

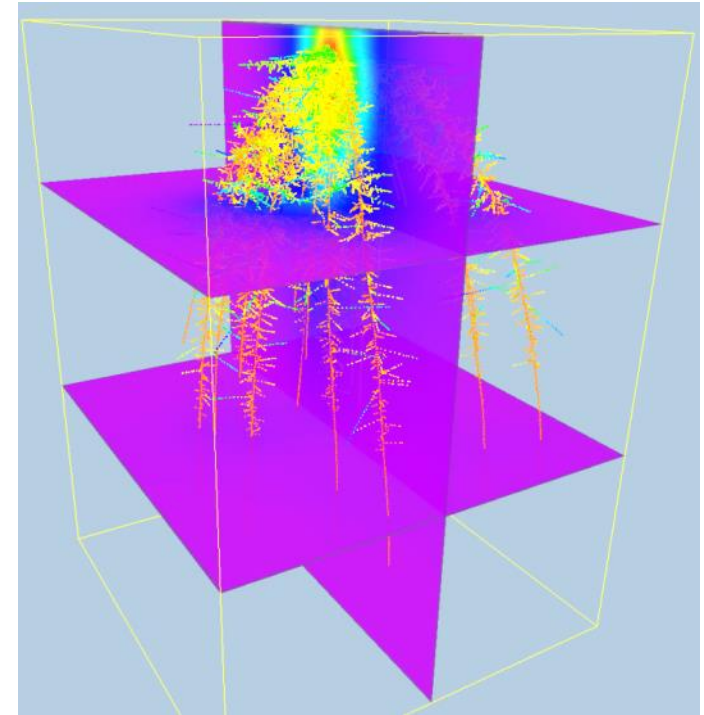
Modèles de transfert dans les sols et d'interaction sol-plante

Claude Doussan

Et l'équipe **SWIFT - EMMAH**

(Soil, Water Interactions and transFer Team)

Séminaire Modélisation: LMA- TERSYS



Environnement **M**éditerranéen et
Modélisation des **A**gro-**H**ydrosystèmes



Environnement Méditerranéen et Modélisation des Agro-Hydrosystèmes

5 équipes (~65 permanents)

E1 DREAM

Analyse et modélisation de la production agricole, du bilan hydrique, des changements d'usage des sols à l'échelle territoriale

E2 SWIFT

Evaluation biophysique des fonctions environnementales des sols agricoles (alimentation des plantes, régulation des flux)

Développement de **connaissances** et **outils opérationnels** pour évaluer les impacts des changements globaux (eau) sur le fonctionnement des agro-hydrosystèmes

E3 HYDRO

Méthodes de traçages et géophysiques pour l'analyse, l'évaluation et la prévision de l'état des aquifères

E4 TWICS

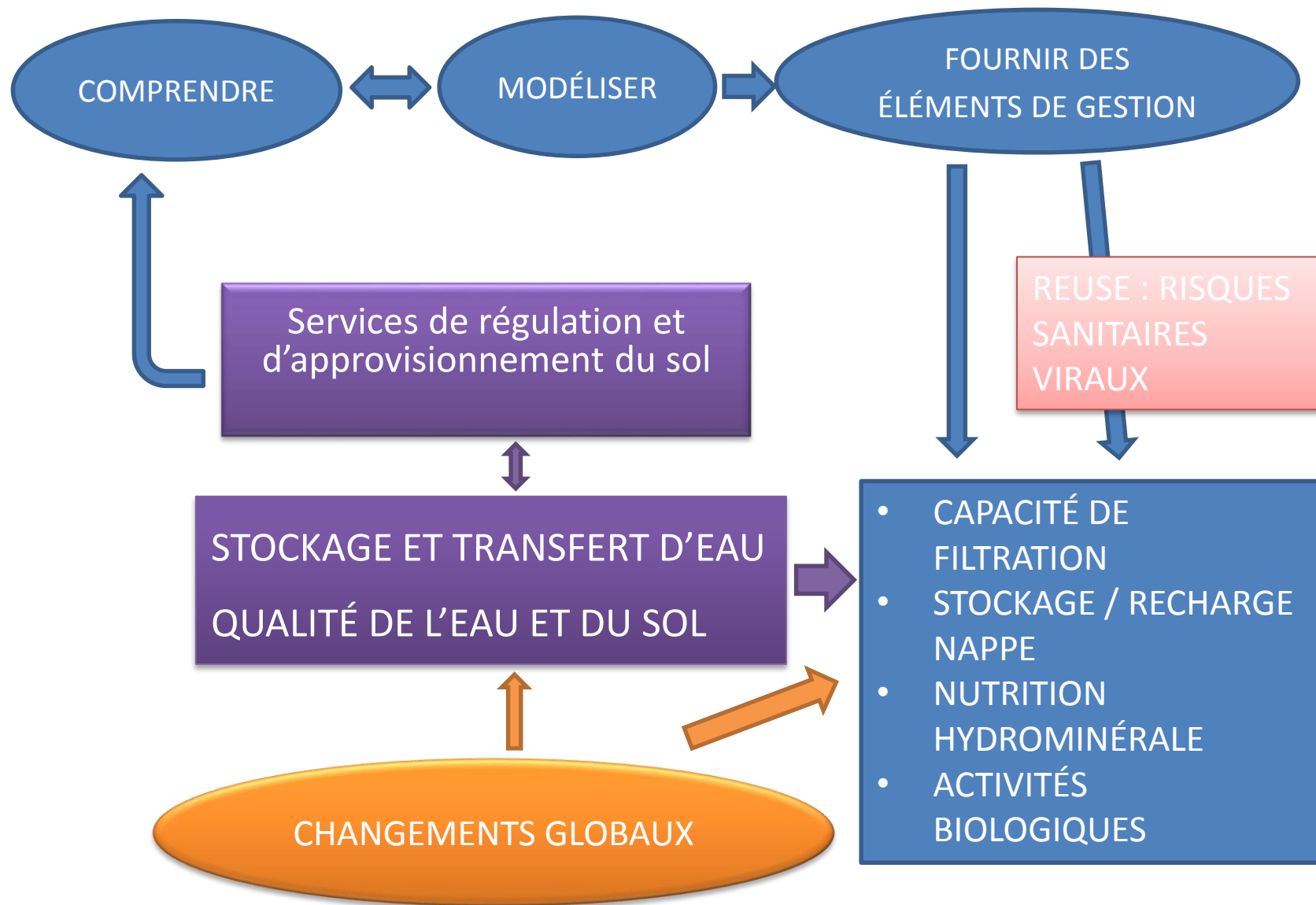
Analyse et modélisation des processus physiques impliqués dans le transport de matière et l'imagerie dans les milieux poreux.

