
Mise à l'échelle d'un modèle hydrologique distribué pour les modèles globaux de climat

Mathilde Maquin

1^{ère} année de thèse

Directeur de thèse : E. Mouche

Encadrante de thèse : C. Mügler

Thèse Université Paris Sud

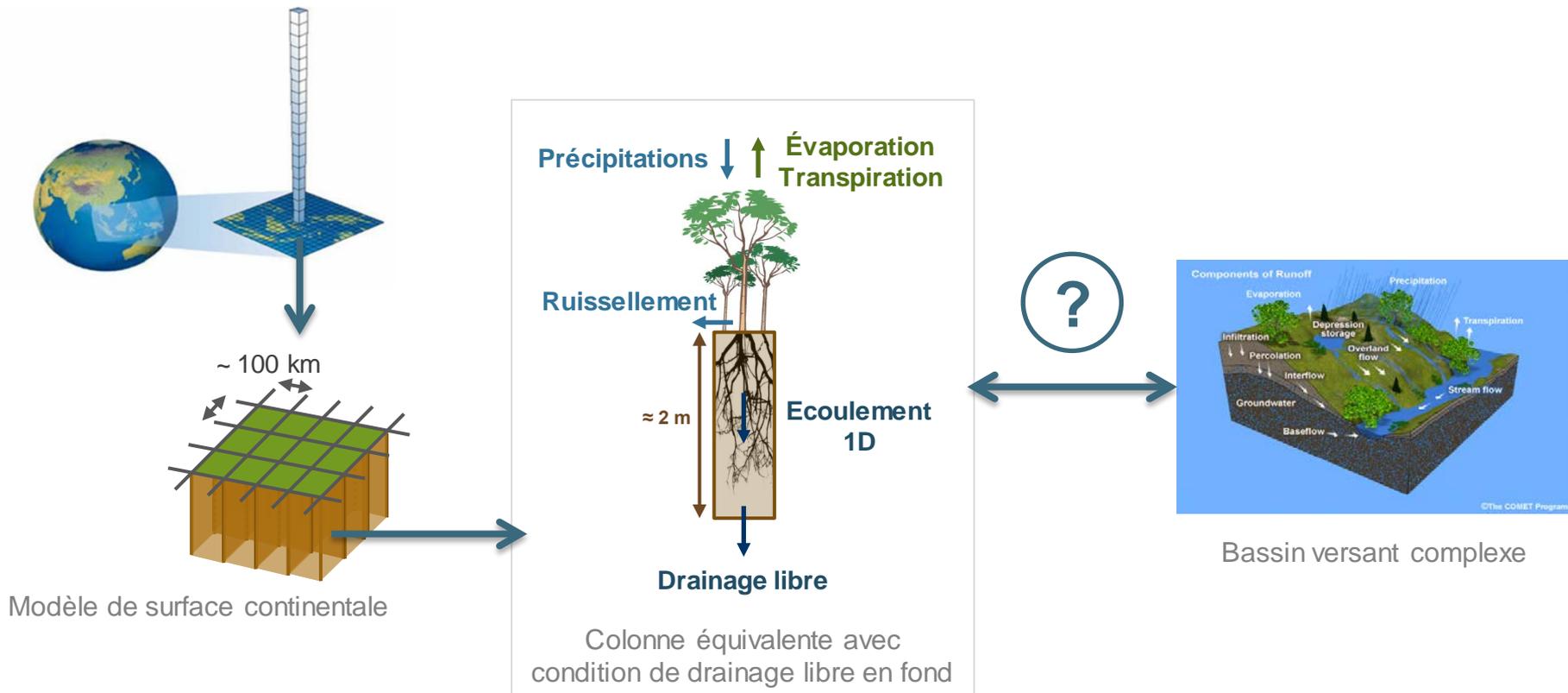
LABORATOIRE DES SCIENCES DU CLIMAT & DE L'ENVIRONNEMENT

Réunion Projet GEM – 05/03/2014



Introduction

- Contexte général :
→ Représentation de l'hydrologie dans les modèles globaux de climat



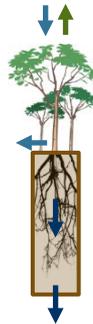
Introduction

- Variables d'intérêt pour les modèles de climat :
 - Flux d'évaporation + de transpiration

Problématique :

Quel est l'impact de la représentation par colonne équivalente sur les flux d'évapotranspiration ?

1. À l'échelle du bassin versant ?

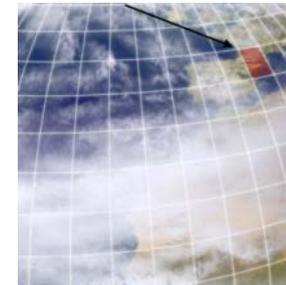


Flux d'ET ?



Première étape

2. A l'échelle du pixel
(~ 100 à 300 km de côté) ?



Source : site <http://www.encyclo123.com>



Sommaire

1. Éléments bibliographiques

2. Démarche adoptée

3. Construction du modèle

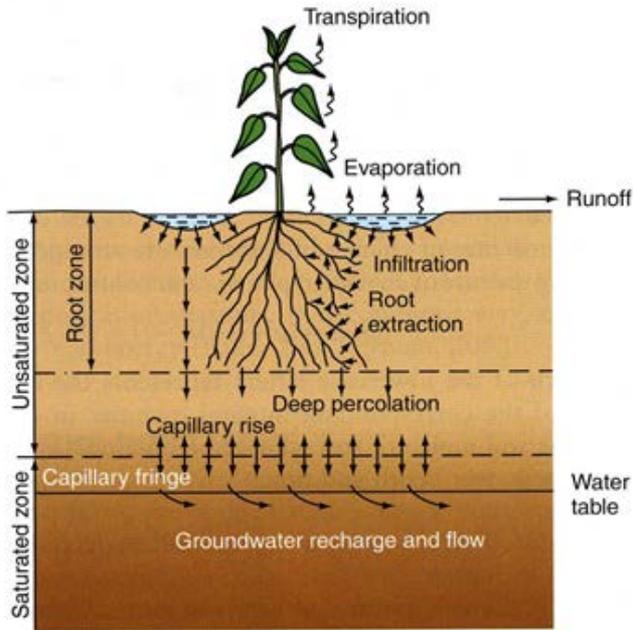
4. Premiers résultats

Conclusion et perspectives



1. Éléments bibliographiques

- Interaction entre évapotranspiration et écoulements souterrains :



