

**Zeitschrift:** Tracés : bulletin technique de la Suisse romande  
**Herausgeber:** Société suisse des ingénieurs et des architectes  
**Band:** 130 (2004)  
**Heft:** 04: Débit de poissons

**Artikel:** Les processus d'écoulement de l'eau: un défi pour la recherche  
**Autor:** Musy, André  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-99275>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 02.02.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Les processus d'écoulement de l'eau: un défi pour la recherche

ENVIRONNEMENT

Il est assez surprenant de constater qu'il est plus facile pour l'Homme de fouler le sol lunaire que de connaître le cheminement précis de l'eau dans le sol terrestre. Faut-il croire que les lointains horizons sont plus attractifs en termes de recherche que ceux qui participent à notre quotidien, ou alors que la complexité de la conquête spatiale est moindre que celle de l'hydrologie du sol? Sans prétendre apporter une réponse à ces questions provocatrices, je voudrais présenter ci-après quelques aspects des enjeux liés à la recherche en matière d'hydrologie du sol et de surface avec leurs implications tant écologiques que sociétales.

## Un milieu hautement complexe...

Constitué à la fois d'air, d'eau et de matière solide, le sol forme un milieu polyphasique très complexe. Ses composés organiques et minéraux et les substances transportées dans sa phase liquide interfèrent et se modifient constamment sous l'effet de réactions physiques, chimiques et/ou biologiques. Le sol est non seulement biologiquement très actif, il est aussi le siège de nombreux phénomènes transitoires qui s'inscrivent dans un processus évolutif global. A cet égard, ce milieu particulier si présent dans nos activités offre une complexité *a priori* largement supérieure à celles de l'atmosphère ou de l'espace intersidéral!

C'est dans ce milieu complexe que se produisent et se propagent des écoulements d'eau, dont le passage se marque de diverses manières, que ce soit le dépôt d'éléments miné-

raux, le lessivage de substances nocives, ou leur transport vers des exutoires. Afin de saisir l'importance de ces phénomènes, pour mieux en cerner les mécanismes et pouvoir les influencer au besoin, il est nécessaire d'agir aux différents niveaux suivants :

- compréhension des processus fondamentaux
- modélisation comportementale
- analyse d'impact
- conception et réalisation d'aménagements.

## ... et extrêmement mouvant

A l'échelle des processus, nous en sommes encore aux balbutiements de nos connaissances, surtout en matière d'interactions d'un phénomène, même bien connu, avec d'autres. Ainsi, la pénétration de l'air dans un sol par effet de drainage peut entraîner des modifications physico-chimiques qui, dans certains types de sol, se traduiront par des réactions très particulières (minéralisation des tourbes par exemple (fig. 2)). Les problèmes d'interface entre les divers composants du milieu sont également fort peu connus. J'évoquerai simplement les transferts de solutés et de pesticides associés aux phénomènes de diffusion moléculaire qui influencent la concentration de ces éléments au cours des déplacements. Citons enfin les problèmes liés à la dynamique de la matière colloïdale, qui jouent un rôle déterminant non seulement dans l'évolution des sols mais aussi dans le transport de solutés.

La recherche à caractère fondamental en science du sol a encore un bel avenir, spécialement dans l'étude de certains composés et de leurs transformations, en relation avec les problèmes de conservation et de préservation des ressources naturelles (fertilité des sols, qualité des eaux souterraines, protection de biotopes, etc.).

## Les écueils de la modélisation

Au niveau de la modélisation, nos connaissances semblent plus solides, si l'on en juge par la prolifération de modèles de tous ordres, développés dans de nombreux laboratoires. Mais ce constat est à mon sens surtout révélateur d'une méconnaissance des phénomènes à simuler ou encore des

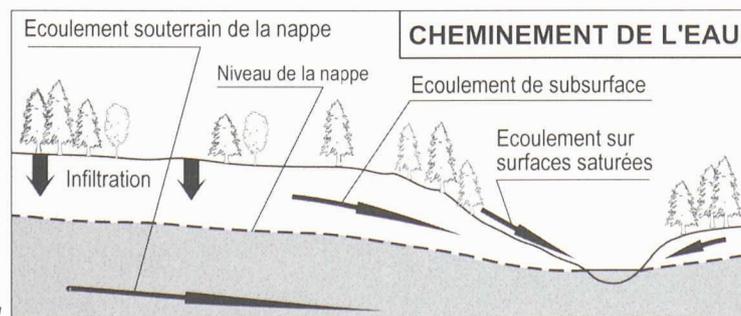


Fig. 1 : Conceptualisation des écoulements de l'eau dans le sol

Fig. 2 : Pertes en sols dues à la minéralisation des tourbes suite au drainage agricole (Plaine de l'Orbe)

