Enregistrement scientifique n° : 4001
Symposium n° : 1
Présentation : introduction

De nouveaux concepts et théories en physique du sol

KUTILEK Miroslav (1), RIEU Michel (2)

(1) Nad Pat'ankou 34, 160 00 Prague 6, Czech Republic
(2) ORSTOM - 213 Rue La Fayette, 75428 Paris Cedex 10, France

Deux voies de développement de la physique du sol sont discutées. La première est dominée par l'empirisme tandis que l'autre se fonde sur le développement de théories appropriées. Un régime cyclique apparaît clairement dans la recherche théorique. Nous identifions une périodicité de vingt ans dont nous tentons d'identifier les principales raisons. Ce n'est que récemment que cette périodicité semble s'estomper pour deux raisons essentielles : le bagage théorique des chercheurs et les exigences de la vie concrète en matière de développement et mise en œuvre de théories nouvelles.

Dans ce symposium la présentation orale d'une sélection de travaux n'illustre que partiellement les tendances contemporaines, surtout à cause de la part réduite consacrée aux exposés. Nombreux sont les posters qui apportent bien plus qu'une illustration des conférences et représentent une contribution substantielle aux derniers développements en physique du sol. Les principaux problèmes abordés dans les présentations orales et les posters sont les suivants :
* Structure spatio-temporelle des flux à l'interface sol-atmosphère à l'échelle du terrain. Approche théorique et expérimentale des flux de vapeur d'eau en conditions non isothermes.
* Application de la logique floue et des réseaux neuronaux à la modélisation des processus de transfert.
* Instrumentation sans perturbation des systèmes poreux des sols et analyse fractale des données en termes de caractéristiques hydrodynamiques, flux préférentiels et digitations.
* Estimation in situ des caractéristiques hydrodynamiques du sol
* Traits spécifiques des transferts et des régimes hydriques dans les sols anthropiques.
* Et les efforts sans cesse renouvelés dans le développement de méthodes de terrain pour la détermination de la teneur en eau et du stock hydrique du sol.

Mots clés: histoire de la physique du sol, périodicité dans les théories, état de l'art.

Enregistrement scientifique n° : 4001
Symposium n° : 1
Présentation : introduction

De nouveaux concepts et théories en physique du sol

KUTILEK Miroslav (1), RIEU Michel (2)

(1) Nad Pat'ankou 34, 160 00 Prague 6, Czech Republic
(2) ORSTOM - 213 Rue La Fayette, 75428 Paris Cedex 10, France

Deux voies de développement en physique du sol

Dès ses origines, la physique du sol s'est développée dans deux directions. La première est l'approche empirique caractérisée par la multiplication d'innombrable expérimentations de laboratoire et de terrain dont la seule interprétation possible a était qualitative. Ici même des statistiques de base et des analyses de régression n'apportaient pas nécessairement de l'aide. Pour chaque nouvelle situation de terrain de nouvelles expérimentations étaient conçues en répétant les mêmes protocoles. Mais, l'approche empirique ne doit pas être perçue de façon péjorative tout au long de l'histoire de la physique du sol. Elle nous a apporté des observations extrêmement précieuses, surtout aux premiers temps de la physique du sol, voyez par exemple le concept de capacité au champ, l'observation et l'évaluation de la structure du sol. Plus tard, alors que l'approche empirique survivait encore, elle s'est révélée un réel obstacle à l'application des théories de la physique.

La seconde direction est caractérisée par l'application concrète de théories physiques aux processus de transfert dans le sol, au travail et à la compaction du sol etc. Mais les flux d'eau et de solutés dans le sol se produisent dans un milieu complexe, non rigide et réactif avec la matière en mouvement. L'application de la mécanique des fluides n'a jamais été une simple transcription des équations de base et on peut retracer plusieurs niveaux d'approximations. Plus encore, l'hétérogénéité spatiale des sols, même au niveau taxinomique le plus détaillé (l'échelle du pédon), entraîne de nouvelles complications dans l'applicabilité des solutions théoriques apportées aux problèmes. De la même façon on pourrait discuter de l'application de la mécanique des sols au travail du sol et autres matières. Les principes déterministes développés dans les approches théoriques ont l'avantage de permettre des prédictions quantitatives lorsque les propriétés du sol, et tout l'environnement, sont altérés par les activités humaines.