Bilan d'eau dans la zone racinaire [Hillel, 2004]

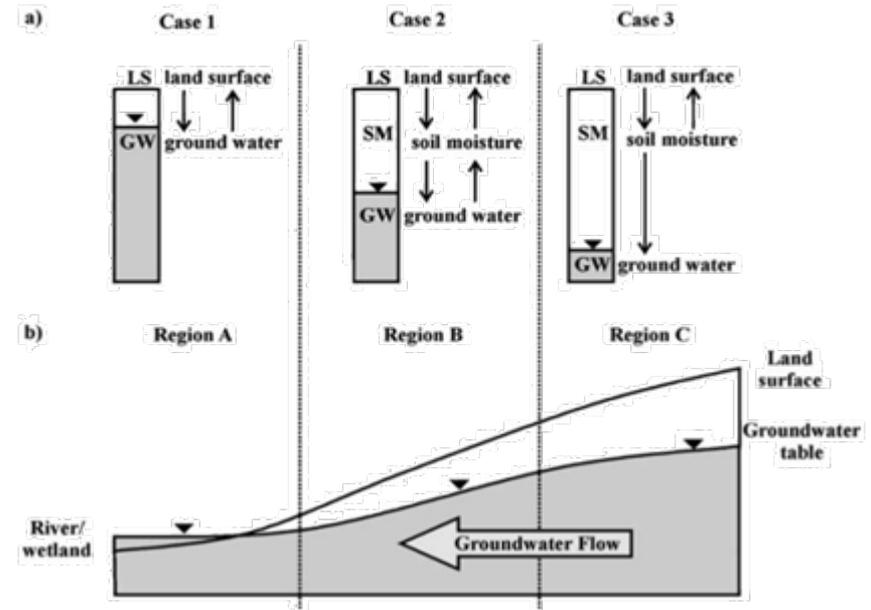


Schéma des interconnexions entre la nappe, la zone non saturée et les processus de surface [Kollet et Maxwell, 2008]

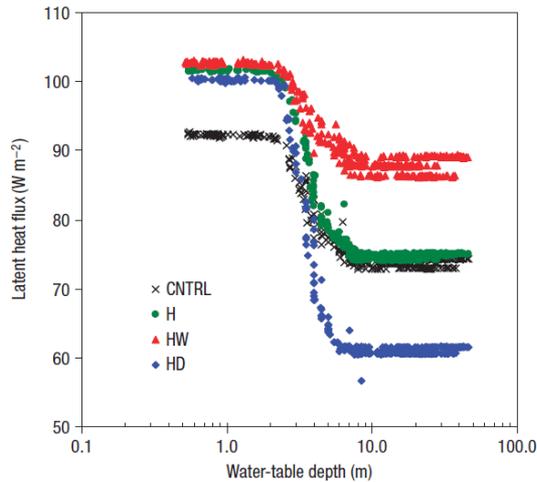
- Flux d'évapotranspiration : dépendent de la **disponibilité de l'eau dans le sol**

→ Nécessité de modéliser les écoulements souterrains

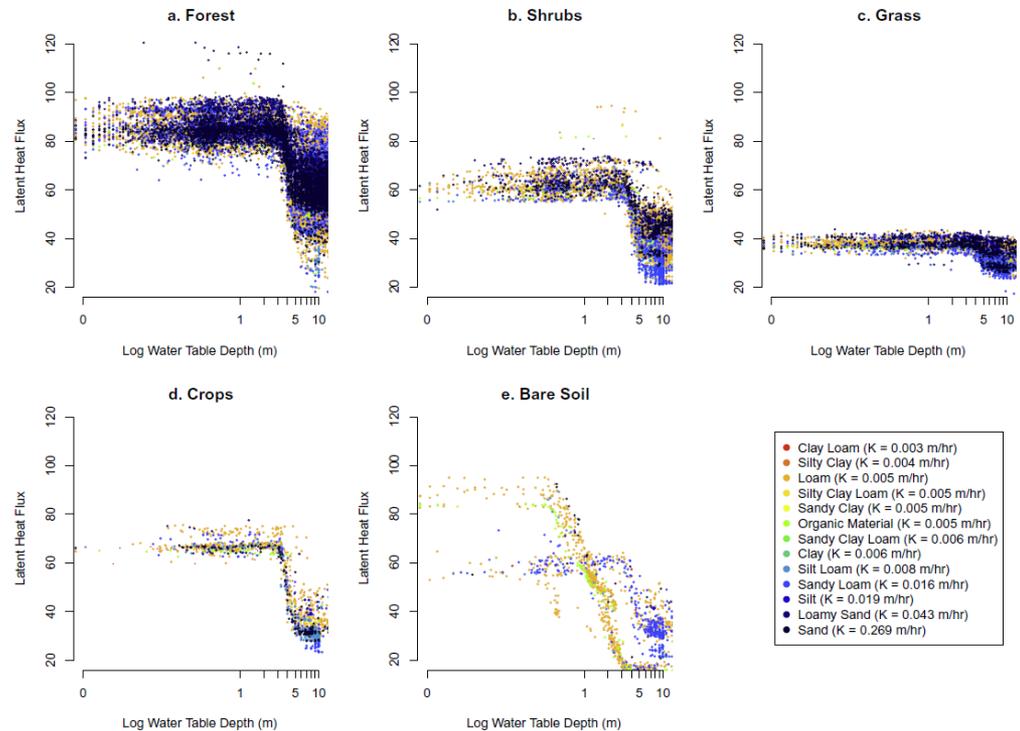


1. Éléments bibliographiques

- Interaction entre évapotranspiration et écoulements souterrains :
 - Mise en évidence par des modèles d'écoulements souterrains couplés avec un modèle de surface continentale à l'échelle régionale (bassin versant ~ 30 km x 40 km) :