Fig. 3 et 4 : Variation spatio-temporelle de l'humidité du sol, bassin Haute Mentue (Ruzillon)

Fig. 5 et 6 : Exemple de traçage environnemental (calcium et silice) pour la détermination des composantes de l'écoulement de l'eau dans le sol

Fig. 7 : Simulation des débits de Ruzillon (Haute Mentue) à l'aide de TOPMODEL et évaluation de l'incertitude

difficultés, voire de l'impossibilité à simuler leur extrême complexité. La variation spatio-temporelle de l'état d'humidité dans un sol (fig. 3 et 4) est par exemple très difficile à considérer de manière continue dans des modèles de comportement. Elle est conditionnée par de nombreux facteurs - dont les caractéristiques hydrodynamiques, la texture et la structure du sol - que l'on ne sait pas vraiment mesurer à l'échelle d'un bassin versant. Certains modèles mathématiques (modèles distribués à base physique, à l'exemple du modèle SHE) peuvent prendre cette spécification en considération, mais leur complexité et surtout l'impossibilité de connaître aux mêmes échelles de résolution les paramètres de calcul issus de mesures, rendent souvent illusoire de telles applications.

Au vu de ces difficultés, d'autres approches plus globales sont souvent privilégiées en utilisant des traceurs afin d'identifier les écoulements dans les sols (traceurs chimiques ou isotopiques). A l'aide de telles techniques, il est possible d'identifier l'origine des apports d'eau à la rivière (fig. 1, 5 et 6) et de les simuler (fig. 7) par le biais d'autres types de modèles (modèle conceptuel, exemple TOPMODEL).

Dans ces deux cas de figure, un problème insuffisamment résolu est rémanent : celui de la qualification des résultats obtenus. Cette dernière est directement fonction des incertitudes sous-jacentes, tant au niveau du modèle lui-même (aptitude du modèle à bien représenter les processus physiques qui se déroulent réellement) qu'à celui de la mesure des grandeurs physiques utiles au calage des paramètres. Cette question fort complexe n'est de loin pas résolue et fait l'objet de nombreuses recherches dans le monde des hydrologues.

### Nécessité d'une approche pluridisciplinaire

En ce qui concerne les impacts, les difficultés s'accroissent en raison de leur diversité et de leurs effets en cascade. Ainsi, l'impact de pesticides ou d'autres intrants agricoles sur la qualité des eaux souterraines fait l'objet de plusieurs développements (fig. 8). Toutefois, cet effet doit être considéré non seulement au niveau de la nappe phréatique, mais également à celui des diverses utilisations de cette eau. L'étude toxicologique est à réaliser sous tous ses aspects (toxicologie écologique et humaine) et non uniquement de manière sectorielle. Ce type de recherche, à composante pluri- et interdisciplinaire importante, doit cependant être considéré au même niveau que d'autres à caractère plus disciplinaire. Malheureusement, les réflexions menées dans de tels domaines n'obtiennent pas toujours la reconnaissance voulue auprès des instances de financement, en raison de