Une histoire périodique de l'approche théorique

Si on limite cette discussion aux développements théoriques dans le seul domaine de l'hydrodynamique des sols, on met à jour dans sa brève histoire différents cycles. Après le travail de pionnier de Buckingham (1907) qui identifia le potentiel de l'eau du sol et ses gradients comme le moteur des flux hydriques dans les sols, une période d'un peu plus de 20 ans s'est écoulée avant que Richards ne formule une équation générale décrivant les flux hydriques en milieu non saturé et en régime non permanent. De nouveau, ce n'est qu'après environ deux décennies que furent publiées les premières solutions analytiques de l'équation de Richard pour un profil et des conditions aux limites simplifiés (Klute, 1952, Gardner, 1956, Philip, 1957). Après une autre période de 15 à 20 années, les méthodes numériques de résolution de l'équation de Richards ont inauguré "l'ère numérique", avec la solution de phénomènes de transport dans des conditions moins triviales que ce que pouvaient offrir les méthodes analytiques (Rubin, 1967, Remson *et al.*, 1971, van Genuchten, 1976, Pinder & Gray, 1977). C'est à peu près au même moment que les efforts pour transférer au champ des théories et

solutions élaborées antérieurement ont provoqué une nouvelle poussée de développements théoriques. Cette dernière période où la règle des deux décennies s'applique toujours à peu près est caractérisée par les applications de la géostatistique et de la mise en facteur d'échelle. Tout d'abord Miller et Miller (1956) formulent les principes de la mise en facteur d'échelle pour des sols similaires et deux décennies plus tard, les premières applications et adaptations à des données de terrain sont publiées (Warrick *et al.*, 1977). En matière de transfert à l'échelle du pédon, le principal travail de terrain a été conclu pendant les deux décennies suivantes dans l'Ouest des U.S.A. Plutôt que de citer les contributions individuelles de chaque chercheur, je me référerai simplement aux membres de l'école de Nielsen.
La seule exception à notre principe de périodicité bi- décennale est constituée par les théories des flux miscibles en milieu non saturé. Elles ont été développées et enrichies de façon continue depuis les premières publications dans les années 60 (Nielsen & Biggar, 1962) sans qu'aucun seuil puisse être identifié.

Faisons l'hypothèse que la périodicité bidécennale qui rythme l'histoire des nouvelles découvertes et approches en hydrodynamique des sols résulte de l'action de plusieurs facteurs brièvement évoqués à la suite sans distinction d'importance relative:

1. La communauté des physiciens du sol n'était pas préparée à intégrer rapidement de nouvelles approches, surtout en raison de leur retard et manque de formation en physique. La grande majorité des chercheurs avait reçu une formation de base en agronomie avec une spécialisation en pédologie générale ou chimie et fertilité des sols.
2. Après la mise au point d'un nouvel outil théorique, la communauté avait à en faire l'apprentissage. Au cours de son utilisation, une information complémentaire sur diverses applications était acquise entre ceux qui pratiquaient les sciences physiques et mathématiques au niveau convenable. Le temps et l'énergie dépensés dans cette activité ne l'étaient pas en vain, et les nouvelles découvertes devenaient la condition *sine qua non* de futurs progrès théoriques.
3. Du fait que la grande majorité des chercheurs en agronomie n'était pas particulièrement inventive, comme c’est le cas dans d’autres branches de la science, les physiciens du sol se sont plutôt limités à répéter, avec de légères variantes, ce qui avait été découvert une bonne fois. Les résultats produits et leur importance relative sont du même ordre que ceux du point précédent. Il ne faut pas sous-estimer ces efforts même s'ils n'ont produit aucune grande découverte. Leur importance pour la compréhension des particularités des différentes régions du globe doit être prise en considération.
4. Vingt ans représentent *grosso modo* la durée de meilleure créativité dans une vie de scientifique. En conséquence, si une découverte se produit dans une génération, c'est dans la génération suivante que la probabilité de résultats fondamentaux est la plus élevée.
5. Le penchant héréditaire pour l'empirisme en physique du sol prévenait contre l'acceptation de toute nouveauté théorique. Et si cet empirisme, comme c'était fréquemment le cas, était associé à l'autosatisfaction et à la paresse intellectuelle, la majorité des chercheurs sont simplement passées à côté des opportunités de progrès théoriques. L'acceptation d'idées nouvelles et leur développement constant a été le fait de la nouvelle génération dénuée de préjugés.
6. La physique du sol n'a pu avoir de développement rapide par manque de financements adéquats. Classiquement, les bailleurs de fonds de la recherche agronomique préfèrent les travaux dont même le profane peut juger la qualité et la signification des résultats. Si ces résultats sont directement applicables à la solution du problème du bailleur, c'est autant de mieux! A ce point sensible où le bailleur attend des résultats immédiatement applicables, des barrières contre des théories nouvelles, pas encore confirmées se sont facilement et doucement élevées. En revanche, des financements plus anciens pour la recherche en mécanique des sols et des roches pour les travaux publics et l'ingénierie pétrolière étaient abondants et donc facilement accessibles aux théoriciens aussi alors qu'en agriculture, la situation s'apparentait à la pénurie.