Flux de chaleur latente en fonction de la profondeur de la nappe [Maxwell et Kollet, 2008]



Flux de chaleur latente en fonction de la profondeur de la nappe pour différents types de végétation et de sol [Condon et al., 2013]



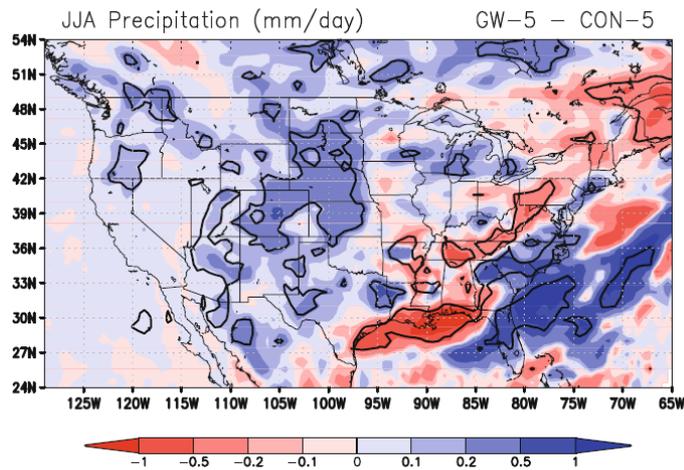
1. Éléments bibliographiques

- Influence de la modélisation de l'hydrologie sur le climat simulé :

Modèle régional de climat :

Colonne à 3 couches (VIC-3L) [Liang et al., 2003]

Colonne avec résolution de l'équation de Richards



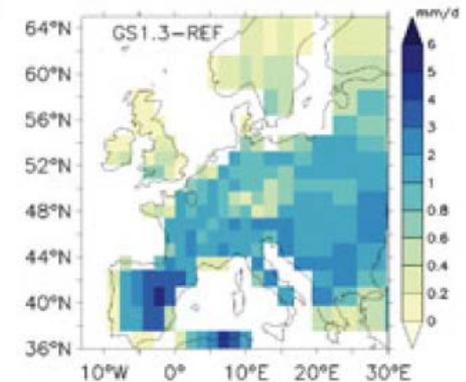
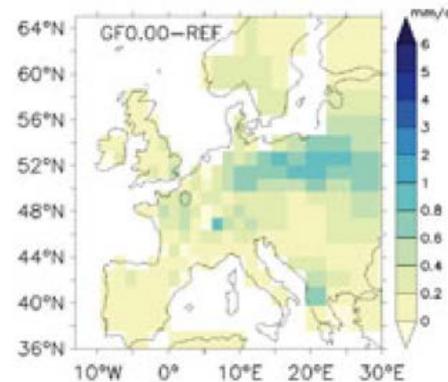
Différences des précipitations moyennes simulées entre deux modèles comportant deux modules hydrologiques différents [Leung et al., 2011]

Colonne à drainage libre



Colonne à fond imperméable

Colonne avec saturation imposée au-delà de 1,3 m



Différences des précipitations moyennes simulées entre des modèles comportant des modules hydrologiques différents [Campoy et al., 2013]

→ Impact sur les précipitations simulées

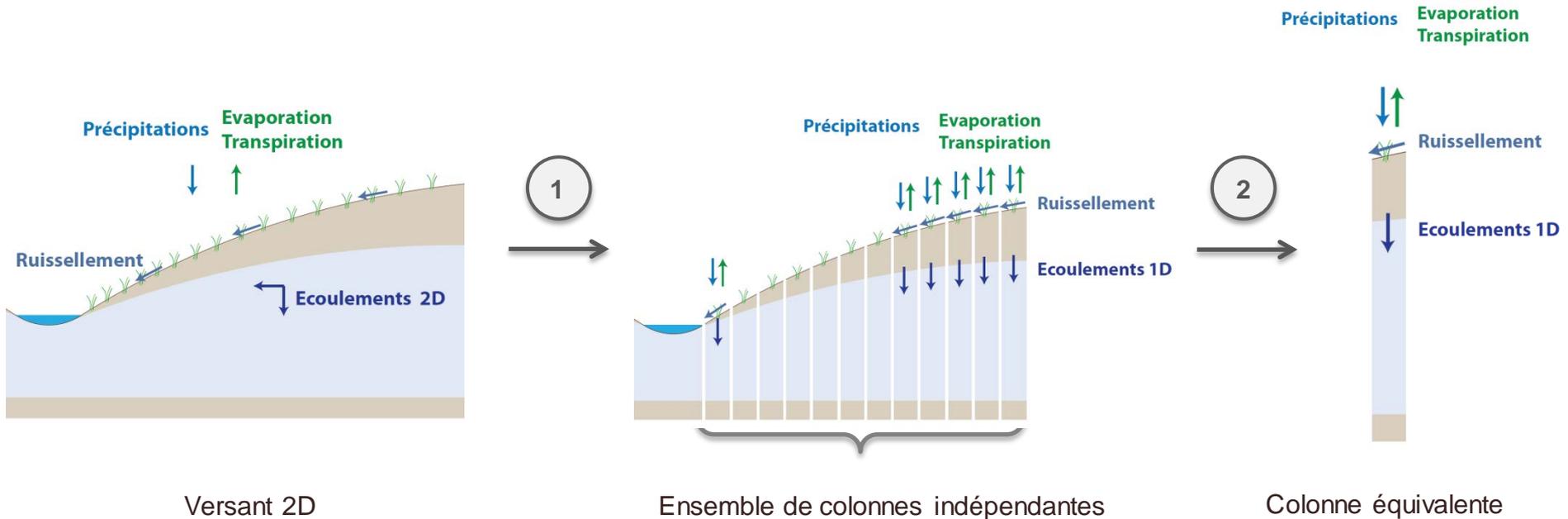
2. Démarche

Objectif :

