

Morphologie et fonctionnement des sols : quelques réflexions pour l'avenir de la Pédologie

Soil morphology and dynamics : a few considerations about the future of soil science

Alain RUELLAN

Pédologue O.R.S.T.O.M., O.R.S.T.O.M., 24, rue Bayard, 75008 Paris (France)

La pédologie, après un siècle d'histoire, et surtout après 30 ans de développement intensif, est probablement aujourd'hui à un tournant important de son histoire : il ne faut pas rater ce tournant.

L'objectif de cette note est de dire comment je vois la façon de prendre ce tournant, c'est-à-dire de définir, succinctement, ce que devraient être aujourd'hui, à mon avis, les grands choix de la recherche en pédologie.

Il faut se reposer quatre types de questions, classiques, mais auxquelles nous devons donner de nouvelles réponses :

- la pédologie pour qui, pour quels objectifs, pour quels utilisateurs ;
- le sol que nous devons étudier, comment le percevons-nous, comment le définissons-nous ;
- étudier le sol, qu'est-ce que cela veut dire, de quoi s'agit-il exactement ;
- enfin, en application des réponses données aux trois premières questions, quelles priorités voyons-nous aujourd'hui pour les travaux de recherche en pédologie.

Les réponses à chacune de ces questions mériteraient bien sûr de longs développements. Mais je veux être bref : mes réponses seront donc un peu tranchées.

LA PÉDOLOGIE POUR QUI, POUR QUELS OBJECTIFS, POUR QUELS UTILISATEURS ?

Un peu partout dans le monde, et en particulier là où l'intensification de l'utilisation des sols s'accélère,

After one century of existence and mainly after 30 years of intensive development, soil science is nowadays probably at a significant turning point in its history: this turning point must not be missed.

This note aims at considering how to cope with this situation, namely at defining briefly what should be nowadays, in my opinion, the great lines of research in soil science.

It is necessary to ask once more four types of classical questions to which new answers must be given:

- to whom does soil science apply? what are its objectives? by whom is it used?
- how do we perceive the soil we study, and how do we define it?
- what does the study of the soil mean, what is it all about?
- finally, in pursuance of the answers given to the first three questions, what are nowadays the priorities concerning the research in soil science.

The answers to each of these questions would be worth being treated at greater length. But I want to be concise and therefore, I will give blunt answers.

les divers « utilisateurs » des sols, ainsi que les responsables de la planification de l'utilisation et de l'aménagement du milieu, ressentent de plus en plus le besoin de disposer d'études pédologiques détaillées et, en particulier, de disposer de cartes pédologiques aussi précises que possible.

Il y a à cela 5 raisons principales :

1. Les volumes et les qualités des productions agricoles et forestières dépendent des propriétés des sols et surtout dépendent de la façon dont sont traités, travaillés, améliorés, protégés, les sols.

2. Les régimes hydrologiques, ainsi que les qualités chimiques et biologiques des eaux, dans les nappes phréatiques et dans les rivières, sont fortement influencés par les sols, que les eaux traversent plus ou moins lentement et selon des trajets plus ou moins longs, avant d'atteindre les réservoirs et les exutoires. Toutes modifications, morphologiques, physico-chimiques, biologiques, des sols influencent les eaux ; c'est-à-dire que toutes modifications de l'utilisation des sols (types d'utilisateurs ; modalités de l'utilisation) influencent les eaux.

3. La résistance d'une construction, qu'elle soit routière, immobilière, industrielle ; son influence sur les eaux (régime hydrologiques et qualité des eaux), sur les sols environnants (érosion, transformation de certaines propriétés physiques et chimiques), sur la végétation, etc., dépendent des propriétés des sols sur lesquels, et au milieu desquels, la construction est réalisée, et dépendent de la façon dont les sols ont été traités au cours de la construction. Le sol est par ailleurs souvent utilisé comme matériau (pour la construction, pour l'industrie...).

4. Les systèmes pédologiques sont de plus en plus souvent utilisés pour l'épuration des déchets agricoles, industriels, urbains.

5. Dans les régions où les sols sont épais (principalement les milieux tropicaux et équatoriaux), c'est par l'étude de ces sols que l'on peut le plus facilement réaliser certaines prospections géologiques et la recherche de certaines concentrations minérales superficielles.

