

Enregistrement scientifique n° : 614

Symposium n° : 3

Présentation : poster

**Soil water dynamics on a hillslope transect (France)
during rainfall: has soil cover structure an effect ?
Dynamique de l'eau à l'échelle de l'averse le long
d'une toposéquence (France) : rôle de l'organisation
du sol**

ZIDA Mathurin (1), **CURMI Pierre** (1), **HALLAIRE Vincent** (1), **GRIMALDI Michel** (2)

(1) INRA, Science du Sol, 65 rue de St Briec, 35042 Rennes Cedex, France.

(2) ORSTOM, même adresse

Studies on relations between soil structure and soil hydrodynamic behaviour are most of the time performed at the laboratory. At the landscape scale, such studies are relatively rare and either deal with seasonal soil water dynamics or are carried out under high intensity rainfalls. Our objective was to determine whether horizons arrangement within a soil system along a hillslope transect (Brittany, France) affects soil water flow during moderate rainfalls. The soil system consists in a few genetically and spatially related horizons, spreading over a well drained domain upslope and a poorly drained one downslope. We installed tensiometers with pressure transducers at three places across the well to poorly drained domain in sets of seven, from depths of 10 to 100 cm with respect to the horizons limits. A 15 min-step data logging was performed for both soil water potential and rainfall. Furthermore, we measured saturated and near-saturated hydraulic conductivity of horizons using cube method and tension infiltrometer respectively. Results from the dynamics of the soil water potential profiles throughout a 8 mm rainfall showed that a perched water table occurred both upslope and downslope at the plough horizon bottom. It developed more rapidly, to a greater extent and lasted longer downslope than upslope. On the contrary, no subsurface saturation was observed midslope. Analyses of solums and hydraulic conductivity data suggest that the occurrence of an underlying horizon with a very low K_{sat} , rather than the single superposition of morphologically differentiated horizons, is mainly responsible for the development of perched water tables in the plough horizons. The data also suggest that the contribution of a saturated subsurface flow from the well drained domain to the poorly drained one is quite limited, even missing, because of the very high variability of the plough pan K_{sat} which results in a spatial discontinuity of the perched water table. We can state from these results that soil cover structure is determining in soil water flow, particularly by promoting saturated subsurface flow, even under very low-intensity

Enregistrement scientifique n° : 614
Symposium n° : 3
Présentation : poster

Soil water dynamics on a hillslope transect (France) during rainfall: has soil cover structure an effect ? Dynamique de l'eau à l'échelle de l'averse le long d'une toposéquence (France) : rôle de l'organisation du sol

ZIDA Mathurin (1), **CURMI Pierre** (1), **HALLAIRE Vincent** (1), **GRIMALDI Michel** (2)

(1) INRA, Science du Sol, 65 rue de St Briec, 35042 Rennes Cedex, France.
(2) ORSTOM, même adresse

Introduction

Il est maintenant bien établi que le comportement hydrique d'un sol est étroitement lié à sa structure. Cependant la plupart des travaux qui ont traité des relations entre structure et comportement hydrique des sols ont été réalisés à une échelle spatiale compatible avec les déterminations au laboratoire, *i.e.* sur des échantillons de taille centimétrique à décimétrique (Robain et Curmi, 1986 ; Grimaldi et Boulet, 1989 ; Hallaire *et al.*, 1997). Si les études impliquant la prise en compte du fonctionnement hydrodynamique du sol à l'échelle de l'unité de paysage sont relativement nombreuses, notamment en hydrologie de versant (Ruprecht et Schofield, 1990 ; Coen *et al.*, 1996), celles abordant spécifiquement les relations existant entre l'organisation de la couverture pédologique et son fonctionnement hydrique à cette même échelle spatiale sont moins nombreuses et souvent limitées à la dynamique saisonnière de l'eau dans le sol (Guehl, 1984 ; Lucas *et al.*, 1986). Quand elles sont menées à l'échelle de l'averse, c'est souvent en conditions d'intensité et de hauteur d'eau élevées (Coen *et al.*, 1996 ; Molicova *et al.*, 1997). A partir de suivis tensiométriques des variations de l'état hydrique du sol, nos objectifs sont : (i) d'établir la dynamique de l'eau dans un système pédologique (bassin versant du Coët Dan, Morbihan, France), au cours d'événements pluvieux modérés ; (ii) de montrer quels éléments du système sont déterminants sur cette dynamique hydrique.

