypothèse contraignante sur leur nature, exprimée par la définition des profils types de la classification de référence et la représentativité des volumes élémentaires. Le modèle spatial implicite est, de ce fait, aléatoire. Les difficultés rencontrées lors de la mise en oeuvre de cette méthode sont liées à l'existence de milieux organisés impossibles à décrire selon ce modèle aléatoire.

Le modèle "structural" suppose l'existence d'une organisation très stricte de la couverture pédologique qu'il s'agit d'identifier sans contrainte sur la nature des sols ou des matériaux. La rigueur de cette organisation est imposée par l'établissement ultérieur d'une relation entre les variations observées dans l'espace et les transformations pédologiques dans le temps. Cette relation est vérifiée dans bien des cas lorsqu'on dispose de séquences observées à des stades de transformations différents comme c'est le cas en Casamance (Chauvel 1977) ou en Guyane (Frisch 1984). Le modèle pédologique sous-jacent au modèle spatial exclue la présence d'une distribution spatiale aléatoire des paramètres ce qui limite

l'application de la méthode "structurale" à des milieux anciens et non remaniés.

De plus, pour être appliquée, cette méthode s'appuie sur un échantillonnage exhaustif, faute d'outil d'identification d'une organisation à partir d'un échantillonnage incomplet. A l'extrême les pédologues "structuralistes" souhaitent posséder un échantillonnage total de leur séquence par l'ouverture d'une tranchée continue afin de s'affranchir du modèle spatial pour représenter le milieu.

Aucune des deux méthodes n'est vraiment satisfaisante car les modèles spatiaux implicites qui les déterminent sont trop figés dans leur définition. Leurs concepteurs ont été forcés de choisir entre une répartition aléatoire des sols ou un ordre stricte alors que, dans la plupart des cas, la répartition des sols présente à la fois un aspect ordonné et un aspect aléatoire. L'absence d'alternative dans le choix du modèle spatial est la conséquence d'une carence en outil descriptif des organisations spatiales appliqué à la répartition des sols. Bien que des progrès aient été faits dans ce domaine depuis une dizaine d'année, cette carence se perpétue encore actuellement.

III. L'EMERGENCE D'UNE APPROCHE PROBABILISTE: LE TRANSFERT D'ÉCHELLE DES PROPRIÉTÉS HYDRIQUES DES SOLS.

III.1 LA THEORIE DU TRANSFERT D'ECHELLE: L'EXPRESSION D'UNE LOI.

La caractérisation expérimentale des propriétés hydriques des sols est toujours soumise au problème de sa validation à une échelle différente de l'expérimentation. Le plus souvent les mesures s'effectuent sur des échantillons de sol, des colonnes "recomposées" au laboratoire ou in-situ dans des profils. L'extension des résultats obtenus ponctuellement à des parcelles ou des bassins versants entiers est délicate. Penchés sur ce problème Miller et Miller (1956) ont développés la théorie de la Mise en Facteur d'Echelle des propriétés hydrodynamiques des sols.

Selon cette théorie c'est l'organisation des milieux poreux qui détermine les flux hydriques microscopiques, et il existe une similitude de fonctionnement hydrique dans des milieux poreux similaires, c'est à dire qui ne diffèrent que par l'échelle de leur organisation. Dans des milieux similaires un coefficient, appelé "facteur d'échelle", permet de décrire les variations du fonctionnement hydrique par rapport à une organisation de référence.

L'intérêt de cette théorie est de s'affranchir des mesures hydrodynamiques longues et coûteuses, à condition de connaître le facteur d'échelle entre le milieu étudié et l'organisation de référence. De nombreux travaux expérimentaux ont permis de valider cette théorie dans des sables homogènes de différentes tailles granulométriques (Klute et Wilkinson 1958, Marshall 1958, Elrick et al 1959, Millington et Quirk 1959, Wilkinson et Klute 1959)(figure 6). Elrick et al (1959) ont cependant observés qu'une faible proportion d'argile mélangée à du sable modifie l'organisation porale de façon significative et perturbe la similitude du fonctionnement avec le sable pur (figure 7).

A la suite de ces expérimentations il faut attendre 1972 et les travaux de Reichardt pour retrouver des traces de cette théorie dans la littérature: Reichardt et al (1972) déterminent expérimentalement le facteur d'échelle sur des échantillons de texture "naturelle". Reichardt et al (1975) publient une seconde série d'expériences sur des sols de provenances très différentes. Ils montrent que la théorie de la mise en facteur d'échelle peut s'appliquer à des milieux hétérogènes.