J'insiste donc sur le fait qu'il ne faut pas réduire l'étude des sols au seul objectif agricole.

LE SOL, QU'EST-CE QUE C'EST ?

Il y a à cette question quatre réponses essentielles :

1. Le sol (couverture pédologique), milieu à constituants minéraux et organiques, solides, liquides et gazeux, inertes ou vivants est un milieu organisé, structuré. Les constituants ne sont pas disposés les uns par rapport aux autres d'une manière quelconque.

TO WHOM DOES SOIL SCIENCE APPLY, WHAT ARE ITS OBJECTIVES AND BY WHOM IS IT USED ?

Almost anywhere in the world and, particularly, in places where the use of soils is increasing rapidly, the various soil "users" as well as the planners responsible for the use and management of the soils, think that it is increasingly necessary to have available detailed soil studies and particularly, soil maps as precise as possible.

There are five main reasons for this behaviour:

1. The amounts and qualities of the agricultural and forest productions depend on the soil properties and mainly on the soil treatment, tilling, improvement and protection.

2. The hydrological regimes as well as the water chemical and biological qualities in water tables and rivers, are greatly dependent on soils; these different volumes of waters do flow more or less slowly through the soils, along more or less long distances before reaching reservoirs and outlets. So, any morphological, physico-chemical and biological modifications in soils influence waters, which means that any modifications in the use of soils (types of users, conditions of use) influence waters.

3. The resistance of a construction, whether it is a road, a building or a factory, and its influence on waters (hydrological regime and water quality), on the surrounding soils (erosion, transformation of some physical and chemical properties) and on vegetation, etc. depend on the properties of the soils where the construction has been erected and on how soils have been treated in the course of the building operations. Moreover, the soil is often used as a material (for building, for industry...).

4. Soil systems are increasingly used to purify agricultural, industrial and urban waste.

5. In areas where soils are thick (mainly the tropical and equatorial areas), the study of these soils will allow to undertake some geologic prospecting and conduct researches on some subsurface mineral concentrations.

Therefore, I emphasize that the study of soils must not be confined to agricultural objectives.

HOW CAN WE DEFINE THE SOIL ?

There are four main answers:

1. The soil (soil mantle), which includes mineral and organic, solid, liquid and gaseous, inert or living constituents, exhibits an organized morphology, a structure. Its constituents are not arranged at ram-

Le sol a une morphologie : c'est son anatomie. Un des aspects essentiels de cette morphologie, est la porosité : le sol est un milieu poreux et cette porosité joue des rôles essentiels.

2. Le sol est un milieu continu au sein duquel il est artificiel et dangereux de vouloir continuer à individualiser des unités définies par un profil vertical que l'on cherchera ensuite à caractériser, à classer, à cartographier. L'individu-sol, équivalent à l'individu-animal, ou à l'individu-végétal, n'existe pas à ce niveau. Le rêve du profil individu-sol doit être abandonné.

3. Le sol est un milieu dynamique, en perpétuelle évolution :

. il y a évolution, transformation, permanentes, cycliques ou non, des constituants, des structures, des systèmes poreux ;

. il y a au sein des sols, transferts, permanents ou intermittents, de matières solides, liquides, gazeuses, biologiques.

4. Le sol étant un milieu en perpétuelle évolution, en perpétuelle transformation, le sol a un passé et il a un futur, passé que nous devons essayer de reconstituer, de comprendre, futur que nous devons essayer de prévoir et d'assumer.

ÉTUDIER LES SOLS, QU'EST-CE QUE CELA VEUT DIRE ?

Les réponses à cette troisième question se déduisent automatiquement des réponses que j'ai données à la question précédente :

1. Étudier la couverture pédologique, c'est d'abord observer, mesurer, représenter, interpréter, les organisations morphologiques. Et ceci il faut le faire aux différentes échelles, depuis le paysage jusqu'au microscope. Il s'agit d'effectuer une analyse structurale de la couverture pédologique.

2. Étudier la couverture pédologique c'est, parallèlement à l'analyse structurale, en fonction de cette analyse structurale, reconnaître et analyser les constituants, déterminer et mesurer les propriétés de ces constituants et des structures qui les organisent.