- Colonne équivalente
- À l'échelle du versant
- Qui reproduise les flux d'évapotranspiration

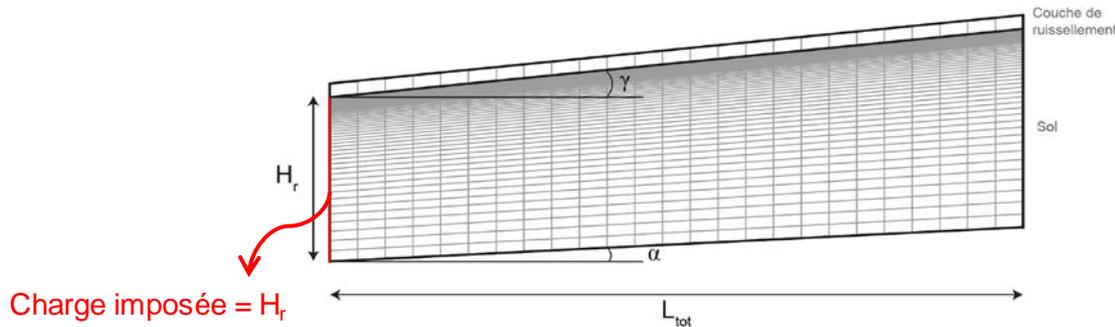
Démarche retenue :

- 1) Ensemble de colonnes indépendantes
- 2) Colonne équivalente



3. Construction du modèle

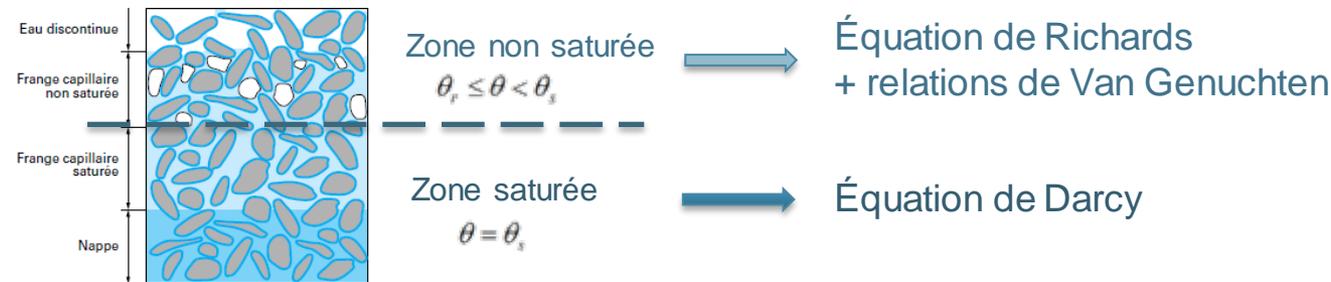
- Modèle 2D de référence :



<http://www-cast3m.cea.fr>

[WELL, Sylvain. *Modélisation des échanges surface/subsurface à l'échelle de la parcelle par une approche darcéenne multidomaine*. 2007. Thèse de doctorat]

- Modélisation des écoulements souterrains :



■ Particules ■ Eau libre □ Air
■ Eau adsorbée ■ Eau capillaire

L'eau dans le sol [Magnan, 1999]

Équation unifiée :
$$C(h) \frac{\partial h}{\partial t} = \vec{\nabla} \cdot (K(h) \vec{\nabla} h) + q$$

$$h \in]-\infty ; +\infty[$$

- h : pression interstitielle
- K : perméabilité
- q : terme puits/source



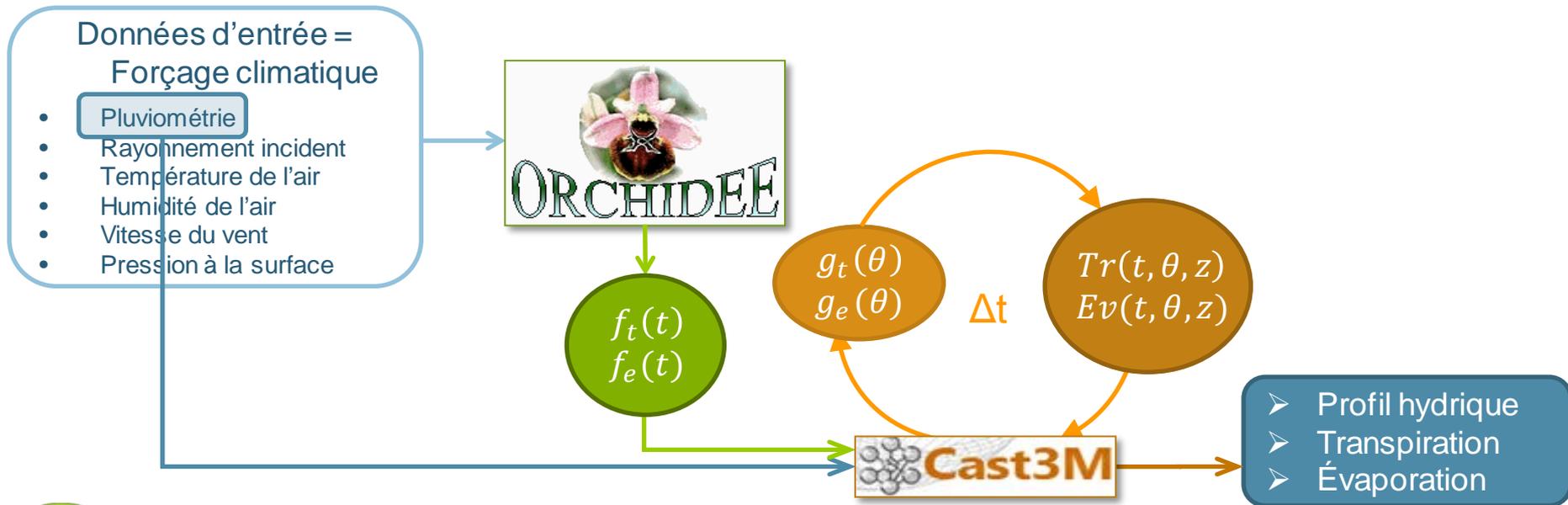
3. Construction du modèle

- Modélisation de l'évaporation et de la transpiration :
 - Terme puits de l'équation de Richards