L'objectif de Miller et Miller (1956) était la définition d'une loi de transfert d'échelle du comportement hydrodynamique des sols. La limite de cette loi est apparue rapidement comme une restriction à son champs d'application: la relation entre l'organisation du milieu et son comportement est en effet trop stricte pour être transposée à des sols.

III.2 LA PRATIQUE DU TRANSFERT D'ECHELLE: DE LA DESCRIPTION STATISTIQUE À L'ANALYSE DE STRUCTURE.

De nombreux chercheurs voient alors dans cette théorie un méthode pratique de caractérisation de l'hétérogénéité spatiale du fonctionnement hydrique: Peck et al (1977) utilisent le facteur d'échelle pour modéliser le fonctionnement hydrique du sol dominant d'un bassin versant de 97 ha. Le facteur d'échelle n'est plus mesuré mais estimé par une procédure statistique simple qui définit un milieu poreux moyen sur le site.

A la rigueur contraignante de la théorie ces auteurs substituent un principe admis: dans des milieux voisins, donc peu différent, on suppose la théorie applicable. L'évaluation des facteurs d'échelle est menée statistiquement à partir d'un échantillon de mesures, puis leur validation est conduite en comparant les résultats de divers modes de calcul. Les caractéristiques du milieu de référence sont obtenus arbitrairement par des caractéristiques d'un milieu moyen représentatif de l'ensemble du site. La dispersion autour de ce milieu est donnée par la dispersion des facteurs d'échelle par rapport à leur valeur moyenne.

Warrick et al (1977) et Simmons et al (1979) cherchent ainsi à déterminer des valeurs moyennes des paramètres hydrodynamiques à partir

de la distribution statistique du facteur d'échelle (figure 8). Ces paramètres sont utilisés par Warrick et Amoozegard-Fard (1979) dans un modèle hydrodynamique qui évalue l'effet de la variabilité des paramètres hydrodynamiques sur le fonctionnement global du site. De nombreux auteurs ont ensuite vérifié et appliqué cette méthode dans des situations diverses au laboratoire (Sharma et Luxmoore 1979, Luxmoore et Sharma 1980, Russo et Bresler 1980). Sharma et al. (1984) ont travaillé sur des mesures effectuées au champs ainsi que Vaucelin et al (1981).

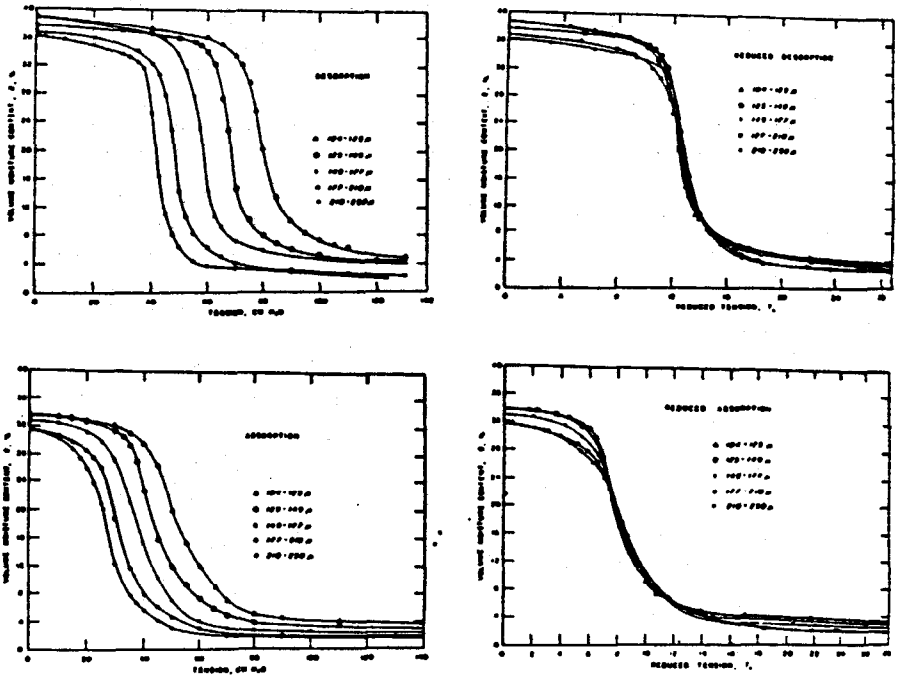


Figure 6- Réduction des courbes d'absorption et de désorption d'après Klute et Wilkinson 1958