E5 CAPTE (UMT)

Capteurs sans contacts et méthodes pour la caractérisation et le suivi des variables biophysiques des cultures

Développements outils-méthodes / Expérimentation / Modélisation / Simulation / Inversion

EQUIPE SWIFT: NOS FINALITÉS

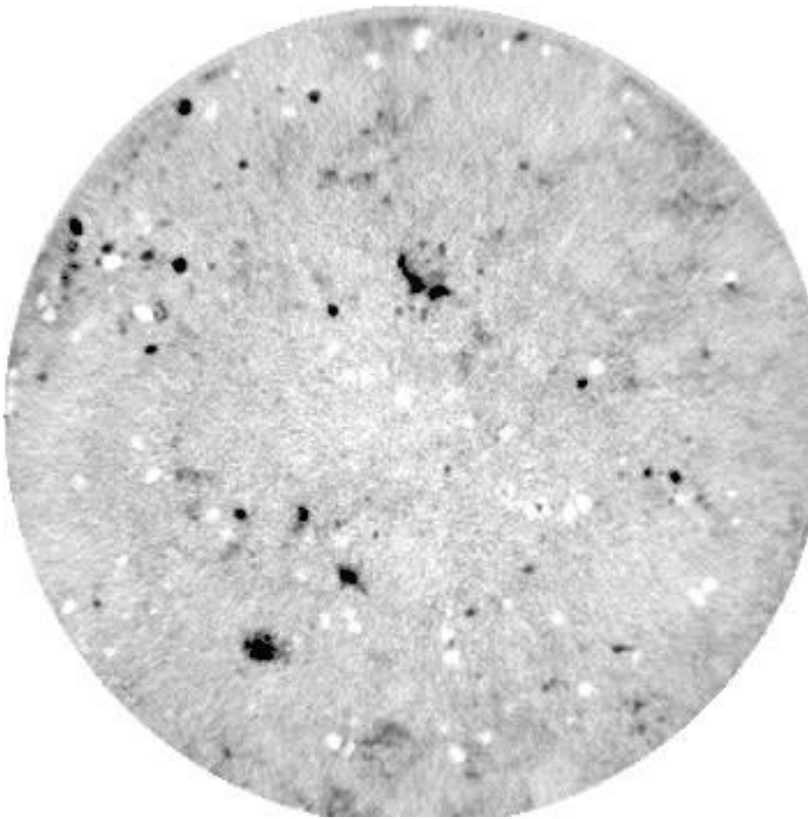


La modélisation dans SWIFT

Sol = milieu de stockage/transfert support d'interactions (biologique / chimique / physique) et hétérogène

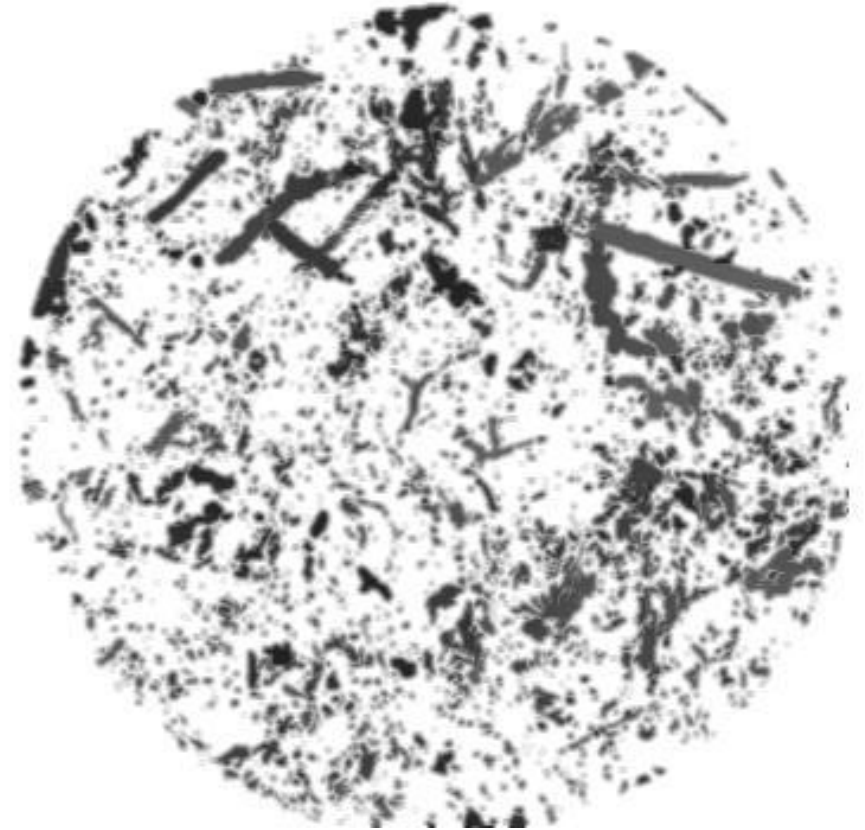
- ↳ Méthodes d'investigation interne (imagerie – analyse image /modélisation signal)
- ↳ Description (physique / chimique / biologique) des processus => modèles
- ↳ Couplage des processus

Hétérogénéité et Eau: couplage transferts diffusifs - préférentiels



Sequence of X-ray micro-CT images

10 mm



Corresponding porosity

Images from H.J. Vogel, UFZ Leipzig

Différentes approches dans EMMAH (cf exposé M. Joelson)

Hétérogénéité: couplage transferts diffusifs - préférentiels

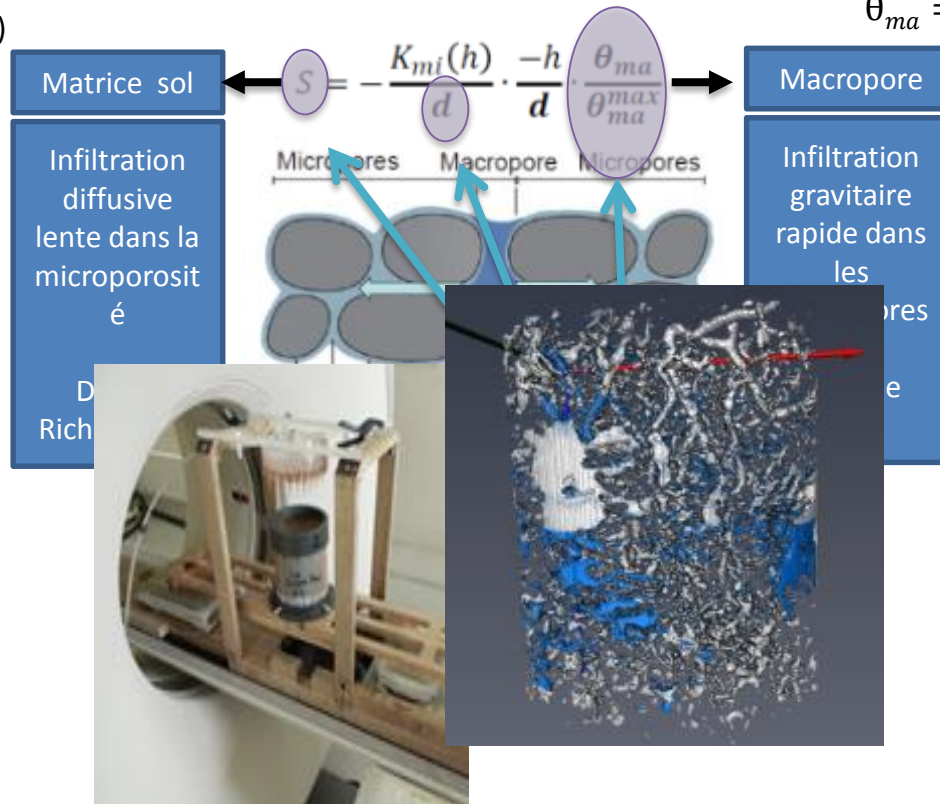
$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = c(h) \frac{\partial h}{\partial t} = \text{div} [K(h) \text{grad}(h + z)] - S$$

(Eq. Darcy-Richards)

$$\frac{\partial u}{\partial t} = a(u) \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} - b(u) \frac{\partial u}{\partial z} - S,$$

$$\theta_{ma} = \alpha u^\beta$$

(Eq. Onde cinématique dispersive)



Liens paramètres équations et imagerie fonctionnelle structure/écoulement?
 Quelle description statistique des pixels « eau » en imagerie RX? quels apports
 théorie percolation ou autre ?

