

# Aperçu sur les approches utilisées dans la modélisation de l'écoulement de l'eau et du transport des solutés dans les sols

Revue Bibliographique

S. KANZARI <sup>1\*</sup>, H. SAHRAOUI <sup>1</sup>, S. BEN MARIEM <sup>1</sup>, R. ILAHY <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institut National de Recherche en Génie Rural, Eaux et Forêts, Rue Hédi Karray Ariana, Tunisie.

<sup>2</sup> Institut National de Recherche Agronomique de Tunis, Rue Hédi Karray Ariana, Tunisie.

\*Corresponding author: sabri.kanzai@gmail.com

**Abstract** - In countries where water shortages, poor quality of its waters and its soils are pronounced. The study of natural resource pollution risks is done through the use of numerical models. In this bibliographic review we present the main modeling approaches used for simulating water flow and solute transport in the soil and the various advantages and limitations of these models.

**Keywords:** Soil, Numerical models, Bibliographic Review.

**Résumé** - Dans les pays où les problèmes de pénurie d'eau existent et où la qualité des eaux et des sols est souvent médiocre. L'étude des risques de pollution des ressources naturelles passe par l'utilisation de modèles mathématiques. Dans cette revue bibliographique, on présente les principales approches de modélisation utilisées pour la simulation de l'écoulement de l'eau et du transport des solutés dans les sols ainsi que les différents avantages et limites de ces modèles.

**Mots clés:** Sol, modèles numériques, revue bibliographique.

## 1. Introduction

Les interactions complexes dans la zone non saturée entre le mouvement de l'eau, la salinité, les cultures, la qualité de l'eau et des possibilités de recyclage en fonction des conditions géo-hydrologiques et de drainage, ne peuvent plus être appréciées par de simples concepts de solutions analytiques et des abaques de la FAO (Bastiaanssen et al., 2007). Les solutions à ces problèmes nécessitent le recours à des modèles numériques pour résoudre à la fois les phénomènes de transport de l'eau et des solutés.

Comme dans de nombreux domaines, en sciences des sols, l'élaboration et l'utilisation de modèles se sont développées de manière spectaculaire depuis quelques années (van Genuchten et Simunek, 2004). Ces modèles ont pour objectif de simuler les transferts au sein du profil et/ou l'évolution de la composition chimique de la solution du sol sous l'effet d'une concentration voire d'une dilution (Cherbuy, 1991). La modélisation des phénomènes de salinisation comporte plusieurs étapes:

- L'acquisition de données à diverses échelles d'espace et de temps;
- Le dépouillement des résultats et la mise en évidence d'un certain nombre de mécanismes ;
- La modélisation des mécanismes observés : ceci conduit à fixer leur importance relative puis à vérifier si la combinaison de ces mécanismes permet à elle-seule de décrire les résultats expérimentaux ;
- Enfin, l'utilisation du modèle à des fins pratiques ; cette dernière étape représente la simulation des phénomènes mais elle nécessite préalablement, un certain nombre de données physiques et chimiques.

## 2. Approches de modélisation

### *Modèles déterministes mécanistes*

Les modèles déterministes mécanistes supposent que le système se comporte de telle façon que l'apparition d'une série de donnée d'évènements conduit toujours au même résultat (Vauclin, 1994). Ils prennent en compte les mécanismes physiques actuellement connus. Ce sont essentiellement des



outils de recherche permettant de tester des hypothèses ou de mieux comprendre les processus mis en jeu. Les phénomènes de salinisation sont liés à l'écoulement de l'eau et aux transferts des solutés dans le sol, à la composition de la solution et son évolution sous l'effet d'une concentration, aux phénomènes d'échanges sur le complexe adsorbant, à l'absorption d'eau et de sels solubles par les plantes et à l'existence de phénomènes biologiques. Chacun de ces phénomènes doit être pris en compte par un sous-modèle. Bastiaanssen et al., (2007) ont regroupé les modèles déterministes en modèles à réservoir, des modèles fonctionnels pseudo-dynamiques, des modèles déterministes basés sur la résolution de l'équation de Richards, des modèles sol-végétation-atmosphère, des modèles multidimensionnels de drainage et des modèles agronomiques qui incluent les cultures et leurs rendements. La plupart de ces modèles sont conçus pour un processus particulier. Chaque modèle a ses points forts, ses faiblesses et ses données d'entrée spécifiques. Un modèle universel pour tous les processus n'existe pas (Kanzari et al., 2012). C'est pour cette raison qu'il faut choisir le modèle adapté aux types de problèmes à résoudre. Ils comportent trois étapes (Kanzari et al., 2016) : la formulation mathématique des processus retenus, la définition des conditions initiales et aux limites et la résolution des équations.