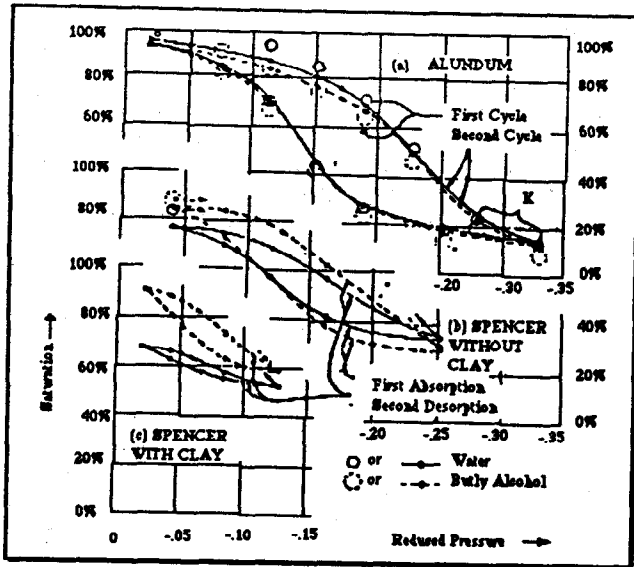
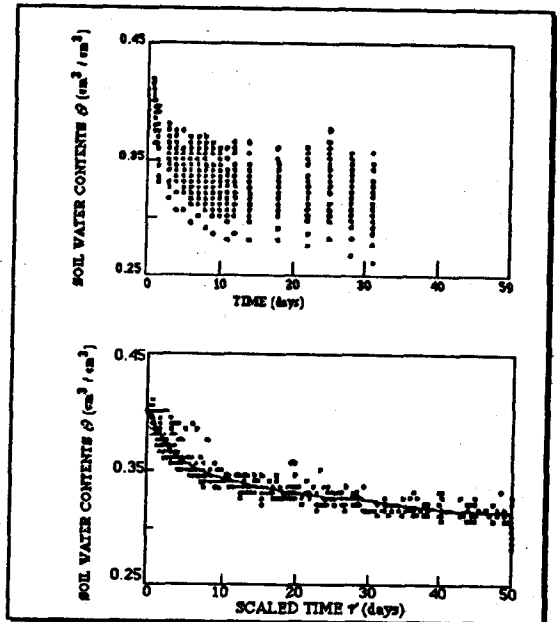


Figure 7- Illustration des limites de la mise en facteur du fonctionnement hydrodynamique du sol d'après Klute et Wilkinson 1958

Figure 8- La mise en facteur d'échelle de la désorption d'après Simons et al 1979



Le modèle spatial de la mise en facteur d'échelle est aléatoire: les distributions des facteurs d'échelle calculés sont soit normales, soit log-normales et aucune dépendance spatiale n'est prise en compte.

Cependant les travaux de Maller et Sharma (1981,1984) mettent en évidence le fait que le fonctionnement hydrique moyen diffère largement de la moyenne des fonctionnements sur un site. Cela ne s'accorde pas avec l'hypothèse d'un modèle spatial aléatoire. Ils cherchent l'origine de cette divergence dans l'existence de relations entre les paramètres hydrodynamiques. Ils améliorent la précision de leur résultat par rapport à une simulation hydrodynamique spatialisée.

Le modèle spatial aléatoire ne suffit donc pas à décrire le comportement zonal, dans un article récent Sharma et al (1987) testent l'effet de la dépendance spatiale entre les facteurs d'échelle sur le comportement hydrodynamique d'une parcelle.

Cette dépendance est mesurée par le variogramme qui constitue le principal outil d'analyse structurale en géostatistique. Introduit en Pédologie par Burgess et Webster (1980), il est maintenant fréquemment employé pour décrire la variabilité d'un paramètre ou sa représentation spatiale (Imbernon 1981, Viera et al 1983, Iris 1986). La structure spatiale est donnée par l'évolution moyenne de l'hétérogénéité dans l'espace à partir d'un point quelconque du site étudié. La géostatistique a été développée pour évaluer l'organisation des données dans un cadre conceptuel aléatoire (Matheron 1978).

Dans leur étude Sharma et al. (1987) simulent le comportement d'une parcelle selon quatre types de dépendances spatiales: absente, faible, moyenne et forte. A ces quatre types correspondent autant de modèles spatiaux: aléatoire, faiblement et moyennement structuré et ordonné. Les résultats (figure 9) montrent l'influence considérable du modèle spatiale sur le comportement zonal de la parcelle: le choix d'un modèle spatial ordonné produit un engorgement à l'aval de la parcelle.