Autres processus et approches (transferts, milieu hétérogène) => exposé M.
 Joelson

Couplage sol-système racinaire – prélèvement hydro-minéral

Approche =

***Modèles d'architecture
fonctionnelle***

Système racinaire :

Architecture et fonctions biologiques
(prélèvement / transport / régulations...)

+

Sol :

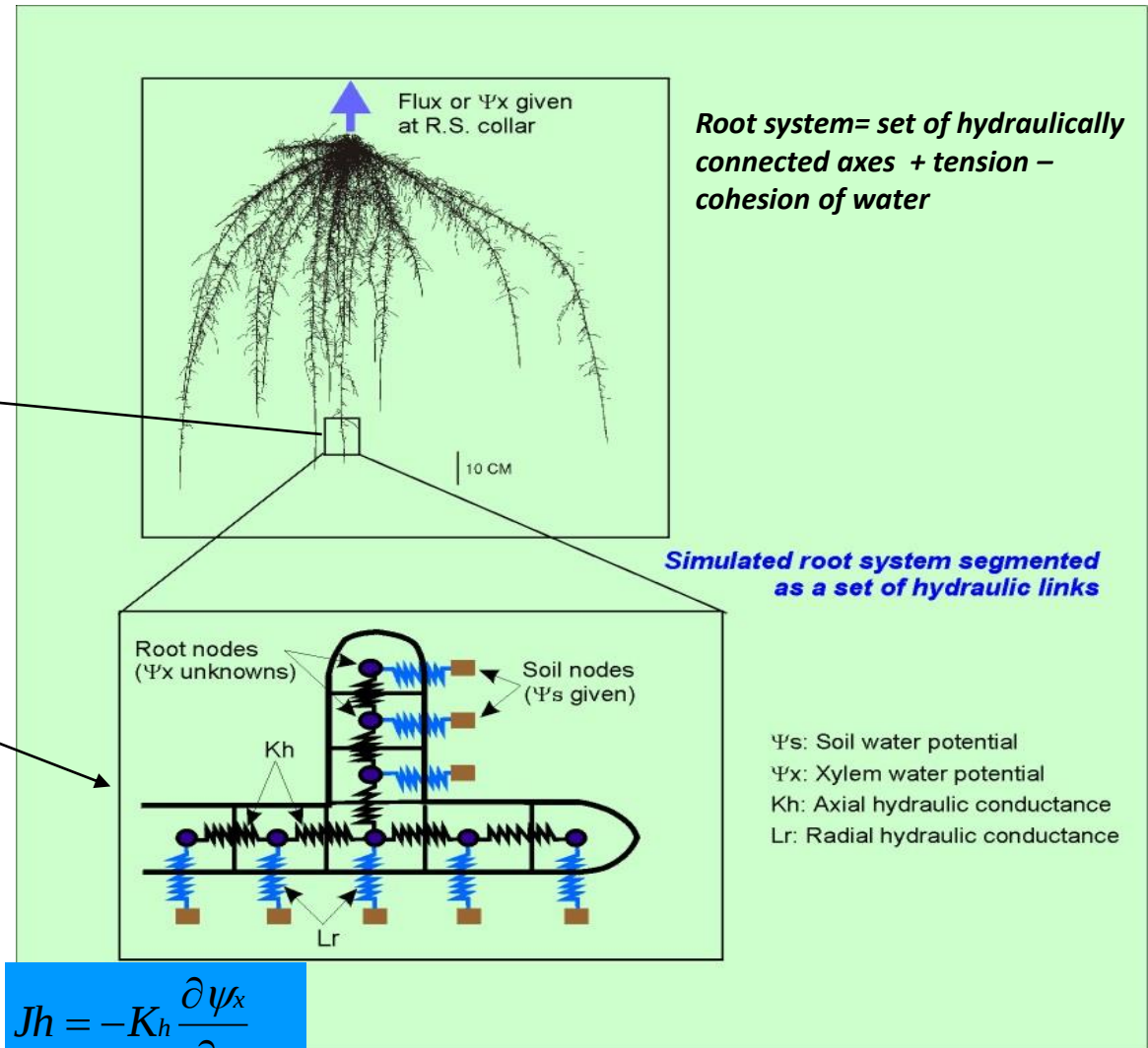
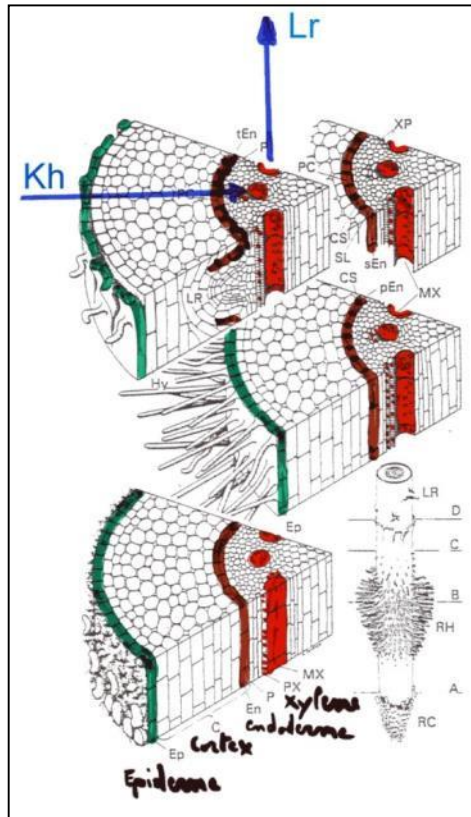
- Hétérogénéité des ressources du sol (eau, éléments minéraux)
- Transferts interactifs sol- plante (non linéaire)
- Biogéochimie

Permet de traduire de façon biologiquement/physiquement fondée :

- les processus de croissance, de développement et géométrie du système racinaire et de ses interactions
- en prélèvement du système racinaire et en efficience d'exploitation des ressources sol
- Du local (racine) au global (système racinaire).
- Echelle individu centré (=> population)

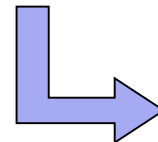
Functional root architecture model: Water uptake