$$Tr(t, \theta, z) = f_t(t) \times g_t(\theta) \times h_t(z)$$

$$Ev(t, \theta, z) = f_e(t) \times g_e(\theta) \times h_e(z)$$

- Chaînage Orchidée / Cast3m

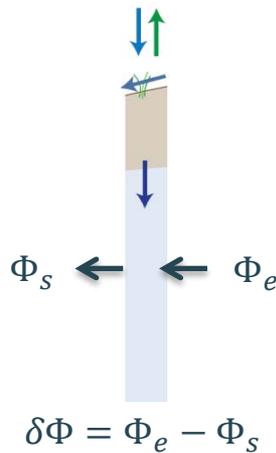
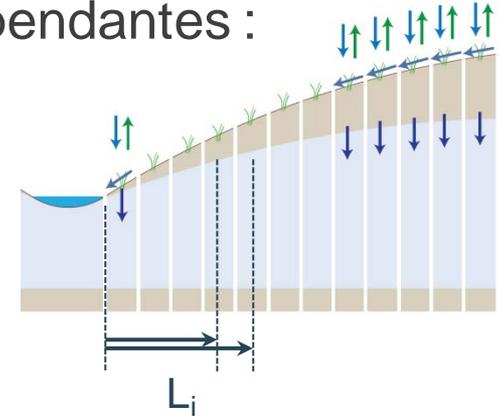


3. Construction du modèle

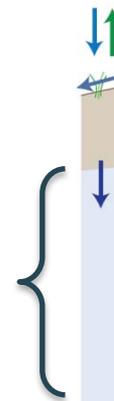
- 1^{ère} étape :

Versant 2D → Ensemble de colonnes indépendantes :

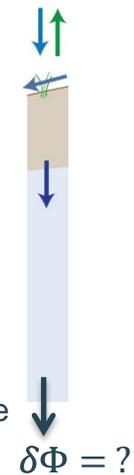
- 1 colonne : caractérisée par sa distance à la rivière L_i
- Écoulements souterrains transversaux ?



Condition à la limite à l'aval de la zone saturée : $\Delta\Phi$



Terme de drainage en fond de colonne



3. Construction du modèle

■ Construction du terme de drainage :

• Hypothèses :

1. le toit de la nappe est linéaire

Exemple de décharge simple en 2D :

→ Validité à proximité de la rivière

2. Le profil vertical de teneur en eau est à l'équilibre (= charge constante)

• En utilisant :

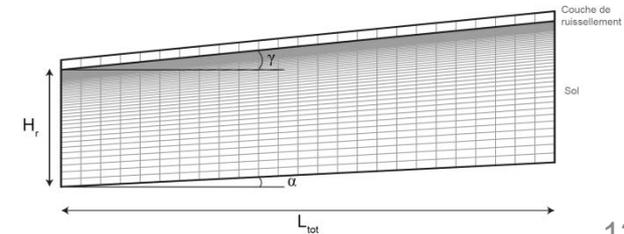
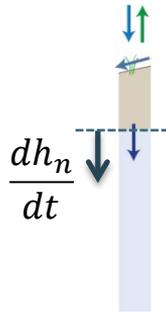
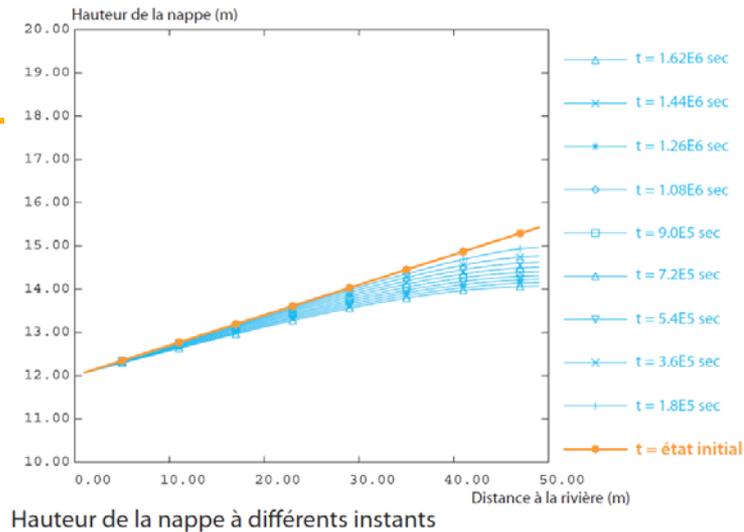
→ Les relations de Van Genuchten : $\theta(\text{pression})$ en ZNS

→ Bilan d'eau sur le domaine

➔ Variation de la hauteur de la nappe h_n par unité de temps pour chaque distance L_i .