Matériel et méthodes

Le site expérimental et les sols

La couverture pédologique dans le bassin versant du Coët Dan s'organise en deux systèmes (Curmi, 1993 ; Widiatmaka, 1994) : (i) un système développé dans la couverture limoneuse, comportant un domaine bien drainé où les sols sont des Alocrisols et des Luvisols, et un domaine hydromorphe et dégradé où les sols sont des Luvisols-Rédoxisols et Luvisols-Rédoxisols dégradés (nomenclature du Référentiel Pédologique, Baize et Girard, 1996) ; (ii) un système aval colluvio-alluvial hydromorphe.

La toposéquence choisie se situe dans une zone de transition entre les deux domaines du système sur couverture limoneuse où, sur une trentaine de mètres, se différencie l'ensemble des horizons pédologiques caractéristiques du système (Fig. 1).

Le dispositif expérimental et les mesures

(1) Mesure de la pression de l'eau

Trois stations tensiométriques ont été installées le long d'un transect orienté dans le sens de la plus grande pente (3 %). Chaque station comporte 7 tensiomètres implantés entre 10 et 100 cm de profondeur, en tenant compte de la géométrie des volumes pédologiques (Fig. 1). Tous les tensiomètres ont été munis de capteurs de pression reliés à une centrale d'acquisition automatique. L'évolution de la pression de l'eau a été suivie de septembre 1995 à août 1996, avec un pas de temps d'acquisition de 15 mn.

(2) Mesure des conductivités hydrauliques des horizons

Des mesures de conductivité hydraulique ont été réalisées *in situ* sur les principaux horizons du système pédologique. Nous avons utilisé l'infiltromètre à succion contrôlée selon le protocole décrit par Ankeny *et al.* (1991) pour déterminer les conductivités hydrauliques en non saturé. Les succions suivantes ont été appliquées : 0.6, 3, 6 et 12 cm (6 à 10 répétitions par horizon). Les conductivités hydrauliques à saturation (K_{sat}) ont été mesurées sur des cubes de 20 x 20 x 20 cm selon la méthode proposée par Bouma et Dekker (1981) (3 à 8 répétitions par horizon).

Résultats

Caractéristiques hydrodynamiques des horizons

Les mesures de conductivité hydraulique, limitées à 6 volumes pédologiques des stations amont et aval, montrent que (fig. 2) :

- l'horizon labouré se caractérise par des K_{sat} très élevées et très variables : 308 ± 157 et 307 ± 139 mm/h (moyenne \pm écart-type) à l'amont (L) et à l'aval (Lg) respectivement. Entre la saturation et pF 1 environ, les conductivités diminuent plus fortement à l'aval qu'à l'amont.
- les volumes pédologiques sous-jacents (semelle de labour à l'amont et horizon Ea à l'aval), comparés aux volumes superficiels, ont des conductivités hydrauliques plus faibles (au moins un ordre de grandeur). En particulier, les valeurs de K_{sat} tombent à 38 et 2 mm/h dans la semelle de labour et l'horizon Ea respectivement, avec une variabilité nettement plus forte dans la semelle ($S = 34$) que dans l'horizon Ea ($S = 0.3$).
- à l'amont, l'horizon E présente des conductivités très voisines de celles de la semelle de labour. A l'aval, la conductivité de l'horizon BTgd est d'un ordre de grandeur plus élevée que celle de l'horizon Ea. On observe ensuite une similitude entre les horizons Ea et BTgd pour les conductivités en non saturé.

Analyse des profils tensiométriques

La figure 3 présente les variations des profils de potentiel total de l'eau observées dans les 3 stations pendant et après une averse de 8 mm (intensité maximale en 1/2 heure : 3 mm/h) enregistrée les 29 et 30 septembre 1995.