3. Étudier la couverture pédologique c'est enfin observer, suivre, mesurer, les fonctionnements, les transferts, les activités actuelles du milieu pédologique, et ceci il faut bien sûr le faire en fonction des constituants et de leurs organisations, et en relation avec les moteurs, les facteurs de ces dynamiques, à savoir : le climat, les roches, le relief, les activités biologiques, les activités humaines...

dom. The soil has a morphology: it is its anatomy. One of the main aspects of this morphology is the porosity: the soil is porous and this porosity plays essential roles.

2. The soil is a continuous body where it is dangerous and arbitrary to single out units defined by a vertical profile which will then be characterized, classified and mapped. The soil as an individual which is equivalent to the animal or the plant as individuals, does not exist at this scale, and therefore, one must no longer think of the profile as an individual.

3. The soil is dynamic and subjected to a constant evolution:

. the constituents, structures and porous systems are subjected to a constant, cyclic or no cyclic, evolution and transformation;

. soils are subjected to constant or irregular transfers of solid, liquid, gaseous and biological matter.

4. Since the soil is subjected to a constant evolution and transformation, it has a past which must be reconstructed and understood, and a future which must be foreseen and assumed.

WHAT DOES THE STUDY OF SOILS MEAN?

The answers to this third question are automatically inferred from the answers given to the previous question:

1. To study the soil mantle, we have first to observe, measure, represent and interpret the morphological organization data; and this must be done at different levels, namely from the landscape to the microscope. We have to make a structural analysis of the soil mantle.

2. To study the soil mantle, concurrently with the structural analysis and in relation to it, we have to identify and analyse the constituents, and define their properties and structures.

3. Finally, to study the soil mantle, we have to observe and characterize the soil evolution (transfers, current activities), which must obviously be made in relation to the observation of the constituents and their arrangements and be related to the factors of these dynamics, namely: climate, rocks, relief, biological and human activities...

WHAT ARE THE PRIORITIES CONCERNING THE RESEARCH IN SOIL SCIENCE?

Three priorities can be inferred from the answers to the three previous questions.

QUELLES PRIORITÉS POUR LES TRAVAUX DE RECHERCHE EN PÉDOLOGIE ?

Des réponses que j'ai données aux trois questions précédentes, se déduisent trois priorités.

L'analyse structurale

Un énorme travail d'inventaire des sols a déjà été réalisé à travers le monde. C'était indispensable et il faut poursuivre.

Mais parallèlement, il faut se donner les moyens d'affiner ce travail, c'est-à-dire d'affiner la connaissance des organisations des divers types de couvertures pédologiques déjà inventoriées. Et, pour cela, il est indispensable de changer, à la fois, de démarche et d'échelle.

CHANGER DE DÉMARCHE : il s'agit avant tout de choisir de privilégier l'analyse structurale objective indépendante de tout système de référence et en particulier de tout système de classification. A titre d'exemple, ceci veut dire :

— qu'il faut privilégier la reconnaissance, l'étude détaillée, la cartographie de caractères pédologiques et d'horizons pédologiques, et non pas de zones homogènes théoriques caractérisées par des profils type en référence à une classification quelle qu'elle soit ;

— qu'il faut privilégier la reconnaissance, l'étude détaillée, la cartographie des limites correspondant à la modification d'un ou plusieurs caractères dans un ou plusieurs horizons : il est très important sur une carte d'avoir une bonne légende des limites.

CHANGER D'ÉCHELLE : c'est-à-dire, par exemple, fonder les cartes à petite échelle non pas uniquement sur des études à petites échelles, mais aussi et surtout sur un certain nombre d'études très détaillées, à grande échelle, études de zones témoins, la précision d'une carte dépendant en définitive du nombre d'études à très grande échelle qu'il aura été possible de faire pour fonder la généralisation à petite échelle. Ceci est très important : la précision d'une carte, la précision de la connaissance d'un milieu ne peut plus être évaluée sur la simple base du nombre d'observations à l'ha... La précision de la connaissance d'un milieu pédologique doit dépendre du nombre d'études très détaillées, à grande échelle (1/1000^e, 1/500^e, avec les appuis microscopiques nécessaires) de zones tests, qui sont en général de petits bassins versants de quelques ha, que l'on prend le temps de faire avec soin, études qui sont les seules qui puissent permettre ensuite des extrapolations significatives à petite échelle, à condition de les avoir faites d'une manière très objective sans référence à

The structural analysis

One must proceed with the considerable soil survey which has already been conducted throughout the world.