### ***Modèles déterministes fonctionnels***

Contrairement aux modèles précédents, essentiellement basés sur la notion de vitesse ou flux de matière, les modèles dits fonctionnels sont du type capacitif : le sol est assimilé à un réservoir défini par deux humidités caractéristiques, le point de flétrissement et la capacité au champ (Vauclin, 1994). La formulation mathématique de ces modèles est généralement simple. Elle exige peu de données et elle est facile à résoudre (Mermoud, 2007 ; Harter et Hopmans, 2004). Les modèles à réservoir font partie des modèles fonctionnels. D'après Cherbuy (1991), dans ces modèles, les phénomènes de transport et leur traduction mathématique ne sont pas explicitement pris en considération. Ils reposent fréquemment sur la notion de la « capacité de rétention » : le sol est découpé en différents réservoirs superposés, de capacité de rétention différente. Si un réservoir présente une humidité supérieure à la capacité de rétention, l'eau s'écoule dans le réservoir suivant. Cette capacité détermine donc l'écoulement et sa valeur doit être connue pour chaque réservoir.

### ***Modèles stochastiques***

Dans ces modèles stochastiques, les paramètres du sol et d'autres données sont introduits sous forme de variables aléatoires décrites par des fonctions densités de probabilité (FDP). Les résultats de ces modèles sont donc également exprimés sous forme de FDP (Mermoud, 2007 et Harter et Hopmans, 2004). D'après Vauclin (1994), une telle approche fournit un cadre conceptuel promoteur et très intéressant pour évaluer les effets de variabilité. Elle présente l'avantage d'exprimer la solution d'un problème d'écoulement en terme probabiliste, donc de risques d'où son intérêt pratique pour l'aménageur et le décideur. Néanmoins, elle doit être considérée comme une tentative d'appréhension des impacts de la variabilité sur les transferts couplés eau-éléments chimiques (Harter et Hopmans, 2004) dans la mesure où elle repose sur certaines hypothèses peu ou pas encore suffisamment validées expérimentalement.

## **3. Avantages et Limites des modèles numériques**

### ***Avantages***

Les modèles numériques utilisés dans la simulation du mouvement de l'eau et du transport des solutés permettent de simuler la dynamique de l'eau dans le sol malgré l'hétérogénéité de l'écoulement due essentiellement à la variation de la conductivité hydraulique entre les couches du sol (Bastiaanssen et al., 2007). En outre d'après D'Urso (2001) et Pachepsky et al. (2004), les modèles numériques peuvent être ajustés avec des mesures in situ (capteurs d'humidité du sol, de l'évapotranspiration ...) pour leur calibrage. Ils offrent aussi la possibilité de varier les paramètres des modèles et de voir les résultats permettant de mieux comprendre les phénomènes de transfert. La simulation de différents scénarios représente une solution alternative pour la gestion des ressources en eau et offre la possibilité d'identifier la meilleure stratégie de gestion (Vanclooster et al., 2004). Enfin, le nombre important de modèles disponibles facilite le choix approprié pour chaque problème à résoudre (Bastiaanssen et al., 2007).

### **Limites**

L'hypothèse d'un écoulement monodimensionnel est acceptable dans le cas de zones planes recevant l'eau de pluie et une irrigation par submersion. Les mouvements de l'eau sont alors essentiellement verticaux. Cependant, en présence d'une pente, il faut tenir compte des transferts latéraux (Cherbuy, 1991). En plus, selon D'Urso (2001) et Pachepsky et al. (2004), l'hypothèse d'une humidité et d'un flux constant dans le temps pour la couche supérieure est très éloignée de la réalité car la majeure partie des sols salés est soumise à une alternance de périodes de dessèchement et de périodes d'humectation par les pluies ou par l'irrigation. Contrairement aux conditions des limites supérieures, les conditions aux limites inférieures n'ont pas connu le même progrès et demeurent peu développées (D'Urso, 2001). D'après Bastiaanssen et al. (2007), les modèles numériques contiennent un nombre élevé de paramètres dont certains sont difficiles à déterminer ce qui ne permet pas un ajustement adéquat avec les données réelles et offre des possibilités multiples de calibration. D'autres phénomènes sont négligés:

- On suppose les conditions isothermes : l'eau d'irrigation a une température égale à celle du sol et l'ensemble du profil a la même température. En réalité, des écarts de température nettement supérieurs à 15°C peuvent être observés entre le jour et la nuit surtout dans les 25 premiers centimètres du sol (Valles, 1988). Ces variations peuvent entraîner une modification des caractéristiques hydrodynamiques du sol.
- Le gonflement de certains sols argileux responsable de la variation de l'espace poral et la présence de macropores cylindriques ou de fissures verticales qui favorisent la percolation en profondeur (Cherbuy, 1991).
- La présence de l'air dans la matrice du sol qui bloque l'écoulement de l'eau et la prise en compte des phénomènes d'hystérèse liés aux alternances d'humectation-dissection (Kanzari et al., 2012 ; Pachepsky et al., 2004).
- D'après Vauclin (1994), les modèles de transfert d'eau globaux qui ne prennent en compte l'existence d'une phase d'eau immobile sont peu adaptés aux sols argileux contrairement aux modèles à deux phases.
- La variabilité spatiale des propriétés hydrodynamiques n'est pas non plus représentée (Wesseling, 2009). Le sol est découpé en fractions horizontales au sein desquelles les coefficients hydrodynamiques restent invariants (D'Urso, 2001).