Les profils initiaux de potentiel total de l'eau dans les 3 stations diffèrent nettement. L'état initial le plus sec est observé dans la station intermédiaire et le plus humide dans la station aval où, à 1 m de profondeur, le potentiel matriciel est très proche de 0, indiquant la proximité du toit de la nappe de l'altérite. Le sol est donc partout non saturé, mais alors que, pour la station aval, on observe une situation de quasi équilibre (gradient de potentiel total quasi nul) entre 35 cm et 1 m, la station intermédiaire se caractérise par des flux hydriques ascendants entre 50 cm et 1 m et la station amont par des flux descendants entre 20 cm et 80 cm. Dans les couches les plus superficielles, plus sensibles à l'évapotranspiration et aux pluies, même les plus faibles, la direction des flux selon un axe vertical est variable.

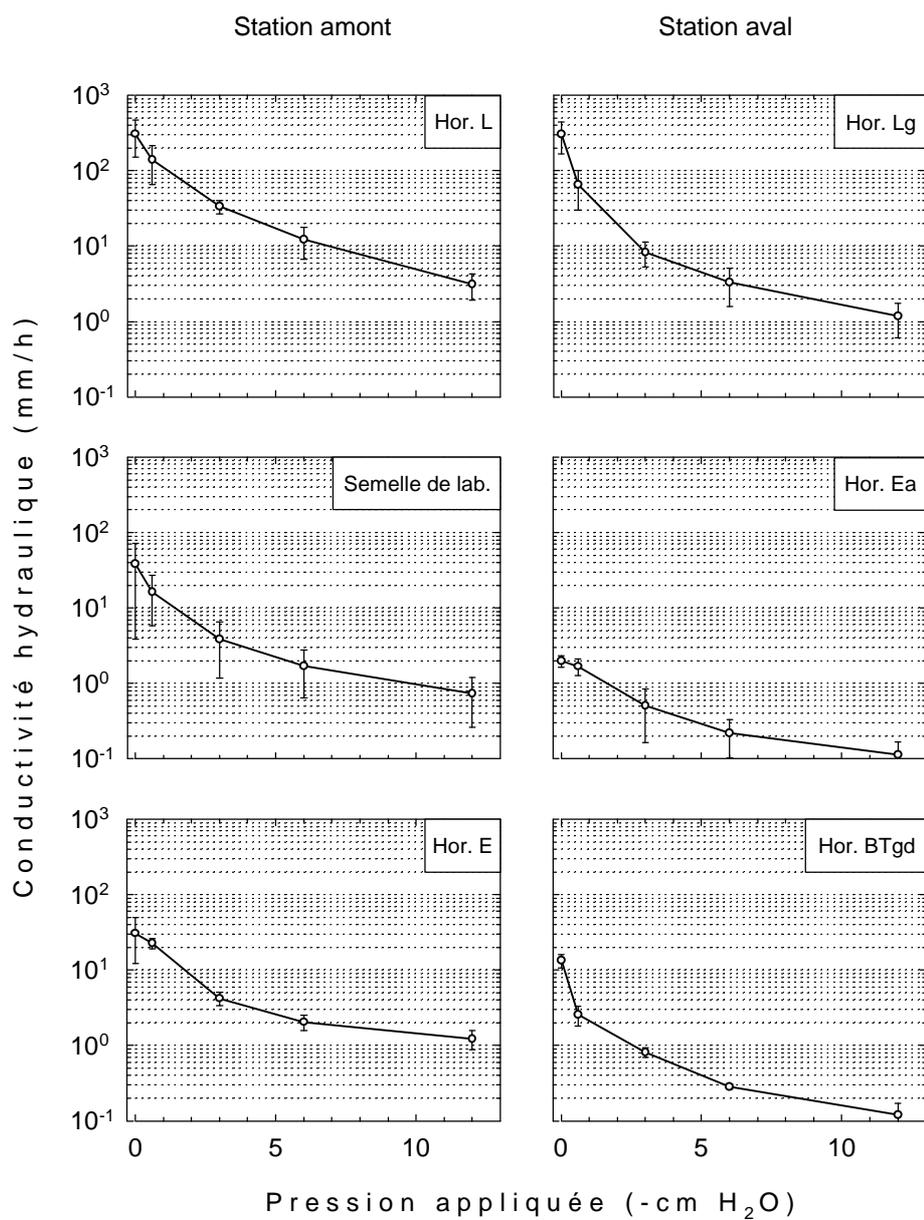


Figure 2 : Conductivités hydrauliques (moyennes et écart-types) de quelques horizons du système pédologique étudié.

