

# Modélisation de l'absorption de l'eau et des nutriments par les racines des plantes

Pierre-Henri TOURNIER

Laboratoire Jacques-Louis Lions

tournier@ljl.math.upmc.fr

Afin de développer une agriculture durable et respectueuse de l'environnement, en reconsidérant notamment les méthodes de fertilisation, il est nécessaire de comprendre les mécanismes de l'absorption d'eau et de nutriments par les racines des plantes.

Dans ce travail [1], on se propose de modéliser le transport et l'absorption de l'eau et des nutriments par les racines des plantes en prenant explicitement en compte la géométrie du système racinaire, afin d'étudier l'influence du type et de la morphologie du système racinaire sur sa capacité d'absorption.

Le modèle eau est comparable à [2]. Ici, on développe une nouvelle approche qui tire avantage de la flexibilité de l'adaptation de maillages éléments finis non structurés, outil adapté à la géométrie complexe d'un système racinaire, dans le but de capturer les phénomènes à petite échelle comme la perte de conductivité hydraulique locale au voisinage de l'interface sol-racine.

On considère que le système racinaire est composé de segments de racine cylindriques. On peut alors le représenter comme un ensemble de noeuds interconnectés formant un réseau de segments.

L'équation de Richards, ici exprimée avec le potentiel de pression  $h$ , modélise les transferts de l'eau dans le sol  $\Omega$  :

$$\partial_t(\theta(h)) - \nabla \cdot (K(h) \nabla (h + z)) = S \quad \text{in } [0, T] \times \Omega.$$

Cette équation fait intervenir la teneur en eau  $\theta$  et la conductivité hydraulique  $K$ . Les quantités  $h, \theta$  et  $K$  sont liées par des relations empiriques qui dépendent du type de sol considéré.

Le modèle eau consiste à définir les flux radiaux (absorption par la racine) et axiaux (transport à l'intérieur du système racinaire) sur le réseau de segments, puis à coupler les flux radiaux au modèle 3D du sol au moyen d'un terme puits  $S$  dans l'équation de Richards. Le terme puits est construit par l'intermédiaire de la fonction caractéristique du système racinaire, représentative de sa géométrie.

L'évolution de la concentration  $c$  d'un nutriment  $N$  dans la solution du sol est gouvernée par une équation de transport-diffusion :

$$\partial_t(\theta c + \varphi(c)) - \nabla \cdot (A \nabla c - qc) = S_c \quad \text{in } [0, T] \times \Omega,$$

où  $A$  est le coefficient de diffusion,  $q$  est le flux de Darcy,  $\varphi$  est un isotherme d'adsorption et  $S_c$  est un terme puits représentant l'absorption par la racine (suivant un formalisme de type Michaelis-Menten), construit de manière similaire à  $S$ .

La procédure d'adaptation de maillage consiste à utiliser la fonction caractéristique du système racinaire pour construire un champ de métrique qui pilote l'adaptation du maillage. Ainsi, le maillage est raffiné au voisinage de la racine, ce qui permet de représenter correctement la fonction caractéristique ainsi que les phénomènes à petite échelle intervenant au voisinage de la racine.

Si l'on considère des systèmes racinaires complexes, cette approche conduit à des problèmes discrets de grande taille. Aussi, afin de conserver un temps de calcul raisonnable, on utilise une méthode parallèle de décomposition de domaine avec recouvrement de type Schwarz.

L'implémentation numérique est réalisée avec FreeFem++. Quelques exemples numériques illustrent le modèle.

## Références

- [1] P.-H. TOURNIER, F. HECHT, M. COMTE, *Finite element model of soil water and nutrient transport with root uptake: explicit geometry and unstructured adaptive meshing*, Transport in Porous Media (2014).
- [2] C. DOUSSAN, A. PIERRET, E. GARRIGUES, L. PAGÈS, *Water Uptake by Plant Roots: II - Modelling of Water Transfer in the Soil Root-system with Explicit Account of Flow within the Root System - Comparison with Experiments*, Plant and Soil 283(1-2), 99-117 (2006).