→ $\frac{dh_n}{dt}$ dépend de :

- la profondeur de la nappe : $h_n(L_i, t)$
- paramètres géométriques : $L_i, H_r, L_{tot}, \alpha, \gamma$
- paramètres du sol : $K_{sat}, \beta (VG), n(VG)$



3. Construction du modèle

- Construction du terme de drainage

- $\frac{dh_n}{dt} \rightarrow \frac{dV_{eau}}{dt}$: variation du volume d'eau dans la colonne

→ **Terme de drainage** : terme puits de l'équation de Richards dans la dernière maille de la colonne

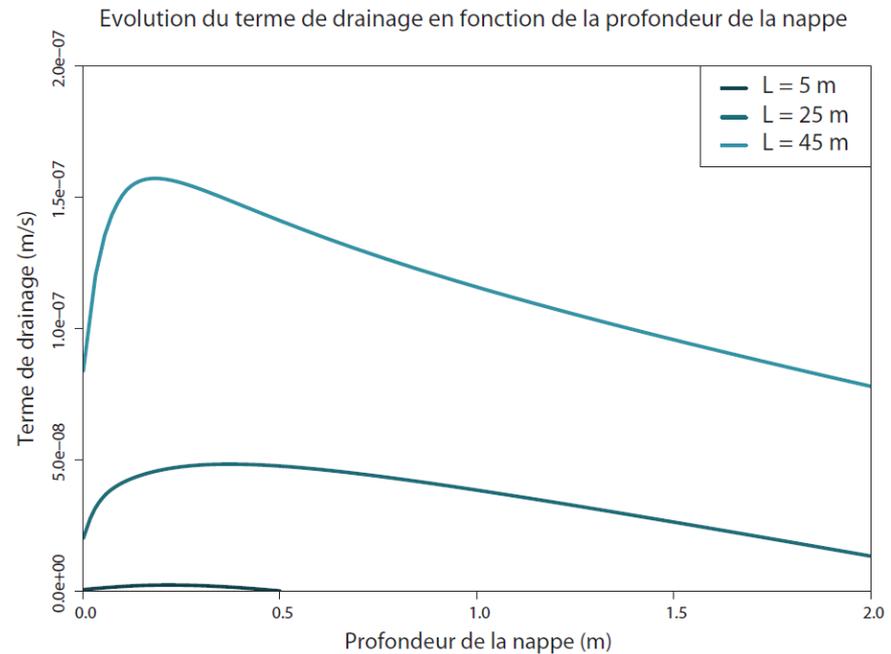


$$\delta\Phi = \frac{dV_{eau}}{dt}$$

- Variation du terme de drainage en fonction de la profondeur de la nappe

$$K_{sat} = 2,9 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$$

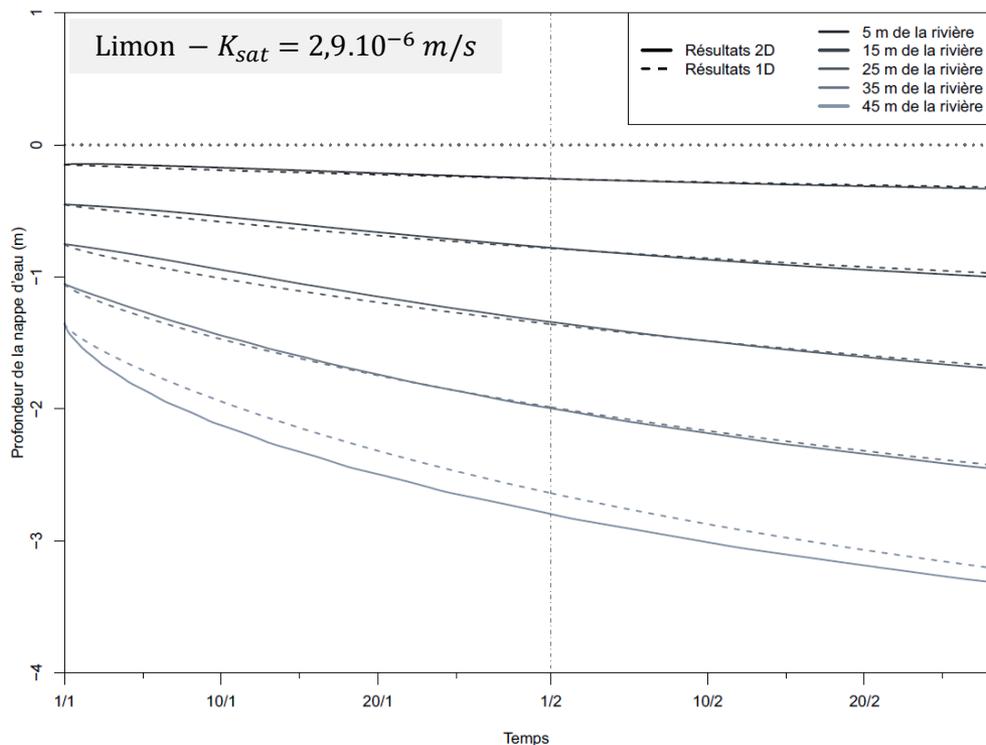
$$K_{sat} / \text{drainage} > 10$$



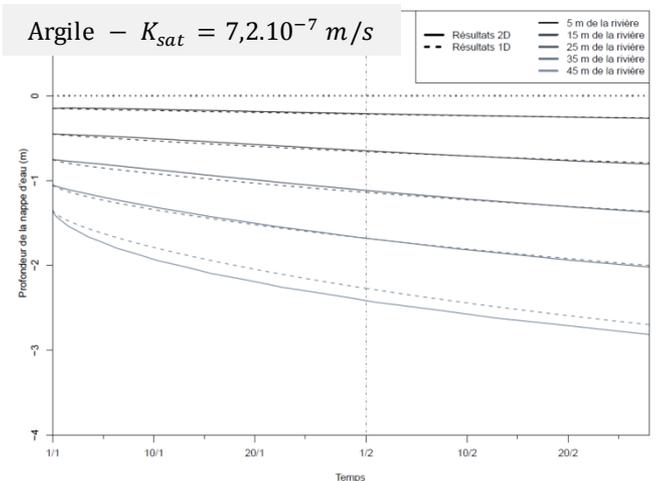
4. Premiers résultats

- Étude de cas simples :
 - Décharge de la nappe uniquement (sans évaporation ni transpiration) :