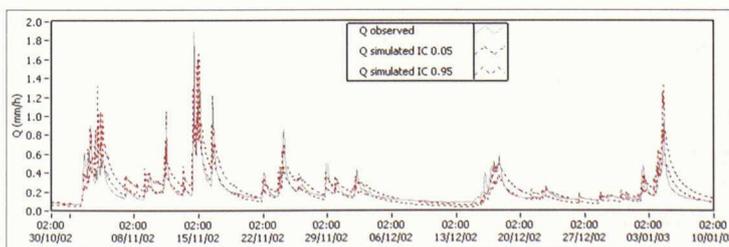
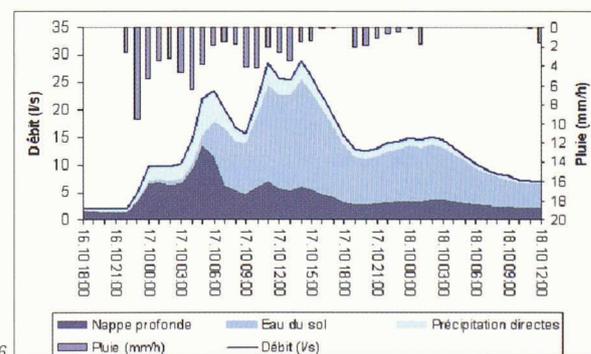
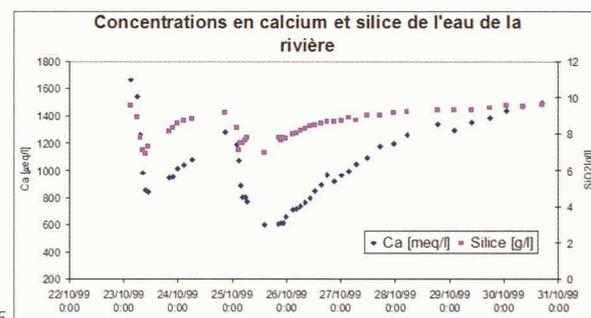
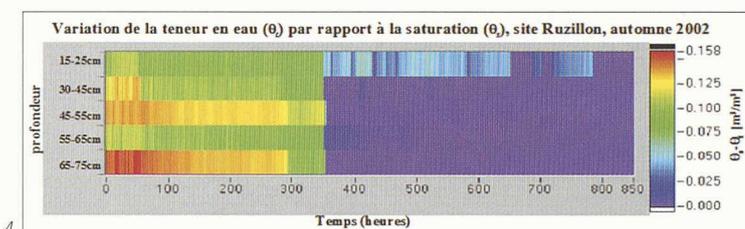
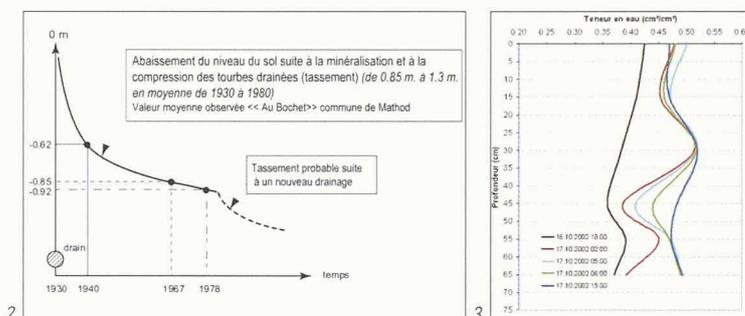


Fig. 8 : Prélèvement de colonnes de sol non remaniées pour essais de transport d'herbicides en laboratoire

Fig. 9 : Étendue de l'inondation et hauteurs maximales d'eau par simulation du débordement du Rhône (Modèle VERTIGE)

(Tous les documents illustrant cet article ont été fournis par l'auteur)



leurs caractères et orientations trop appliqués. Par ailleurs, ces études éminemment interdisciplinaires sont souvent défavorisées lors de leurs évaluations préalables, car considérées - à tort - moins scientifiques que celles qui se développent dans un seul domaine thématique et pointu.

### Lacunes à combler

Les actions et mesures à prendre pour optimiser l'utilisation de l'eau pour l'homme, la nature et la société et tenter d'en réduire les éventuels impacts, relèvent quant à elles essentiellement du domaine de l'ingénierie. Leur conception s'appuie certes sur les résultats de recherches à caractère fondamental ou appliqué, mais la réalisation d'aménagements résulte finalement d'un bon usage de la connaissance scientifique, de la technique et de l'expérience. Les études d'impact préalables liées à de tels aménagements restent cependant trop souvent modestes, faute de pouvoir s'appuyer sur des concepts et méthodes modernes d'analyse pas encore validés par la recherche.

A ces considérations, il convient d'ajouter les facteurs relevant de conditions externes au système, notamment des conditions climatiques qui, malheureusement, ne sont pas reproductibles. La connaissance de ces dernières n'est de loin pas maîtrisée et implique le développement de recherches essentielles, en particulier dans le domaine de l'évaluation spatio-temporelle de la distribution des précipitations. De grandes lacunes existent en effet dans ce domaine, guère compensées par des appréciations statistiques trop globali-

sées pour être vraiment représentatives. Complémentaire aux voies d'étude évoquées ci-dessus, la recherche dans cette orientation devrait être menée de manière intégrée, à l'échelle du comportement hydrologique global du bassin versant.