- Root architecture model (Pagès, 2004)
- Water uptake/transfer model



$$J_h = -K_h \frac{\partial \psi_x}{\partial z}$$

$$J_r = L_r \cdot (\psi_x - \psi_s)$$

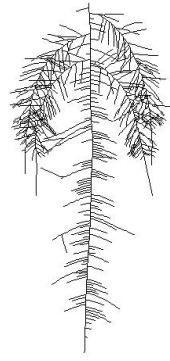


$$\bar{C} \cdot \bar{\Psi}_x = \bar{Q}$$

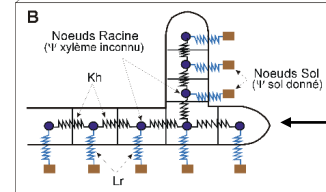
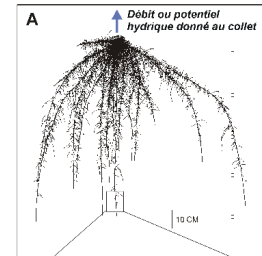
Modelling functional root systems in soils :

Coupling soil water transfer and with root uptake and transport

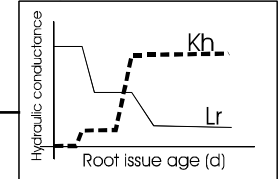
Architectural model



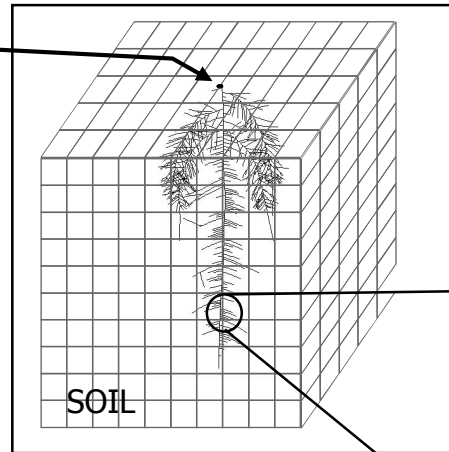
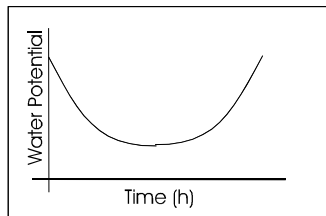
Hydraulic model of the root system



Root Hydraulic conductances



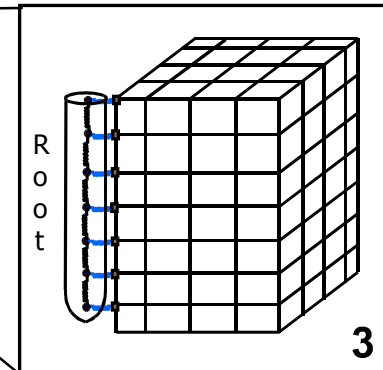
Imposed water potential or transpiration,



Soil water flow model
(Non linear Darcy Richards eq.)

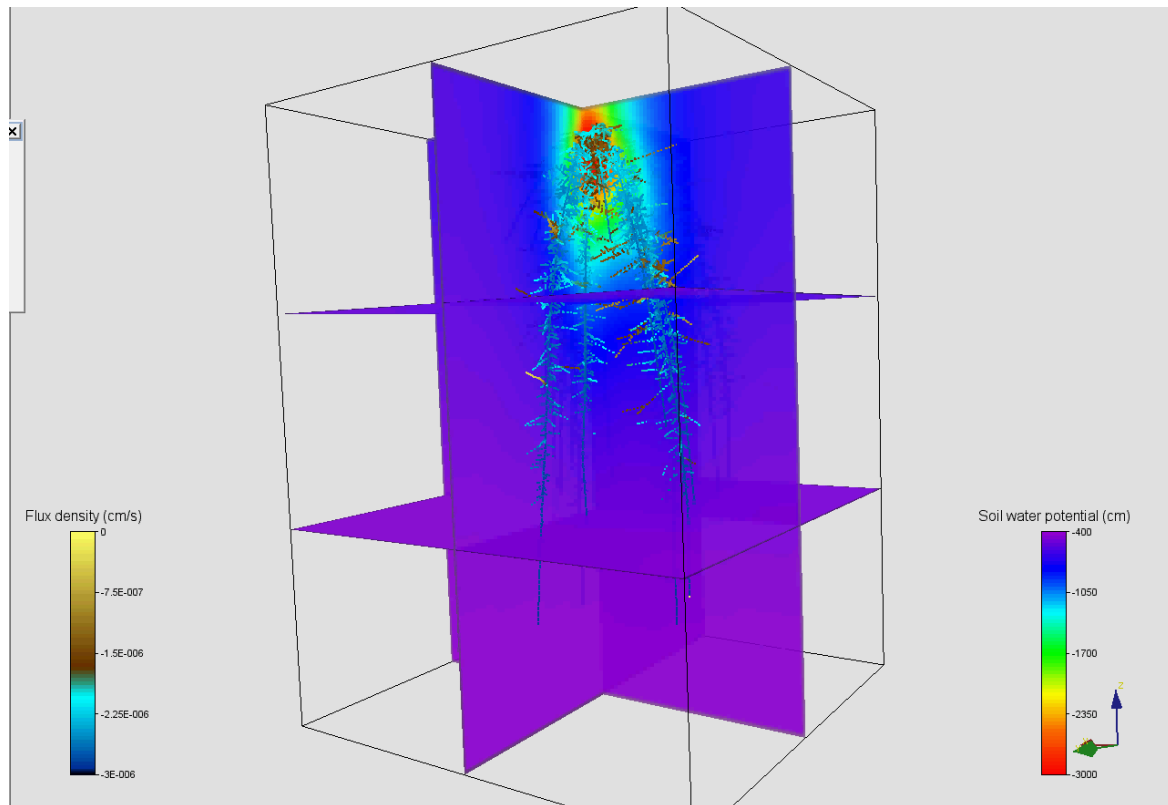
$$c(h) \frac{\partial h}{\partial t} = \text{div} [K(h) \text{grad}(h + z)] - S$$

3D soil finite-element grid



Soil – root coupling:
 $Q_{\text{soil}} = Q_{\text{root}}$

Couplage sol-système racinaire – prélèvement hydrique



Permet étude effets de traits d'architecture racinaire sur prélèvement et son efficience