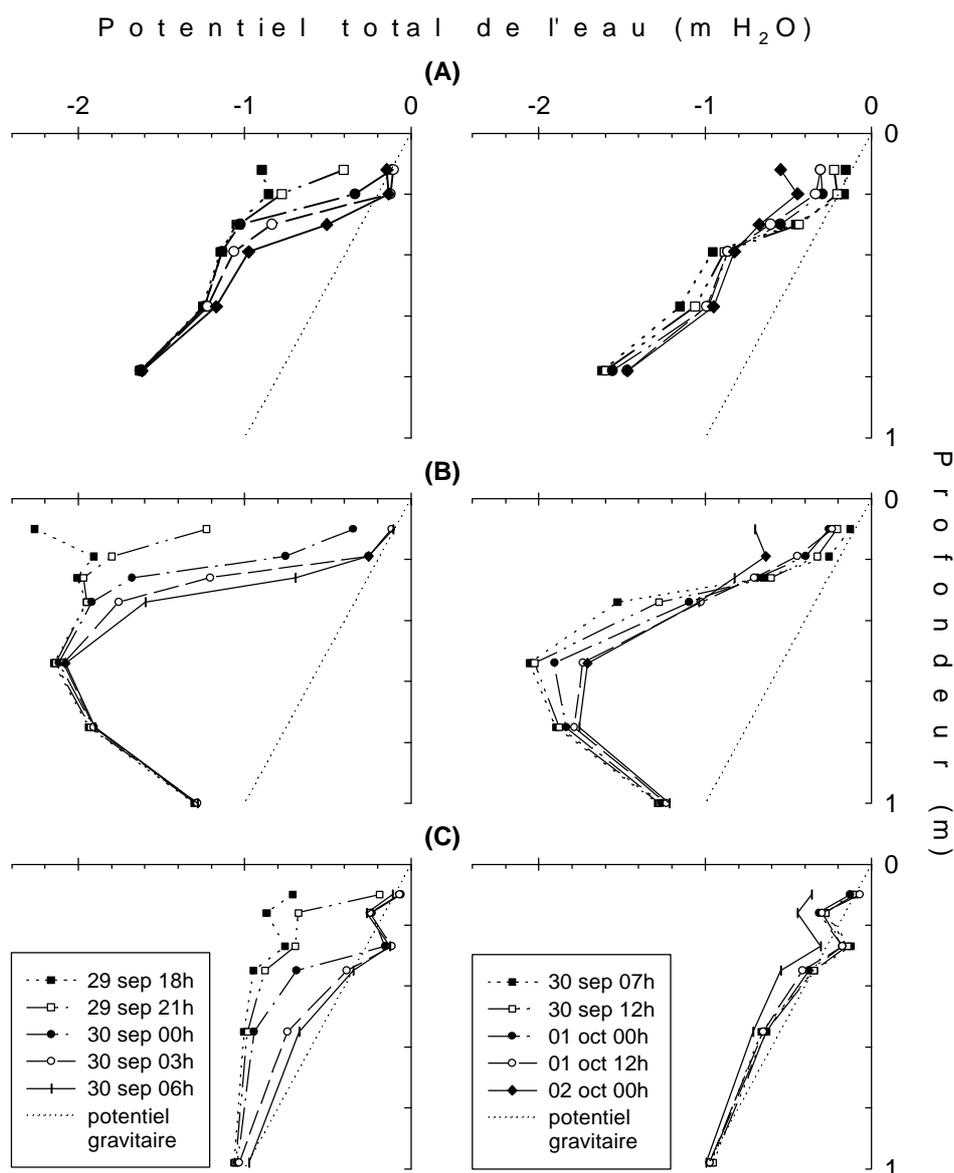


Figure 3 : Variations du potentiel total de l'eau dans les stations amont (A), intermédiaire (B) et aval (C) pendant et après une averse (8 mm précipités entre le 29/09/95 à 18h et le 30/10/95 à 07h).