### Les travaux de l'HYDRAM

Le laboratoire d'Hydrologie et Aménagements (HYDRAM) de l'EPFL poursuit des recherches à caractère fondamental et à but finalisé dans plusieurs des directions précitées sur le bassin versant de la Haute-Mentue, au Nord de Lausanne. Ces recherches servent non seulement la science mais, à terme, la gestion des écoulements et des infrastructures, pour mieux contrôler, à titre d'exemple, les effets possibles de pollutions accidentelles sur le milieu naturel. A l'aide d'une instrumentation lourde et sophistiquée, d'un protocole précis régissant l'acquisition de données relatives au sol et de mesures systématiques depuis plus de quinze ans de grands hydro-météorologiques, l'HYDRAM vise à :

- mieux comprendre les processus d'écoulement de l'eau dans le sol et la contribution de chaque compartiment du sol au débit total de la rivière, à l'aide de traceurs isotopiques et chimiques (fig. 5 et 6);
- préciser, tester, voire développer des modèles de comportement (fig. 1) et apprécier leurs incertitudes à l'aide de méthodes mathématiques et statistiques élaborées;
- revisiter les concepts et relations fondamentaux des écoulements de l'eau dans les sols variablement saturés.

### Comprendre les précipitations

Dans un autre registre, il convient de signaler la nécessité de poursuivre des recherches sur la compréhension des champs de précipitations, afin de mieux quantifier les volumes d'eau tombée susceptibles de générer des écoulements importants. Cette problématique fort complexe mérite d'être étudiée en profondeur, car elle sert directement les efforts déployés pour réduire les effets des crues et les catastrophes naturelles qui en résultent. Les modèles climatiques régionaux fournissent des données spatialisées sur de très grandes régions qui doivent ensuite être adaptées aux conditions locales. La technique de désagrégation doit prendre en considération le relief et d'autres conditions telles que la température et la direction du vent notamment. Lorsque l'on songe à la morphologie de notre territoire alpin, là où les catastrophes naturelles sont les plus présentes, force est de conclure non seulement à la complexité des études à entreprendre, mais aussi à la nécessité de faire progresser nos connaissances dans ce domaine. De tels développements peuvent se réaliser de manière intrinsèque ou, mieux

encore, en combinaison avec les méthodes et modèles de transformation de la pluie en débit à l'échelle du bassin versant.

L'HYDRAM travaille dans cette perspective sur le contexte des Alpes valaisannes depuis plusieurs années et a développé des approches intéressantes et originales dans ce cadre. Les résultats obtenus ont permis d'établir des cartes de dangers potentiels aux abords du Rhône supérieur et moyen (fig. 9) et servent de base au dimensionnement des ouvrages de protection de cette rivière dans le cadre des travaux gigantesques actuellement entrepris pour sa correction. L'HYDRAM poursuit ses efforts dans ce domaine clé de la connaissance du risque hydrologique en tentant de modéliser les champs de pluies à partir de méthodes statistiques élaborées et de données de terrain acquises de manière traditionnelle et par radar météorologique.

### Appel

A la lumière des faits exposés ci-dessus, on se rend facilement compte de la nécessité et de l'urgence de poursuivre et d'accroître des recherches fondamentales et à but finalisé dans le domaine de l'eau, plus précisément dans celui de l'hydrologie du sol et de surface. Or, à l'heure des restrictions budgétaires générant une compétition de plus en plus aiguë, il convient de noter qu'il est plus difficile d'obtenir des soutiens financiers dans ce domaine, jugé souvent et à tort moins prioritaire. Nos autorités devraient être plus réceptives

à ce besoin et y répondre par des moyens spécifiques, comme elles le font d'ailleurs pour d'autres disciplines scientifiques.

En contrepartie, les chercheurs devraient davantage s'investir dans cette orientation, afin de réaliser des études de qualité servant au développement de nos sociétés. Seule une telle conjonction d'actions permettra de combler peu à peu les lacunes importantes qui demeurent dans ce domaine et rattraper le retard accumulé dans la connaissance de cet espace naturel « eau-sol » que nous côtoyons tous les jours et qui est fondamental pour notre vie et notre développement.

Prof. André Musy, dr. ing. dipl. génie rural EPFL  
Institut des Sciences et Technologies de l'Environnement (ISTE)  
Laboratoire d'Hydrologie et Aménagements (HYDRAM)  
ENAC-EPFL, Ecublens, CH - 1015 Lausanne

### Remerciements

Les appréciations exprimées dans cette communication sont basées sur l'expérience, forgée notamment au travers des nombreux projets de recherche, soutenus en partie par le Fonds national suisse de la recherche scientifique et réalisés par des collaborateurs et doctorants du laboratoire. Je tiens à remercier spécialement Mme Daniela Talamba Balin qui a mis à disposition la grande majorité des figures tirées de son travail de recherche sur les processus fondamentaux des écoulements de l'eau dans les sols et leur modélisation.