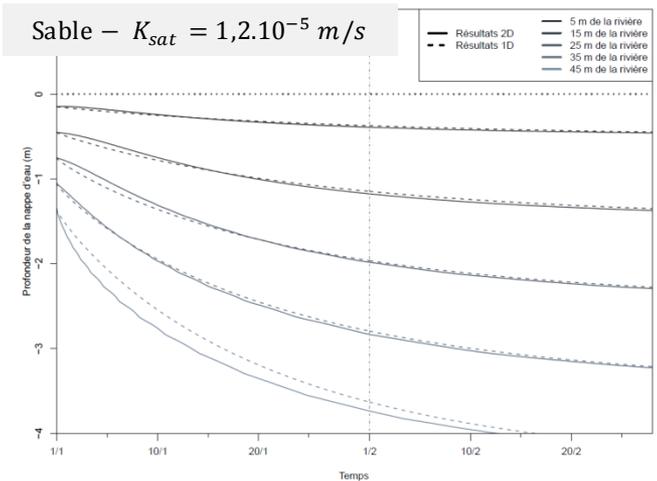
Evolution de la profondeur de la nappe en fonction du temps - Décharge simple - Limon - mois 1 + 2



Evolution de la profondeur de la nappe en fonction du temps - Décharge simple - Argile - mois 1 + 2

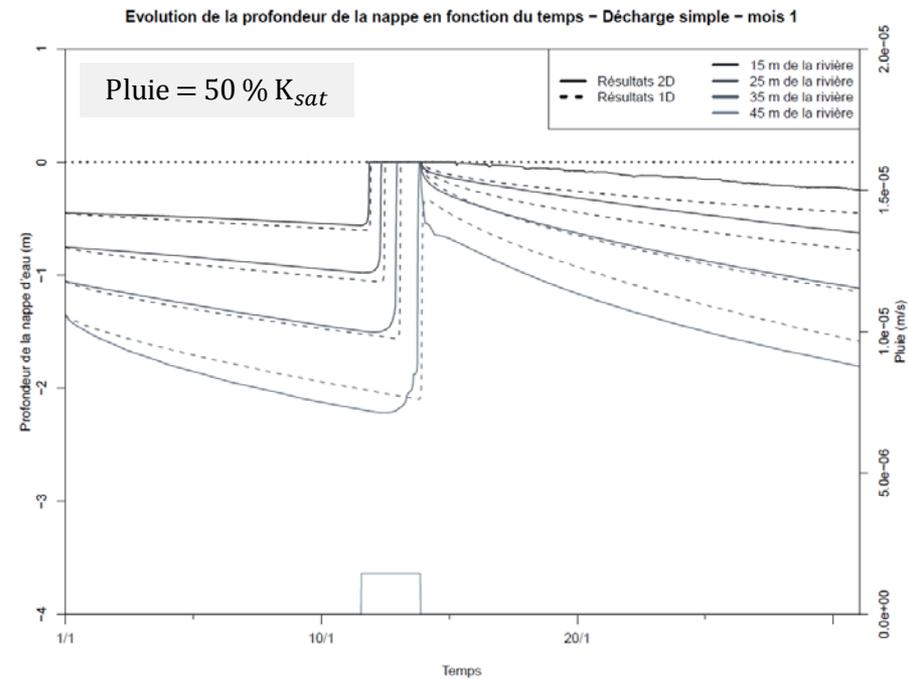
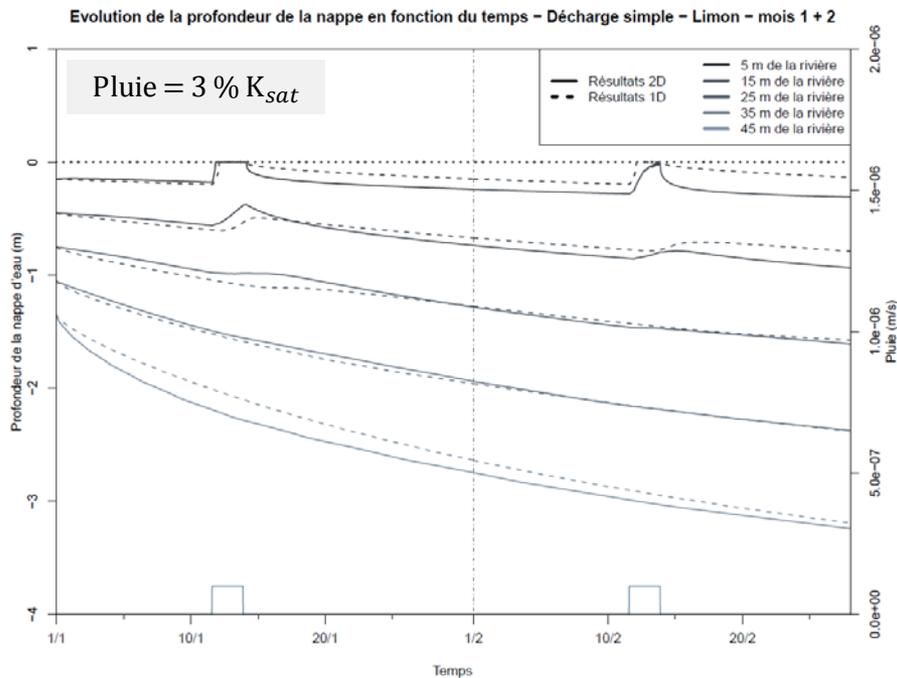


Evolution de la profondeur de la nappe en fonction du temps - Décharge simple - Sable - mois 1 + 2