Au cours des premières heures de l'averse, on assiste à une augmentation rapide du potentiel total de l'eau dans toutes les stations. Environ 9h après le début de l'averse, il se produit une saturation vers 20 cm de profondeur à l'amont. A l'aval, cette saturation de subsurface apparaît plus rapidement, seulement 6h environ après le déclenchement de l'averse. Dans la station intermédiaire, on n'observe aucune saturation subsuperficielle. A la fin de l'averse, alors que les profils ne varient quasiment pas dans les stations amont

et intermédiaire au-delà de 60 cm de profondeur, on observe, à l'aval, une élévation du toit de la nappe de l'altérite jusqu'à 1 m de profondeur.

Après l'arrêt de l'averse, la saturation de subsurface observée à l'amont disparaît en 6h environ ; à l'aval, elle persiste plus de 24h. Si dans la station aval les profils de potentiel total ont très peu varié plus de 24h après la fin de l'averse, on observe, dans les stations amont et intermédiaire, une augmentation progressive des potentiels au-delà de 40 cm de profondeur et un dessèchement des couches plus superficielles.

Discussion et conclusion

Dans les deux stations où apparaissent des saturations de subsurface pendant l'averse, le phénomène se produit à l'interface de deux volumes caractérisés par des structures nettement contrastées : d'une part un volume superficiel (horizon L à l'amont et Lg à l'aval), où prédomine une structure grumeleuse à polyédrique subanguleuse fine associée à des agrégats polyédriques grossiers à forte compacité ; d'autre part un volume sous-jacent, à structure polyédrique grossière avec une forte cohésion des agrégats (semelle de labour à l'amont), et à structure massive avec une forte compacité (horizon Ea à l'aval). Ces deux stations ont en commun de fortes valeurs de K_{sat} dans les horizons superficiels et de faibles valeurs dans les horizons sous-jacents. La différence réside dans la variabilité spatiale de K_{sat} , beaucoup plus forte dans la semelle de labour que dans l'horizon Ea. Cette variabilité élevée de K_{sat} dans la semelle de labour s'expliquerait par la forte activité biologique qui s'est développée dans l'horizon de labour resté en jachère pendant deux ans sur le site expérimental ; une porosité biologique abondante en a résulté dans la semelle de labour, accroissant considérablement l'hétérogénéité de cette couche.

Dans la station intermédiaire, le profil hydrique initial plus sec pourrait s'expliquer par la proximité de l'horizon d'altération caillouteux du schiste et la présence d'un horizon à caractère fragile réduisant les remontées capillaires à partir de la nappe de l'altérite. L'observation du profil pédologique montre de plus l'existence d'un horizon Eg colluvionné à l'amont d'une ancienne haie délimitant les domaines bien drainé et mal drainé, et l'absence d'une semelle de labour à la base de l'horizon Lg. Les deux horizons Lg et Eg colluvionné présentent une structure similaire : polyédrique subanguleuse moyenne et fine. Il n'y a probablement pas de différence significative de conductivité hydraulique entre ces deux horizons ; ce qui, outre l'état initial plus sec, pourrait expliquer l'absence de saturation de subsurface pendant l'averse.

Ces résultats suggèrent que l'organisation pédologique est déterminante sur l'occurrence de saturations de subsurface dans la mesure où la différenciation morphologique des horizons s'accompagne d'une différenciation significative des propriétés hydrauliques. Ils confortent ceux obtenus par plusieurs auteurs (*e.g.* Weyman, 1973 ; Hammermeister *et al.*, 1982) qui ont montré qu'une saturation et des transferts hydriques latéraux en saturé peuvent se produire à condition que la couche de sol sous-jacente ait une K_{sat} beaucoup plus faible que celle de l'horizon qui est le siège du phénomène.

La fugacité de la saturation à l'amont pourrait s'expliquer par la forte hétérogénéité de la semelle de labour qui favoriserait localement un drainage à composante verticale prépondérante, tarissant ainsi rapidement la nappe perchée, au contraire de la station aval où l'horizon Ea montre une très faible variabilité de K_{sat} . Outre la variabilité élevée de K_{sat} dans la semelle de labour, l'existence d'anciennes haies (station intermédiaire)

limitera les possibilités d'une alimentation hydrique significative du domaine aval par écoulement saturé subsuperficiel en provenance de l'amont.