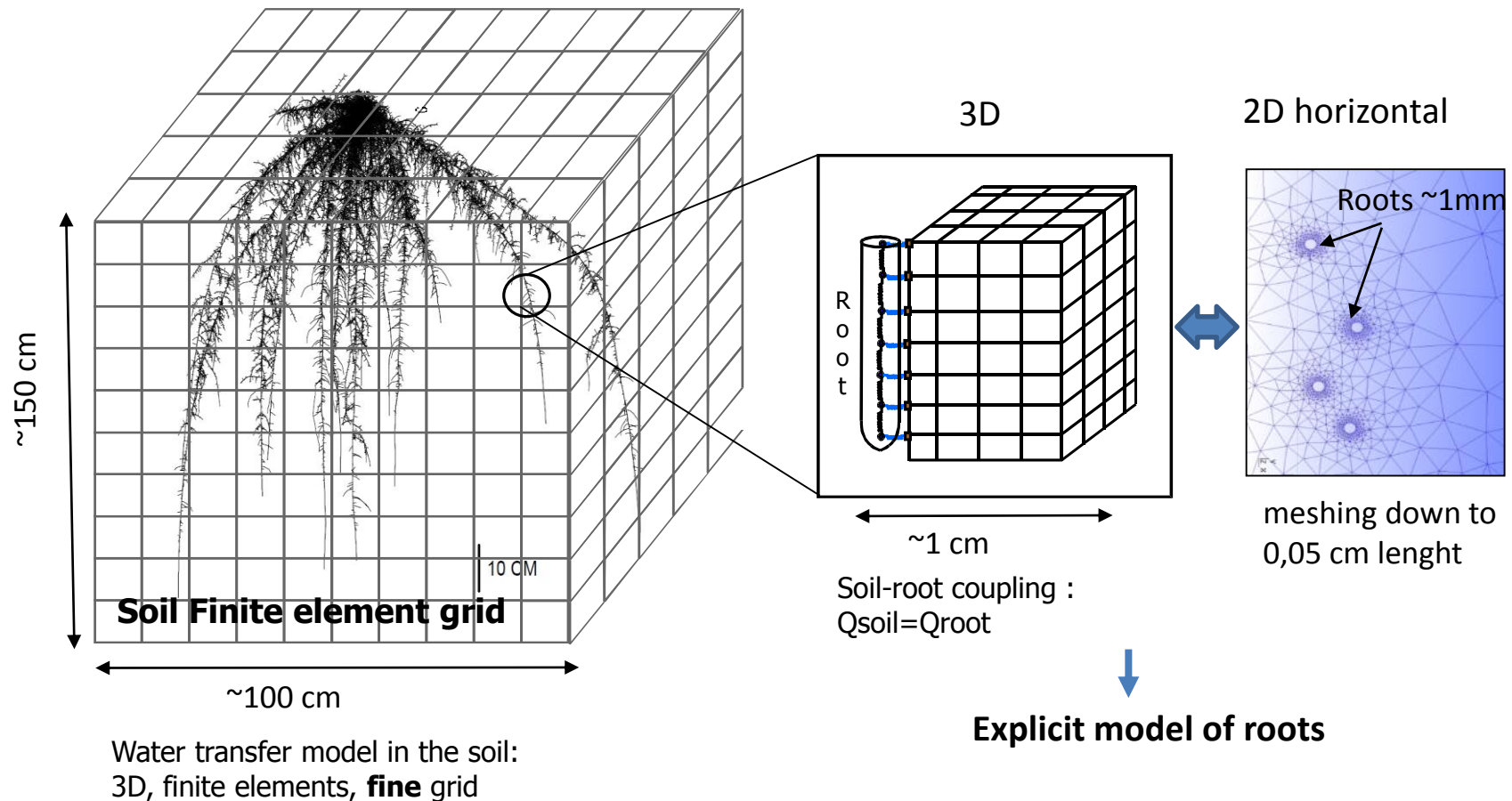


Phénotypes
Idéotypes

En relation avec déficits/sol/climat

Modelling soil-roots processes at root system scale: A problem ?

Scale problem: Solving water transfer in soil with Darcy-Richards => fine soil meshing adapted to plant roots to describe local microscopic gradients around single root

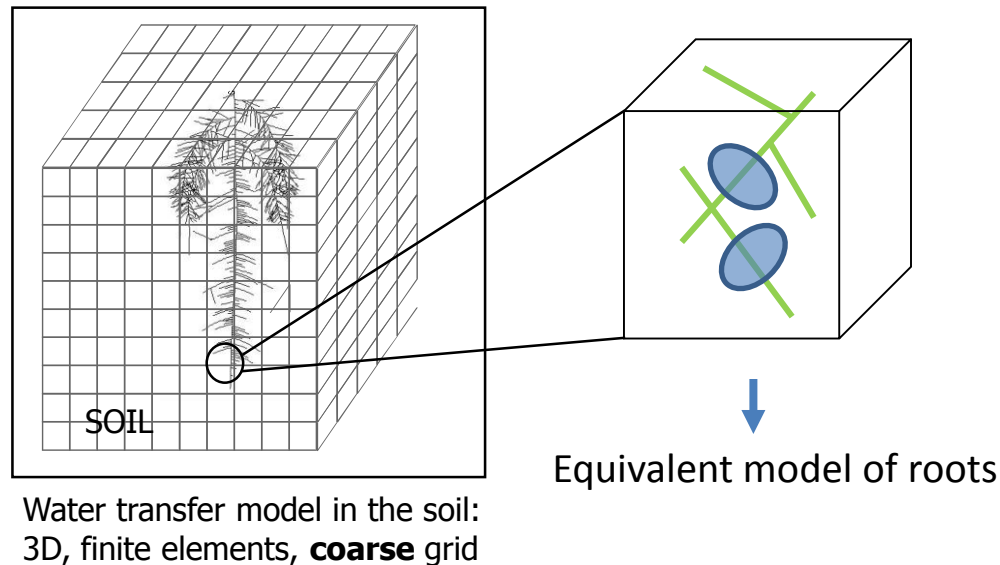


- Problems :**
- Ratio root system/root size scale $\sim 1-5 \cdot 10^3$ = scale misfit
 - Nearly impossible to mesh large, mature root systems and don't allow for growth
 - Huge calculation burden/time for fine meshing of large 3D soil volumes !

Coupling soil-roots processes: Equivalent microscopic-macroscopic modelling and root-root interactions

The case of water

A possible solution : coarse soil meshing, not related to plant geometry, local microscopic gradients and interactions around single root described by an equivalent function



Solution :

Scaling up root microscopic processes at soil root interface at the voxel size (= a few cm^3)

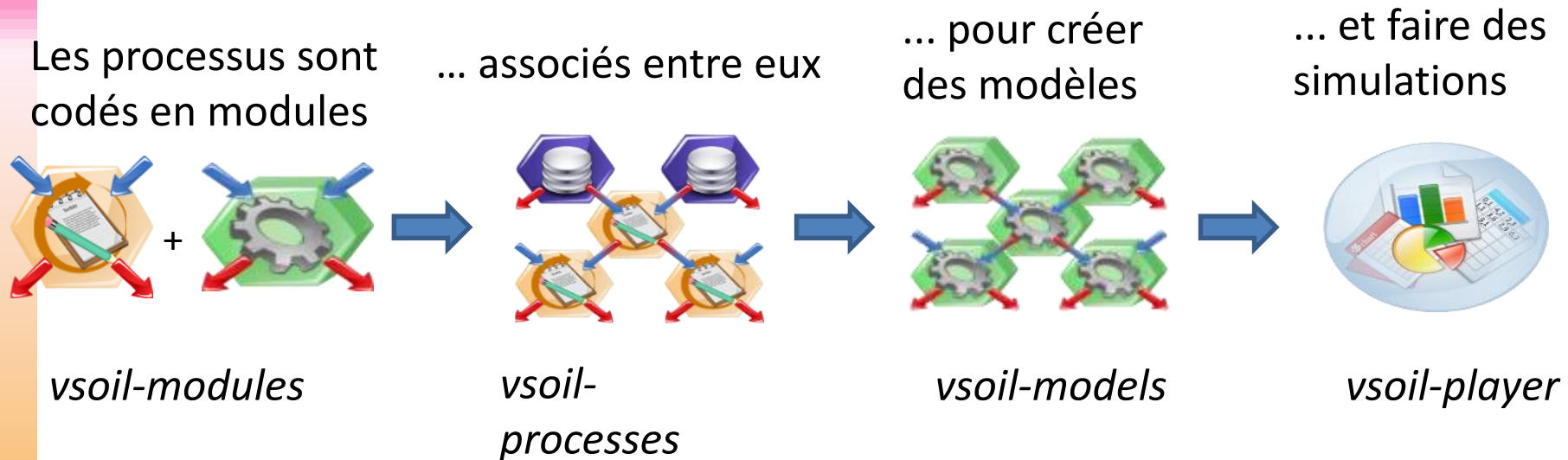
Derivation and implementation of analytical transfer functions for the microscopic – macroscopic scaling of root soil gradients