7. Longtemps la science du sol et ses disciplines n'ont pas été perçues par la communauté scientifique mondiale comme une branche particulière des sciences de la terre mais comme une partie de l'agronomie. De fait, aujourd'hui encore, dans des institutions de recherche et universités de première grandeur, la science du sol est considérée comme une partie d'une science agronomique qui met l'accent sur la production alimentaire. Les financement de programmes agricoles nationaux orientés vers la production d'aliments n'ont pas été considérés accessibles à la recherche en physique du sol.

Ce n'est que récemment que certains des facteurs évoqués plus haut ont commencé à perdre de l'importance. Au cours d'un passé récent, alors que les préoccupations pour l'environnement global allaient croissant, la reconnaissance de la nécessité des physiciens du sol et de leurs réalisations s'est accru de façon spectaculaire. Aujourd'hui, le nombre de chercheurs formés en physique est en augmentation et le délai entre les développements de nouvelles spécialités en physique et mathématiques adaptées à des problèmes de physique du sol se raccourcit. Sans mentionner l'analyse numérique, on peut voit la pénétration quasi immédiate en physique du sol de la géostatistique, de la théorie de la percolation, des méthodes de filtrage de données et des fractales nées dans d'autres disciplines ainsi que l'adaptation de nouvelles techniques instrumentales (e. g. l'introduction des radionucléides, de la Tomographie Assistée par Ordinateur ou de la RMN).

Dans ce symposium, en raison des restrictions imposées aux présentations orales, le choix des communications n'illustre que partiellement les tendances actuelles mentionnées précédemment. De nombreux posters apportent plus qu'un strict complément des conférences et ils contribuent substantiellement aux réalisations de la physique du sol. Les principales questions discutées dans les communications et posters sont les suivantes:

- Flux à l'interface sol-atmosphère et structures de la covariance spatio-temporelle. Traitement théorique et expérimental des flux de vapeur d'eau en conditions non isothermes.
- Application de la logique floue et des réseaux de neurones à la modélisation des processus de transport.
- Instrumentation non destructive dans les études de la porosité du sol et analyse fractale des données en relation avec les fonctions hydrodynamiques, les voies préférentielles et les digitations des flux.
- Caractérisation *in situ* des propriétés hydrodynamiques du sol.
- Caractères particuliers des sols anthropiques.
- Et les efforts sans fin pour développer des méthodes de détermination *in situ* de la teneur en eau et de l'eau stockée dans le sol.

References

Buckingham, E. 1907. Studies on the movement of soil moisture. U. S. Dept. Agr., *Bur. Soils Bull*. No. 38.

Gardner, W. R. 1956. Calculation of capillary conductivity from pressure plate outflow data.. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, **20**, 317-320.