Au total, on montre que l'organisation de la couverture pédologique joue un rôle sur la dynamique de l'eau à l'échelle du système pédologique au cours de petites averses. On met en évidence en particulier l'importance du facteur anthropique (système de culture, aménagement passé et actuel du paysage) dans la mise en place des différenciations et discontinuités pédologiques les plus déterminantes à cet égard.

Références

- Ankeny, M.D., Ahmed, M., Kaspar, T.C., Horton, R., 1991. Simple field method for determining unsaturated hydraulic conductivity. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **55**, 467-470.
- Baize D., Girard M.C., 1996. *Référentiel pédologique 1995*. Coll. « Techniques et pratiques », INRA Editions, Versailles, France, 332 p.
- Bouma, J., Dekker, L.W., 1981. A method for measuring the vertical and horizontal Ksat of clay soils with macropores. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **45**, 662-663.
- Curmi, P., 1993. Analyse structurale et dynamique actuelle des systèmes pédologiques. *Mém. d'Habilitation à Diriger des Recherches*, Univ. Rennes I, 83 p. + annexes.
- Grimaldi, M., Boulet, R., 1989. Relation entre l'espace poral et le fonctionnement hydrodynamique d'une couverture pédologique sur socle de Guyane française. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, **25** (3), 263-275.
- Guehl, J.M., 1984. Dynamique de l'eau dans le sol en forêt tropicale humide guyanaise. Influence de la couverture pédologique. *Ann. Sci. For.*, **41** (2), 195-236.
- Hallaire, V., Curmi, P., Widiatmaka, 1997. Morphologie de la porosité et circulations préférentielles en saturé. Cas des horizons d'un système pédologique armoricain. *Etude et Gestion des Sols*, **4** (2), 115-126.
- Hammermeister, D.P., Kling, G.F., Vomocil, J.A., 1982. Perched water tables on hillsides in western Oregon : I. Some factors affecting their development and longevity. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **46**, 811-818.
- Lucas, Y., Boulet, R., Andrieux, P., 1986. Un système pédologique aval en Guyane française. Organisation et fonctionnement hydrodynamique. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, **27** (1), 3-16.
- Molicova, H., Grimaldi, M., Bonell, M., Hubert, P., 1997. Using TOPMODEL towards identifying and modelling the hydrological patterns within a headwater, humid, tropical catchment. *Hydrol. Proc.*, **11**, 1169-1196.
- Ritsema, J.C., Oostindie, K., Stolte, J., 1996. Evaluation of vertical and lateral flow through agricultural loessial hillslopes using a two-dimensional computer simulation model. *Hydrol. Proc.*, **10**, 1091-1105.
- Robain, H., Curmi, P., 1986. Rôle de la structure pédologique sur le comportement hydrique du sol aux faibles pF. *C. R. Acad. Sci. Paris*, t. 303, série II, 6, 509-514.
- Ruprecht, J.K., Schofield, N.J., 1990. Seasonal soil water dynamics in the Jarrah forest, Western Australia. I : Results from a hillslope transect with coarse-textured soil profiles. *Hydrol. Proc.*, **4**, 241-258.
- Weyman, D.R., 1973. Measurements of the downslope flow of water in a soil. *J. Hydrol.*, **20**, 267-288.
- Widiatmaka, 1994. Analyse structurale et fonctionnement hydrique d'un système pédologique limoneux acide sur granite et sur schiste du massif armoricain, France. *Thèse de doctorat, ENSA Rennes*, 260 p. + annexes.

Keywords : soil cover structure, soil water potentiel, hydraulic conductivity

Mots clés : structure de la couverture pédologique, potentiel hydraulique du sol, conductivité hydraulique

rainfall. This is effective when the morphological differentiation of horizons goes with a significant differentiation of their K_{sat} .

Keywords : soil cover structure, soil water potentiel, hydraulic conductivity

Mots clés : structure de la couverture pédologique, potentiel hydraulique du sol, conductivité hydraulique