- ↳ Water content and potential at root soil interface of each root
- ↳ Bulk soil water content and potential from FEM calculation on coarse grid

Extension au transfert solutés ? => Equation de convection – dispersion ?

VSoil: plateforme de couplage des processus sols

VSoil: une plateforme informatique / numérique pour la modélisation des processus physiques/biologiques/chimiques dans une colonne de sol



... Central dans l'équipe pour coupler des processus / modèles ; intégration outils analyse sensibilité, inversion ; bases données

Inversion / sensibilité...

Besoins en analyse de sensibilité et d'optimisation (inversion) multi-paramètres dans les modélisations

➡ Utilisateurs d'outils existants (eg FAST, Simplex, DREAM - bibliothèques)

➡ Applications:

- modèles de cultures (paramètres sol ou plante), modèles transfert
- définition de configuration expérimentale optimale dans une optique d'identification des paramètres du modèle puis inversion paramètres sur résultats de cette configuration expérimentale (e.g irrigation submersion et drainage).

➡ Besoins de développement :

Inversions de processus couplés et spatiaux : Hydrogéophysique, paramètres effectifs

Inversion / sensibilité...

Comprendre le rôle de l'hétérogénéité spatiale dans le fonctionnement global de la parcelle



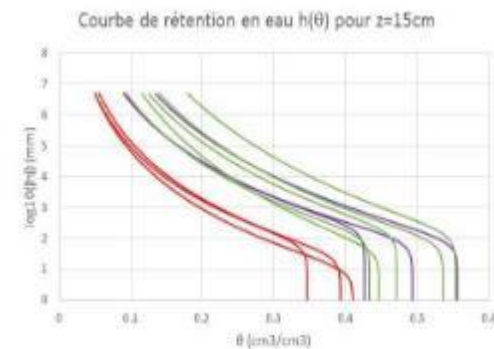
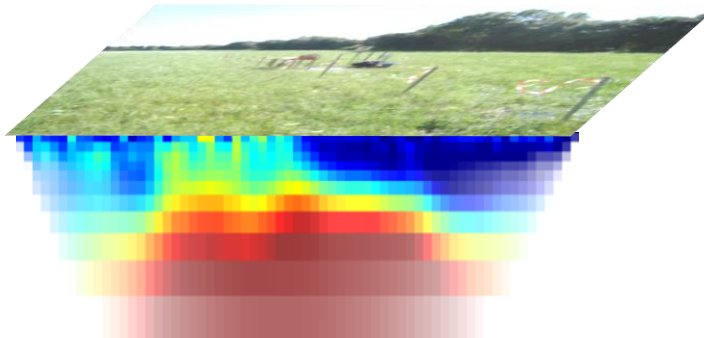
Estimation de paramètres effectifs à l'échelle de la parcelle



Fusion de données : géophysique, hydrique => spatialisation



Inversion de modèles (observations + données synthétiques) et identification de règles de « up scaling »



A vertical bar on the left side of the slide with a gradient from orange at the bottom to pink at the top.

The End

Merci pour votre attention

Coupling soil-roots processes: Equivalent microscopic-macroscopic modelling and root-root interactions

The case of water : a 2D example

Equivalent transfert function (microscopic - macroscopic):

Radial steady rate flow around one root => analytical solution

+

Superposition principle of linear PDEs => interaction between roots

$$\phi_i(r_i) = \phi_{out} + \sum_{k=1}^N \phi_k(d_{ik})$$

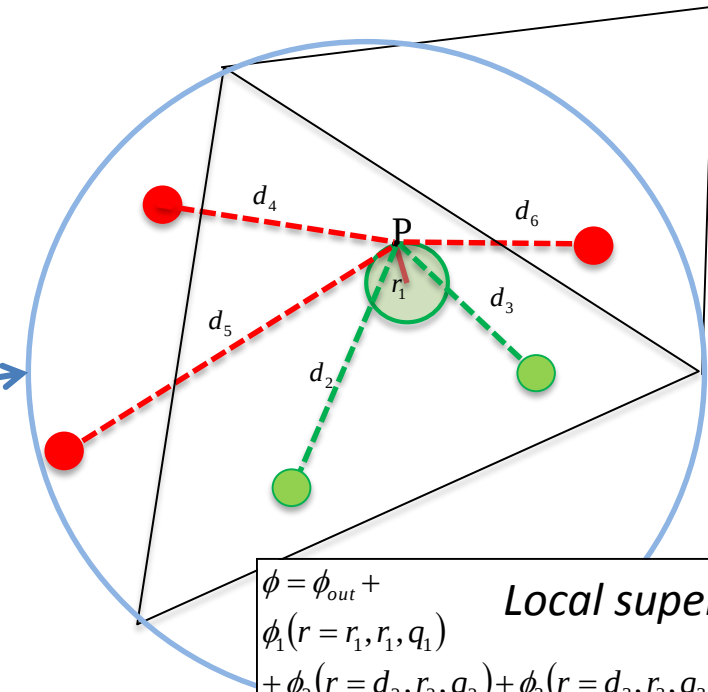
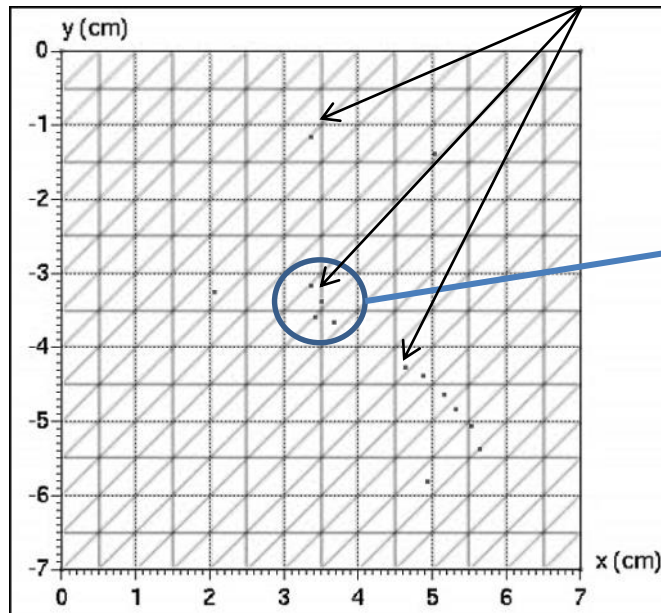
$\phi(r)$