Klute, A. 1952. A numerical method for solving the flow equation for water in unsaturated material. *Soil Sci.*, **73**, 105-116.

Miller, E. E. & Miller, R. D. 1956. Physical theory for capillary flow phenomena. *J. Appl. Phys.*, **27**, 324-332.

Nielsen, D.R. & Biggar, J.W. 1962. Miscible displacement in soils: III. Theoretical consideration. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, **26**, 216-221.

Philip, J. R. 1957. The theory of infiltration: 1. The infiltration equation and its solution. *Soil Sci*., **83**, 345-357.

Pinder, G. F. & Gray, W. G. 1977. *Finite element simulation in Surface and Subsurface Hydrology*. Academic Press. New York.

Remson, I., Hornberger, G. & Molz, F. 1971. *Numerical Methods In Subsurface Hydrology*. John Wiley. New York.

Richards, L. A. 1931. Capillary conduction of liquids through porous media. *Physics*, **1**, 318-333.

Rubin, J. 1967. Numerical method for analyzing hysteresis affected post-infiltration redistribution of soil moisture. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*,**31**, 13-20.

Van Genuchten, M. Th. 1976. On the accuracy and efficiency of several numerical shemes for solving the convective-dispersive equation. In: *Finite Elements in Water Resources*, (ed. W. G. Gray), Vol. 1, pp. 71-90, Pentech Press, London.

Warrick, A. W, Mullen G. J. & Nielsen, D. R. 1977. Scaling field measured soil hydraulic properties using a similar media concept. *Water Resour. Res*., **13**, 355-362.

Mots clés: histoire de la physique du sol, périodicité dans les théories, état de l’art.

Scientific registration n° : 8001
Symposium n° : 1
Presentation : Introduction

New concepts and theories in soil physics

KUTILEK Miroslav (1), RIEU Michel (2)

(1) Nad Pat'ankou 34, 160 00 Prague 6, Czech Republic
(2) ORSTOM - 213 Rue La Fayette, 75428 Paris Cedex 10, France

We are discussing two paths of development in soil physics : The empirical one and the theoretical one based upon the development of adequate theories. For theoretical research, cyclic features of the development are obvious and we are speaking on twenty years periodicity in theoretical research. We try to identify the main factors influencing it. It is just recently that this periodicity looks as disappearing due to the existence of two main agents: The theoretical background of researchers and the needs of practical life for development and application of new theories.

In this symposium, oral presentation of selected papers illustrates only partly the mentioned contemporary trends, mainly due to limited extend of oral presentations. Many posters are more than just complementary to oral and they contribute substantially to achievements in soil physics. Let us mention the main problems discussed in orals and posters:
* Field scale fluxes on the land atmosphere boundary and spacio-temporal structures. Theoretical and experimental treatment of water vapor fluxes in non-isothermic conditions.
* Application of fuzzy logic and neural networks to modeling of transport processes.
* Non-invasive instrumentation in studies of soil porous systems and fractal analysis of data as related to hydraulic functions, preferential flows and fingering.
* Soil hydraulic parameters estimation in the field.
* Specific features of transport and water regimes in anthropogenic soils.
* And the never ending efforts in development of field methods of soil water content and water storage determination.

Keywords: history of soil physics, periodicity in theories, state of the art

Scientific registration n° : 8001
Symposium n° : 1
Presentation : Introduction

New concepts and theories in soil physics

KUTILEK Miroslav (1), RIEU Michel (2)

(1) Nad Pat'ankou 34, 160 00 Prague 6, Czech Republic
(2) ORSTOM - 213 Rue La Fayette, 75428 Paris Cedex 10, France

Two path of development in soil physics

From the beginning and birth of soil physics we can follow two paths of its development. The first is the empirical one characterized by countless numbers of laboratory and field experiments where the results were only qualitatively interpreted. Here, even the introduction of simple statistics and regression analysis did not necessarily help. For each different field situation, new experiments were devised with the same methodical procedures often being repeated. However, empiricism should not always be interpreted in a pejorative sense throughout the entire history of soil physics. It brought extremely valuable observations to us, especially during the early stage of soil physics, see e.g. the concept of field capacity, the observation and evaluation of soil structure. Later, when empiricism was still surviving, it became a real obstacle for application of physical theories.