Simultaneously, one must manage to improve this survey, namely to reach a better knowledge of the structure of the various types of soil mantles already surveyed, which implies that it is necessary to change both, the approach and the scale.

THE CHANGE IN APPROACH: it is above all a question of selecting the objective structural analysis which is independent of any reference system and particularly of any classification system. For instance, it means that:

— one must give priority to the reconnaissance, the detailed study, the mapping of soil features and horizons and not of theoretic homogeneous zones characterized by type profiles as related to any classification whatever;

— one must give priority to the reconnaissance, the detailed study and the mapping of the boundaries corresponding to the modification of one or several features in on or several horizons: it is very important to get a good legend of boundaries on a map.

THE CHANGE IN SCALE: that is to say, for instance, the establishment of small-scale maps not only on the basis of small-scale studies but also and mainly on a number of very detailed large-scale studies such as the studies of test zones. Finally, the precision of a map depends on the number of very large-scale studies likely to be made in order to generalize on a small scale. It is very important to point out that the precision of a map and the precise knowledge of an environment can no longer be evaluated only on the basis at the number of observations made per hectare... The precision in the knowledge of a soil must depend on the number of very detailed studies of test zones carefully made on a large scale (1:1000, 1:500 with the help of microscope studies) which are generally small drainage basins of a few hectares. These studies are the only ones which can allow to make significant extrapolations on a small scale, provided that they were conducted on a very even-handed basis without referring to classification systems which always limit data transmission.

The physico-chemical and biological analysis

It is a question of improving the analysis of the constituents and the measurement of the physico-chemical and biological properties in relation to the organizations identified at the different levels.

One must be clear: one has not the right to go on wasting money in order to make good analyses on

des systèmes de classification qui sont toujours réductrices de la transmission de l'information.

L'analyse physico-chimique et biologique

Il s'agit de développer l'analyse des constituants et la mesure des propriétés physico-chimiques et biologiques en fonction des organisations reconnues aux différentes échelles.

Et là il faut être catégorique : on n'a pas le droit de continuer à gaspiller de l'argent à faire de bonnes analyses sur des échantillons prélevés n'importe comment, analyses dont l'interprétation sera de ce fait toujours erronée.

A toutes les échelles, il faut maintenant se donner les moyens de reconnaître et d'analyser les constituants en fonction de leur localisation : localisation par rapport aux autres constituants et localisation par rapport aux vides, à la porosité. En effet, ce qui nous importe ce n'est pas tellement de savoir si un horizon pédologique est pauvre ou riche en tel ou tel élément, ou de savoir si la capacité d'échange des constituants de tel horizon est forte ou faible. Ce qu'il est important de savoir c'est si, oui ou non, les éléments nécessaires à la plante sont accessibles aux racines de cette plante, et nous savons que cette accessibilité dépend largement des structures, des organisations, des localisations. Ce qui nous importe aussi c'est de savoir si la capacité d'échange de tel constituant est accessible ou non à la circulation de certaines solutions et à l'échange avec les racines ; et ceci aussi dépend des structures, des organisations, des localisations. Il y a là à faire un énorme effort de logique et de précision.

L'observation et les mesures des fonctionnements

Il s'agit de développer ces observations et mesures encore beaucoup trop rares et incomplètes :

- évolution des constituants ;
- modifications, cycliques ou non, des organisations : des structures, des porosités ;
- fonctionnement des transferts solides, liquides, gazeux, le plus important aujourd'hui étant certainement d'améliorer nos connaissances sur les transferts hydriques de l'eau et des solutions en fonction des systèmes structuraux et en fonction des systèmes biologiques : c'est le vaste problème des relations sols-eau-plante qui règlent une grande partie du comportement, de la fertilité, de la conservation des sols.

Dans ce domaine, comme dans d'autres, il faut arrêter de se contenter de corrélations entre des observations et des mesures statiques pour en déduire des dynamiques. Il faut se donner les moyens de

samples taken at random since, due to this way of sampling, these analyses will always be given a wrong interpretation.

At any level, one must now manage to recognize and analyse the constituents according to their localization as compared to the other constituents, voids and porosity. What is essential is not so much to know whether a soil horizon is poor or rich in such or such an element or to know whether the exchange capacity of the constituents of such an horizon is high or low, but rather to know whether the elements necessary for the plant are available for the roots of this plant; and, we know that this availability depends largely on structures, arrangements and localizations. What is also essential is to know whether or not the exchange capacity of such a constituent is available for the flow of some solutions and the exchange with roots, which also depends on the structures, arrangements and localizations. So, there is a considerable effort to be made in logic and precision.