Water potential at soil root interface due to local water gradient

Coarse soil FEM mesh

Roots



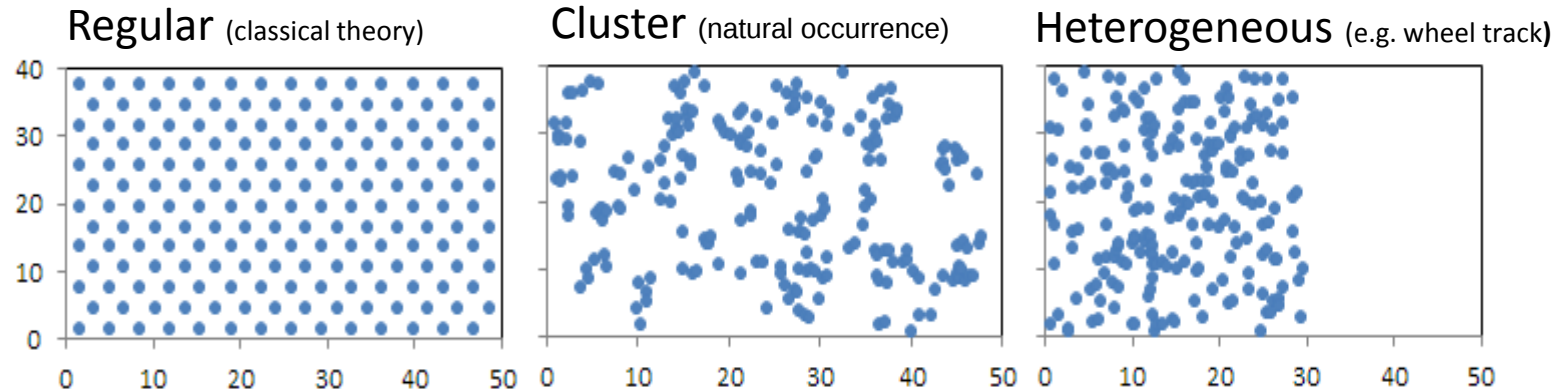
$$\begin{aligned} \phi &= \phi_{out} + \\ \phi_1(r=r_1, r_1, q_1) &+ \phi_2(r=d_2, r_2, q_2) + \phi_3(r=d_3, r_3, q_3) \\ &+ \phi_4(r=d_4, r_4, q_4) + \phi_5(r=d_5, r_5, q_5) + \phi_6(r=d_6, r_6, q_6) \end{aligned}$$

Local superposition

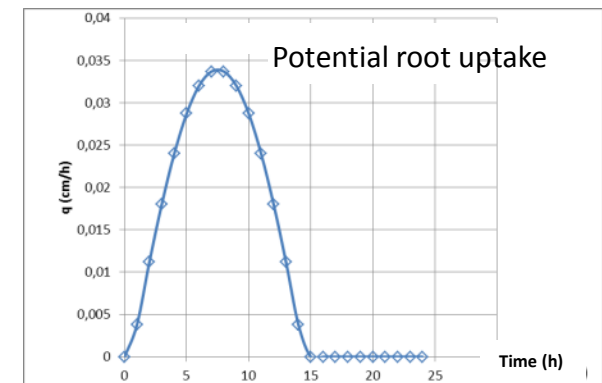
Coupling soil-roots processes: Equivalent microscopic-macroscopic modelling

The case of water : a 2D example – **Influence of roots' spatial distribution**

Root impacts maps



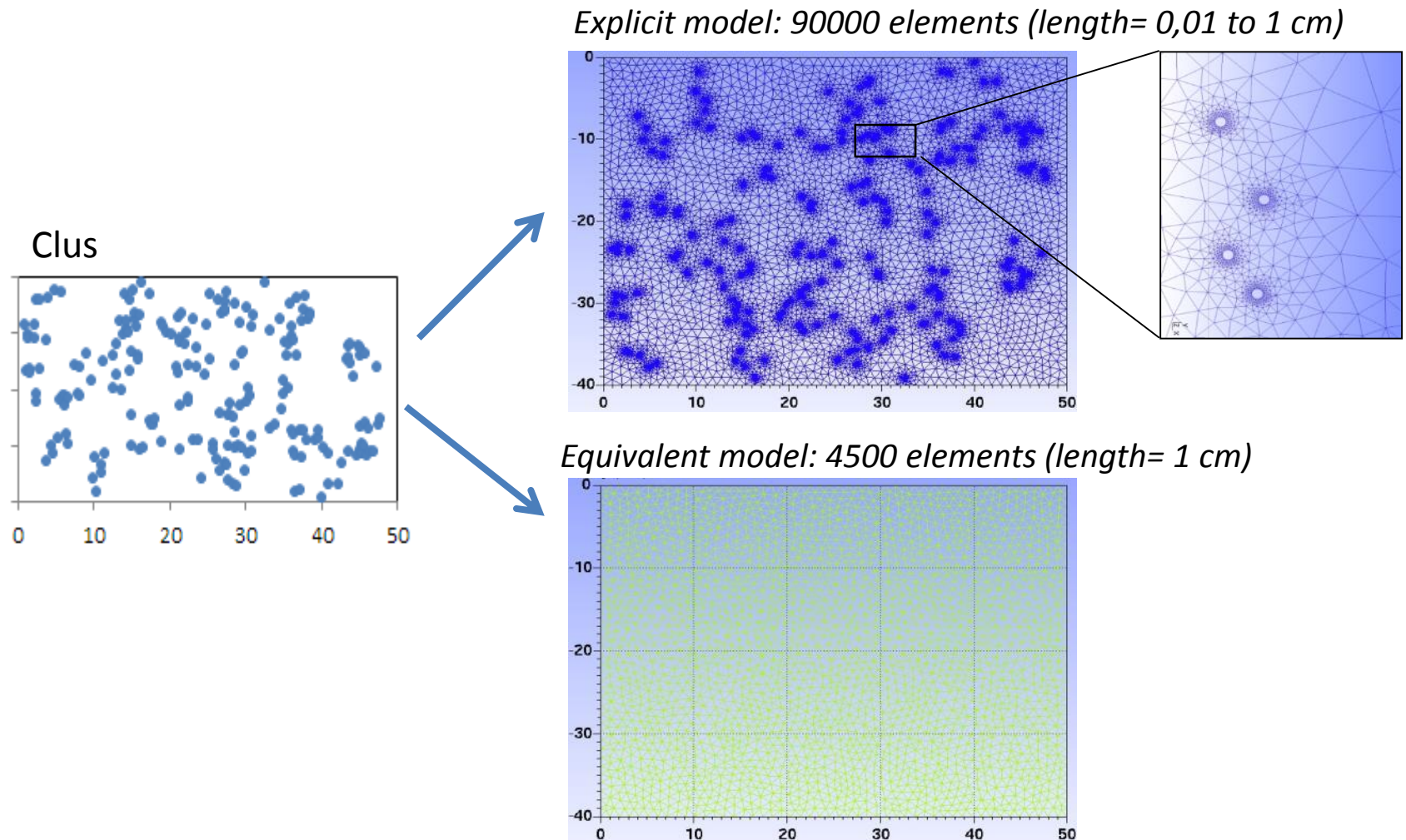
- ~210 roots ($L_v=1050 \text{ m/m}^3$)
- Potential Transpiration = 2 mm/d
- Soil= Clay
- Depth=40 cm, ASW=40 mm
- Minimum plant water potential= -1.5 MPa