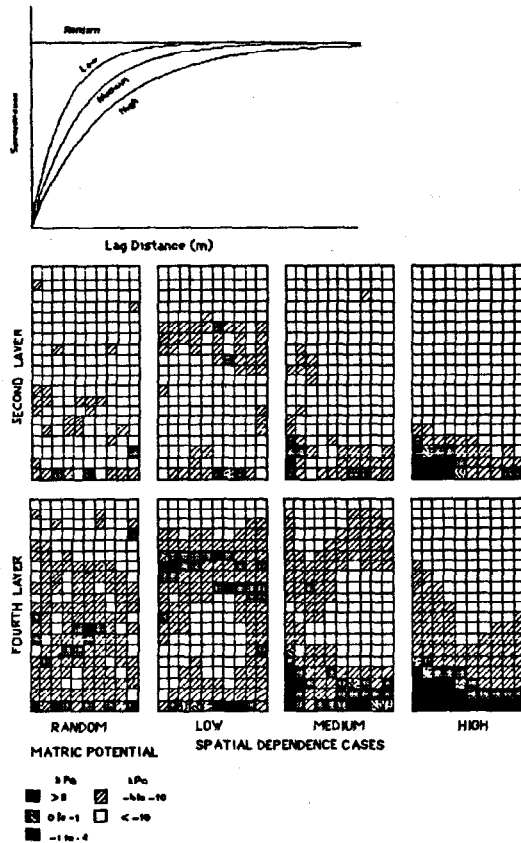


Figure 9- Les structures et leur effet sur le fonctionnement hydrodynamique d'une parcelle d'après Sharma et al 1987

La description de l'hétérogénéité du milieu par le facteur d'échelle s'est développée par suite de l'incapacité de la théorie de la similitude des milieux poreux à décrire et à estimer le fonctionnement des milieux naturels. Elle ne présente cependant aucune information spatiale sur ce fonctionnement et, de ce fait, ne décrit pas la totalité de l'information nécessaire au transfert d'échelle. L'application de la géostatistique a comblé ce vide sans imposer un modèle spatial contraignant: la structure donnée par le variogramme décrit un ordre dans un environnement aléatoire. Sa mesure nécessite cependant un grand nombre de données que Sharma et al. (1987) ont simulé.

IV. CONCLUSION: L'IDENTIFICATION DES MODELES SPATIAUX.

Bien que manipulant des données de natures différentes les deux approches du transfert d'échelle qui illustrent cet article présentent des carences similaires dans la définition des modèles spatiaux dans lesquelles elles évoluent. Cette définition n'est pas évidente pour deux raisons: tout d'abord les modèles spatiaux sont le plus souvent implicites et, de ce fait, ignorés. Ensuite, lorsqu'on a pris conscience de leur importance, la définition d'un modèle spatial est un choix difficile parce qu'il conditionne l'ensemble de l'environnement dans lequel on se place. Si l'on admet qu'un modèle ordonné est trop contraignant, et qu'un modèle aléatoire ne l'est pas suffisamment, il paraît impossible a priori de doser un modèle optimal sans information sur la structure spatiale des données traitées.

Les outils de mesure de cette structure font leur apparition en Pédologie malgré le fait qu'ils soient encore mal adaptés. Ils permettent actuellement de caractériser la structure spatiale de données numériques disponibles en grand nombre. Le dernier exemple cité illustre cependant l'intérêt de leur utilisation.