The second path is characterized by the real application of physical theories to the solution of transport processes in soil, to tillage and compaction of soil etc. Because water and chemical solutions flow through soils in a mechanically complicated medium which is neither rigid nor nonreactive to the transported matter, the application of mechanics was never a simple transcription of basic transport equations and we can trace approximations at various levels. Further on, the non-uniformity of soils even at the lowest taxonomic level (the pedotop scale) brings further complications for applicability of the theoretically derived solutions of problems. In a similar way we could discuss the application of soil mechanics to soil tillage and related disciplines.

Deterministic principles developed in theoretical approaches have the advantage of quantitative predictions in situations where the soil characteristics and the whole environment are altered due to human activity

Periodicity in the history of the theoretical research

Let us restrict now our discussion to the development of theories in one branch of soil physics called soil hydrology, only. We discover distinct cyclic features in its short history. After the pioneering work of Buckingham (1907) who defined soil water potential and its gradients as the driving force of water flow in soils, there was a period that lasted a little more than 20 years until Richards (1931) formulated a general equation describing the unsaturated, unsteady flow of water in soils. And again after approximately two decades, the first analytical solutions of the Richard's equation for simple soil and boundary conditions were published (Klute, 1952, Gardner, 1956, Philip, 1957). After another 1.5 to 2-decades period, numerical procedures for solving Richard's equation started "the numerical era" with solutions of transport phenomena in less trivial conditions than the analytical methods were offering (Rubin, 1967, Remson *et al.*, 1971, van Genuchten, 1976, Pinder & Gray, 1977). Approximately at the same time, efforts to transfer the earlier derived theories and solutions to field conditions brought a new peak of theoretical developments. This last period of which the rule of two decades still roughly holds is characterized by applications of geostatistics and scaling. First, Miller and Miller (1956) formulated the scaling principle for similar

soils, and two decade later the first applications and modifications on scaling field data (Warrick *et al.*, 1977) were published. The main spadework done in the transition to pedotop scale was achieved in the next two decades in the western part of U.S.A. Instead of quoting the names of researchers for their individual contributions, I merely refer to those within Nielsen's school.
The only one exception in our concept of 20 years periodicity are the theories on miscible flow in unsaturated soils. They were continuously developed and modified starting from the first publications in sixties (Nielsen & Biggar, 1962) without distinct thresholds.

We assume that the 20-years periods between new discoveries and approaches in soil hydrology in the past were the result of the action of several factors briefly described below without expressing their relative importance:

1. The community of soil physicists was not ready to quickly digest new approaches, primarily owing to their backwardness and lack of education in physics. The great majority of researchers received their basic agronomy with emphasis on general pedology or the chemical aspect of soil fertility.
2. After a new theoretical tool was found and described, the community had to learn how to use it. When using it, new information on various applications was gained among those who understood physics and mathematics at the appropriate level. Time and energy spent on this activity were not useless and the new partial findings were conditions *sine qua non* in further theoretical progress.
3. Because the great majority of agricultural researchers was not truly creative, as other researchers usually do in other branch of science, soil physicists were more apt to repeat with slight modifications what had already been once discovered. These results and their relative importance are similar to those mentioned in the factor above. We should not underestimate these efforts even if they did not yield any great discoveries. We are considering also their importance for our understanding of specific features of various regions of the globe.
4. Twenty years period represents roughly the span of greatest creativity in a scientist's life. Hence, after one discovery in one generation, the next generation has a higher probability for a novel fundamental finding.
5. The inherited inclination toward empiricism in soil physics precluded the acceptance of new theoretical ideas. With this empiricism frequently linked to self-satisfaction and laziness, majority of researchers simply ignored theoretical opportunities. The acceptance of new ideas and their continued development depended upon a new generation bringing opinions without prejudices.
6. Soil physics could not be rapidly developed without getting adequate financial resources. Donors for agricultural research typically prefer those studies where even the layman cab judge the quality or significance of the results. If the results are immediately applicable for the solution of the donor's problem, so much the better! At this sensitive point where the donor expects immediately usable results, barrier against new theoretical, yet unproven findings were easily and gently raised. In contrast, previous funding for civil and petroleum engineering research in soil and rock mechanics was abundant and therefore readily available for theoreticians as well, when the situation is compared to scanty conditions in agriculture.
7. Soil science and its branches were not perceived by the world community of scholars as a distinct branch of earth sciences for a long time. It was considered only as a part of agronomy. Indeed, even today in major research institutions and universities, soil science is considered as a part of agronomy where the emphasis is on crop production. Funding from national programs for agriculture emphasizing food production was not seen as an avenue for soil physics research.