### **4. Conclusion**

Le recours aux modèles mathématiques pour décrire les processus étudiés en physique du sol est devenu courant. Un modèle est toujours une représentation simplifiée de la réalité (Mermoud et al., 2005) et le but essentiel du modèle est la prévision à travers la multiplication des scénarii simulés. C'est d'ailleurs, à travers la précision de la prévision qu'on peut juger la validité du modèle. Lorsque les résultats escomptés ne sont pas obtenus, le modèle doit être affiné, voire même complètement réétudié (Suarez et Simunek, 1997; Gonçalves et al., 2006). Quand les prévisions sont confirmées par l'expérimentation, le modèle est considéré représentatif. Cela ne signifie pas forcément que les lois mathématiques utilisées reflètent les processus physiques impliqués dans le phénomène étudié mais seulement que le modèle est capable de fournir, avec la précision souhaitée, des résultats conformes aux valeurs observées. Dans de nombreux cas, le modèle facilite et améliore la compréhension des systèmes réels. Toute tentative de modélisation doit, dans la mesure du possible, être associée à des mesures et à des investigations de terrain.

### **5. Références Bibliographiques**

- Bastiaanssen W.G.M, Allen R.G, D'Urso G, Steduto P (2007)** Twenty-five years modelling irrigated and drained soils : State of the art. *Agricultural Water Management* 92: 111-125.
- Cherbuy B (1991)** Les sols salés et leur réhabilitation : Etude bibliographique. Cemagref, France : 150 pages.
- D'Urso G (2001)** Simulation and management of on-demand irrigation systems: a combined agro-hydrological approach. PhD Thesis Wageningen University, Netherlands.
- Gonçalves M.C, Šimunek J, Ramos TB, Martins J.C, Neves M.J, Pires F.P (2006)** Multicomponent solute transport in soil lysimeters irrigated with waters of different quality, *Water Resources Review*: 42-17 p.
- Harter T, Hopmans J.W (2004)** Role of vadose-zone flow processes in regional-scale hydrology: review, opportunities and challenges. *Unsaturated Zone modelling: Progress, Challenges and Applications*, Frontiers Ser., vol 6., edited by Feddes R.A., Fooji G.H. et van Dam J.C.: 145-178.

- Kanzari S, Hachicha M, Bouhlila R, Battle-Sales J (2012)** Characterization and modeling of water movement and salts transfer in a semi-arid region of Tunisia (Bou Hajla. Kairouan)- Salinization risk of soils and aquifers. *Computers and Electronics in Agriculture* 86: 34-42.
- Kanzari S, Ben Mariem S, Sahraoui H (2016)** A Reduced Differential Transform Method for Solving the Advection and the Heat-like Equations. *Physics Journal 2 (2)*: 84-87.
- Mermoud A, Tamini T.D, Yacouba H (2005)** Impact of different irrigation schedules on the water balance components of an onion crop in semi-arid zone. *Agricultural Water Management* 77: 282-295.
- Mermoud A (2007)** Dynamique de l'eau dans le sol. Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, Suisse : 47 pages.
- Pachepsky Y.A, Smettem K.R.J, Vanderborght J, Herbst M, Vereecken H, Wösten J.H.M (2004)** Reality and fiction of models and data in soil hydrology. *Unsaturated Zone modelling: Progress, Challenges and Applications*, Frontis Ser., vol 6., edited by Feddes R.A., Fooji G.H. et van Dam J.C.: 145-178.
- Suarez, D.L, Šimůnek J (1997)** UNSATCHEM: Unsaturated water and solute transport model with equilibrium and kinetic chemistry. *Soil Science Society of America Journal* 61: 1633-1646.
- Vanlooster M, Boesten J, Tiktak A, Jarvis N, Kroes J.G, Muñoz-Carpena R, Clothier B.E, Green S.R (2004)** On the use of unsaturated flow and transport models in nutrient and pesticide management. *Unsaturated Zone modelling: Progress, Challenges and Applications*, Frontis Ser., vol 6., edited by Feddes R.A., Fooji G.H. et van Dam J.C.: 331-361.
- Valles V (1988)** Modélisation du transfert d'eau et de sels dans un sol argileux. Application au calcul des doses d'irrigation. Mémoire, Université de Louis Pasteur Strasbourg, Institut de Géologie, France.
- Vauclin M (1994)** Modélisation du transport de solutés dans la zone non saturée du sol. *Revue des sciences de l'eau* 7: 81-102.
- Wesseling J.G (2009)** Soil physical data and modeling soil moisture flow. Ph.D.-thesis Wageningen UR, Netherlands: 1