V. BIBLIOGRAPHIE

1. BOCQUIER G. (1971) Génèse et évolution de deux toposéquences de sols tropicaux du Tchad. Interprétation biogéodynamique. Thèse Sci. Strasbourg. Mem. ORSTOM 62, 1973, 350p.
2. BOULAIN J. (1978) Les unités cartographiques en Pédologie. Analyse de la notion de Génon. Sc. du Sol (1) 1978.
3. BOULAIN J. (1982) Typologie des Sols. Sols INA-PG 2: 139 et 159p.
4. BOULAIN J. (1984) Matériaux pour une histoire de la pédologie. Sols INA-PG 144p.
5. BOULET R. (1974) Toposéquences de sols tropicaux en Haute-Volta. Equilibre et déséquilibre pédobioclimatiques. Thèse Sci. Strasbourg. Mem. ORSTOM 85 272p.
6. BOULET R. (1981) Etude pédologique des bassins versants ECEREX. Bilan de la cartographie. L'écosystème guyanais. Bull. de liaison du groupe de travail ECEREX (4) 4-21.
7. BOULET R., HUMBEL F.X., LUCAS Y. (1982) Analyse structurale et cartographie en pédologie. Cah. ORSTOM Ser. Pédol. XIX (4) 309-351.
8. BOULVERT Y. (1975) Carte pédologique de l'OUHAM. Rep. Centrafricaine ORSTOM 152p.
9. BURGESS T.M. ET WEBSTER R. (1980) Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties. I the semi-variogram and punctual kriging. Jour. of Soil Sci. (31) 315-331.
10. CHAUVEL A. (1977) Recherche sur les transformations des sols ferrallitiques dans la zone tropicale à saison contrastée. Thèse Sci. Strasbourg. Trav. et doc. ORSTOM 62 532p.
11. CPCS 1967 Commission de pédologie et de classification des sols. ENSA Grignon Lab. Pédologie Géologie 87p.
12. ELRICK DE. SCANDRETT JH., MILLER EE. (1959) Test of capillarity flow scaling. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 23 329-332.
13. FRITSCH E., PLANCHON O. (1986) Cartographie des sols d'un petit bassin versant de Côte d'Ivoire. Rapp. ORSTOM Adiopodoumé.
14. GIRARD MC. (1967) Approche statistique de la notion de série. Thèse 3ème cycle INA-PG 200p.
15. IMBERNON J. (1981) Etude de la variabilité spatiale des caractéristiques hydrodynamiques d'un sol du Sénégal. Thèse 3ème cycle INPG 150p.
16. IRIS JM. (1986) Analyse et interprétation de la variabilité spatiale dans trois matériaux ferrallitiques. Sci. du Sol (24) 245-256.
17. KLUTE A. ET WILKINSON GE. (1958) Some tests of the similar media concept I Reduced capillary conductivity and moisture characteristic data. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 22 278-281.

18. LUXMOORE RJ. ET SHARMA ML.(1980) Runoff response to soil heterogeneity: Experimental and simulation comparisons for two contrasting watersheds. WRR 16 (4) 675-684.
19. MALLER RA.ET SHARMA ML.(1981) An analysis of areal infiltration considering spatial variability. Jour. of Hydr. (52) 25-37.
20. MALLER RA.ET SHARMA ML.(1984) Aspects of rainfall excess from spatially varying hydrological parameters. Jour. of Hydr. (67) 115-127.
21. MARSHALL TJ.(1958) A relation between permeability and size distribution of pores. Jour. of Soil Sci. 9 (1) 1-8.
22. MATHERON G.(1978) Estimer et choisir. Les cahiers du centre de morphologie mathématique de Fontainebleau 175p.
23. MILLER EE. ET MILLER RD.(1956) Physical theory of capillarity flow phenomena. J. Appl. Phys. (27) 324-332. Millington RJ.et Quirk JP.(1959) Permeability of porous media. Nature (183) 387-388.
24. PECK AJ., LUXMOORE RJ. ET STOLZY JL.(1977) Effects of spatial variability of soil hydraulic properties in water budget modeling. WRR 13 (2) 348-354.
25. Reichardt K., Libardi PL.et Nielsen DR.(1975) Unsaturated hydraulic conductivity determination by a scaling technique. Soil Sci. 120 (3) 165-168.
26. REICHARDT K., NIELSEN DR. ET BIGGAR JW.(1972) Scaling of horizontal infiltration into homogeneous soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc.(36) 241-245.
27. RUSSO D.ET BRESLER E.(1980) Scaling soil hydraulic properties of a heterogeneous field. Soil Sci. Soc. Amer. Jour. (44) 681-684.
28. SHARMA ML. ET LUXMOORE RJ.(1979) Soil spatial variability and its consequences on simulated water balance. WRR 15 (6) 1567-1573.
29. SHARMA ML.ET AL. (1987) Subsurface water flow simulated for hillslopes with spatially dependent soil hydraulic characteristics. WRR 23 (8) 1523-1530.
30. SIMMONS CS. NIELSEN DR. ET BIGGAR JW.(1979) Scaling of field measured soil-water properties. Hilgardia 47 (4) 77-173.
31. VAUCLIN M., VACHAUD G. ET IMBERNON J. (1981) Spatial variability of the soil physical properties over one-hectare field plot . AGU Chapman Conference Fort-Collins . July 1981
32. Viera SR., Hatfield JL. Nielsen DR et Biggar JW.(1983) Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. Hilgardia 51 (3) 75p.
33. WARRICK AW., MULLEN GJ. ET NIELSEN DR.(1977) Scaling field measured soil hydraulic properties using a similar media concept. WRR 13 (2) 355-362.
34. WARRICK AW.ET AMOOZEGARD-FARD A.(1979) Infiltration and drainage calculation using spatially scaled hydraulic properties. WRR 15 (5) 1116-1120.
34. WILKINSON GE. ET KLUTE A.(1958) Some tests of the similar media concept II Flow system data. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 23 434-437.