Only recently have some of the above factors begun to lose their weight. During the recent past the human pressure on soil resources dramatically increased. Erosion, pollution and salinization have definitely annihilated billions of hectares of agricultural soils. As global and environmental concerns were heightened, the recognition of the need and achievements of soil physicists dramatically increased. The number of researchers educated in physics is now increasing and the time lag between the development of new branches in physics and mathematics relevant to problems of soil physics is shortening. Without mentioning the use of numerical analysis, we can see from other disciplines the almost immediate penetration of geostatistics, percolation theories, data filtration methods and fractals into soil physics as well as adaptation of new instrumentation techniques (*e.g.* the introduction of radionuclides, CAT or NMR).

In this symposium, oral presentation of selected papers illustrates only partly the mentioned contemporary trends, mainly due to limited extend of oral presentations. Many posters are more than just complementary to orals and they contribute substantially to achievements in soil physics. Let us mention the main problem discussed in the presented orals and posters:

- Field-scale fluxes on the land-atmosphere boundary and spacio-temporal covariance structures. Theoretical and experimental treatment of water vapor fluxes in non-isothermic conditions.
- Application of fuzzy logic and neural networks to modelling of transport processes.
- Non-invasive instrumentation in studies of soil porous systems and fractal analysis of data as related to hydraulic functions, preferential flows and fingering.
- Soil parameter estimation in the field.
- Specific features of anthropogenic soils.
- And the never ending efforts in development of field methods of soil water content and storage determination.

References

Buckingham, E. 1907. Studies on the movement of soil moisture. U. S. Dept. Agr., *Bur. Soils Bull*. No. 38.

Gardner, W. R. 1956. Calculation of capillary conductivity from pressure plate outflow data.. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc*., **20**, 317-320.

Klute, A. 1952. A numerical method for solving the flow equation for water in unsaturated material. *Soil Sci.*, **73**, 105-116.

Miller, E. E. & Miller, R. D. 1956. Physical theory for capillary flow phenomena. *J. Appl. Phys*., **27**, 324-332.

Nielsen, D.R. & Biggar, J.W. 1962. Miscible displacement in soils: III. Theoretical consideration. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, **26**, 216-221.

Philip, J. R. 1957. The theory of infiltration: 1. The infiltration equation and its solution. *Soil Sci*., **83**, 345-357.

Pinder, G. F. & Gray, W. G. 1977. *Finite element simulation in Surface and Subsurface Hydrology*. Academic Press. New York.

Remson, I., Hornberger, G. & Molz, F. 1971. *Numerical Methods In Subsurface Hydrology*. John Wiley. New York.

Richards, L. A. 1931. Capillary conduction of liquids through porous media. *Physics*, **1**, 318-333.

Rubin, J. 1967. Numerical method for analyzing hysteresis affected post-infiltration redistribution of soil moisture. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*,**31**, 13-20.

Van Genuchten, M. Th. 1976. On the accuracy and efficiency of several numerical shemes for solving the convective-dispersive equation. In: *Finite Elements in Water Resources*, (ed. W. G. Gray), Vol. 1, pp. 71-90, Pentech Press, London.

Warrick, A. W, Mullen G. J. & Nielsen, D. R. 1977. Scaling field measured soil hydraulic properties using a similar media concept. *Water Resour. Res*., **13**, 355-362.

Keywords: history of soil physics, periodicity in theories, state of the art