Coupling soil-roots processes: Equivalent microscopic-macroscopic modelling

The case of water : a 2D example – **Influence of roots' spatial distribution**

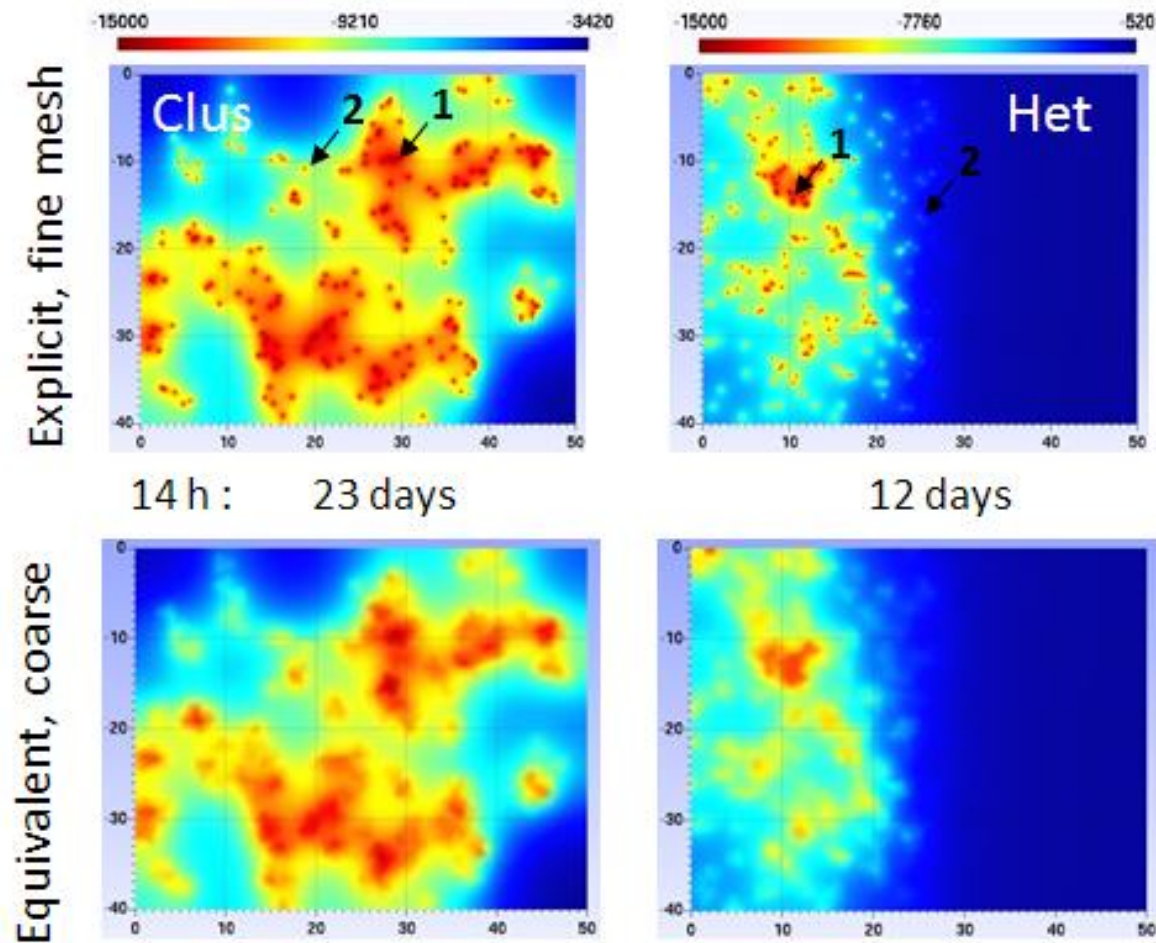
Soil mesh: Explicit and equivalent root models



Coupling soil-roots processes: Equivalent microscopic-macroscopic modelling

The case of water : a 2D example – **Influence of roots' spatial distribution**

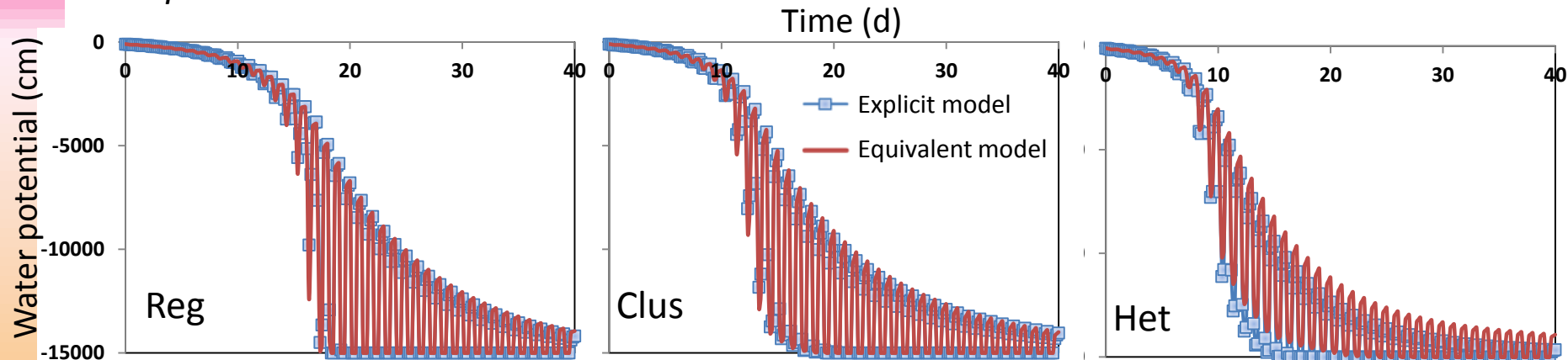
Comparison between explicit and equivalent modeling : Water potential maps after onset of stress (day time, 14h)



Coupling soil-roots processes: Equivalent microscopic-macroscopic modelling

The case of water : a 2D example – **Influence of roots' spatial distribution**

Comparison between explicit and equivalent modeling: mean root surface water potential



- Rather good fitting of root water potential by equivalent model
- Some cases of underestimation by equivalent model at onset of stress

Extension to 3D case

↳ Equivalent model for 3D case : extension to 3D for superposition of spheres