The observation and the measurement of the soil dynamics

It is a question of improving these observations and measurements which are still much too scarce and incomplete:

- the evolution of the constituents;
- the cyclic or non cyclic modifications in the arrangements: structures and porosities;
- the dynamics of solid, liquid and gaseous transfers; nowadays, the most important thing is to improve our knowledge about the hydrous transfers of water and solutions in relation to the structural and biological systems: it is the comprehensive problem of the relations between soils, water and plant which govern a great part of the soil behaviour, fertility and conservation.

In this field as in others, one must no longer be satisfied with making correlations between observations and static measurements in order to infer dynamics. One must manage to reveal, observe and measure dynamics.

All these studies of structural analysis, localized physico-chemical analysis and soil life measurements have already been undertaken in several zones all over the world. Nowadays, these studies must be given priority from a methodological and budgetary point of view and also in higher and technical education. Therefore, it is necessary to reconsider the teaching of soil science and to attract more students.

* *

mettre en évidence, d'observer et de mesurer les dynamiques.

Toutes ces études d'analyses structurales, d'analyses physico-chimiques localisées, de mesures de fonctionnement, sont déjà entreprises, çà et là, dans différentes régions du monde.

Il faut aujourd'hui donner à ces études la priorité, méthodologique et budgétaire, et aussi leur donner la priorité au niveau de l'enseignement, technique et supérieur : il faut, pour cela, reconcevoir l'enseignement de la pédologie et il faut considérablement élargir la clientèle de cet enseignement.

* *

Je veux terminer cette note en tirant une sonnette d'alarme.

Il y a aujourd'hui en pédologie, une évolution dangereuse qu'il faut enrayer : c'est celle qui creuse un fossé entre :

— d'une part ceux qui font surtout du terrain et à qui l'on ne veut donner ni le droit ni le temps de faire des études détaillées, à qui l'on demande d'appliquer des recettes c'est-à-dire des classifications, des glossaires, des méthodes toutes faites, passe-partout, de descriptions et de cartographie des sols ;

— d'autre part ceux, en blouses blanches, qui ne font que du laboratoire, des observations et des analyses très fines, très complexes, aux résultats certes excellents, très sophistiqués, mais dont on est souvent incapables de délimiter leurs champs d'application parce que les échantillons ont été détachés de tous contextes naturels.

La recherche pédologique, au service de la connaissance, mais aussi au service du développement, au service des agriculteurs, des aménageurs, des forestiers, des architectes, doit être avant tout un travail d'équipes associant divers types de spécialistes du sol, et surtout pour tous, pour tous les spécialistes, un aller-retour permanent entre le terrain et le laboratoire, entre le macro et le micro, entre l'observation et la mesure, entre la marche à pied et la micro-sonde.

La priorité est aujourd'hui à la constitution, au développement de ces équipes pédologiques, qui doivent elles-mêmes s'associer à d'autres spécialistes de la recherche pour la connaissance et la valorisation des milieux et des sociétés.

I want to end this note with a warning.

Nowadays, soil science is subjected to a dangerous evolution which must be stopped since it creates a gap between:

— on the one hand, those who work mainly in the field, who are not entitled and not given time to make detailed studies, but are asked to use wrinkles, which means to use classifications, glossaries as well as ready-made and general-purpose methods for soil descriptions and mapping;

— on the other hand, those who work only in the laboratory, make observations and very fine and complex analyses whose results are excellent indeed and very sophisticated but whose range of applications is difficult to define because samples have been cut off from any natural background.

Soil research, which aims at reaching a better knowledge but also a better development and at furthering the interests of farmers, developers, foresters and architects, must be conducted mainly by teams of different types of soil specialists and chiefly must be practised as a set of constant relations between the field work and the laboratory work, the macro level and the micro level, the observation and the measurement, the walking and the microanalysis.

Nowadays, priority is given to the formation and development of these soil teams which must be associated with other research specialists in order to reach a better knowledge of environments and societies and to valorize them.

*Manuscrit reçu au Service des Éditions de l'O.R.S.T.O.M.
le 17 mai 1984*