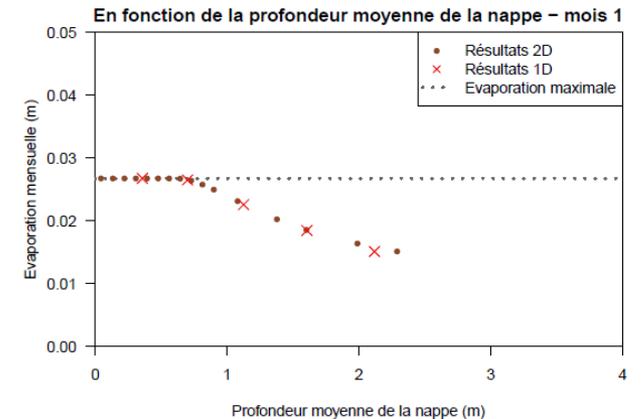
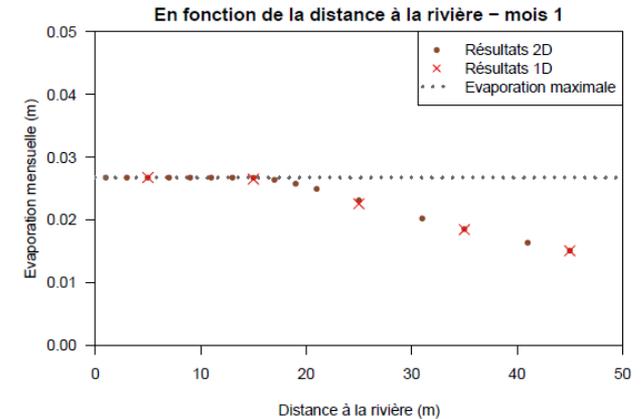
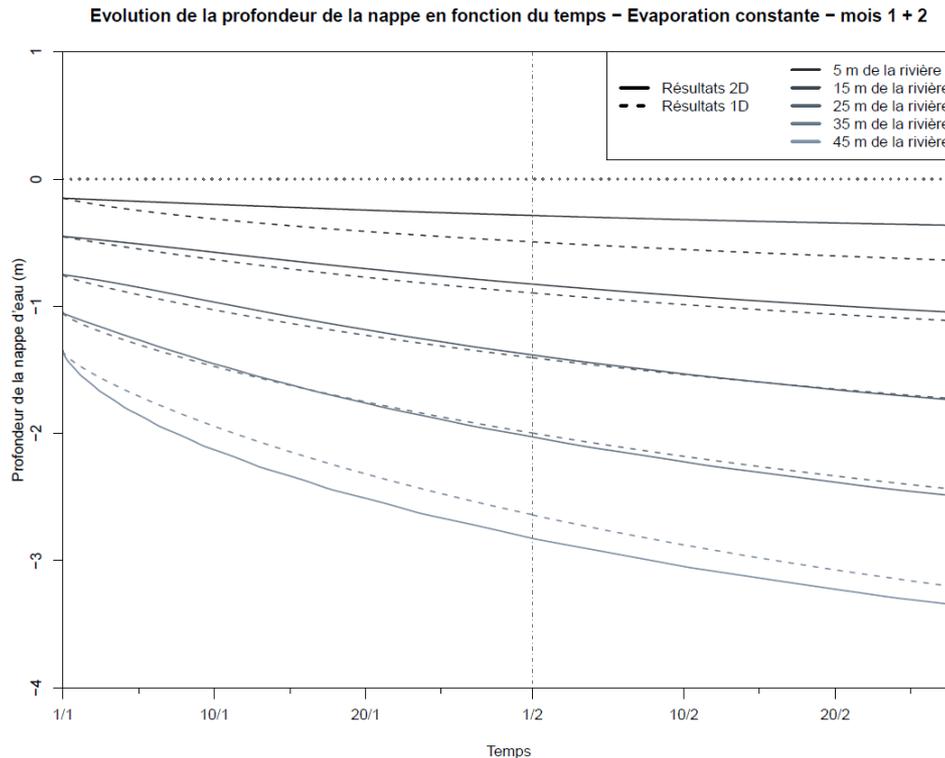
4. Premiers résultats

- Étude de cas simples :
 - Avec créneau de pluie :



4. Premiers résultats

- Étude de cas simples :
 - Avec évaporation constante ($= 1.10^{-7}$ m/s) :

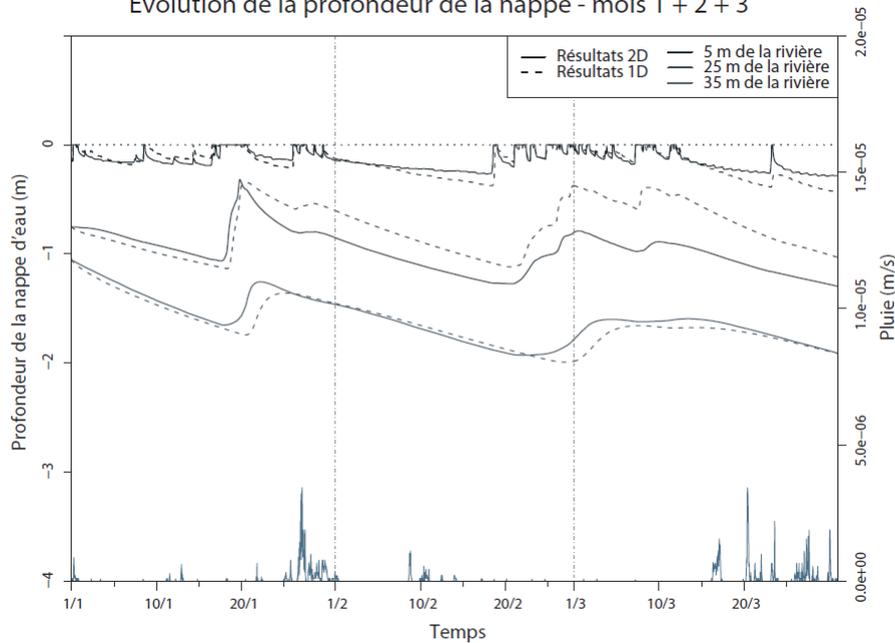


4. Premiers résultats

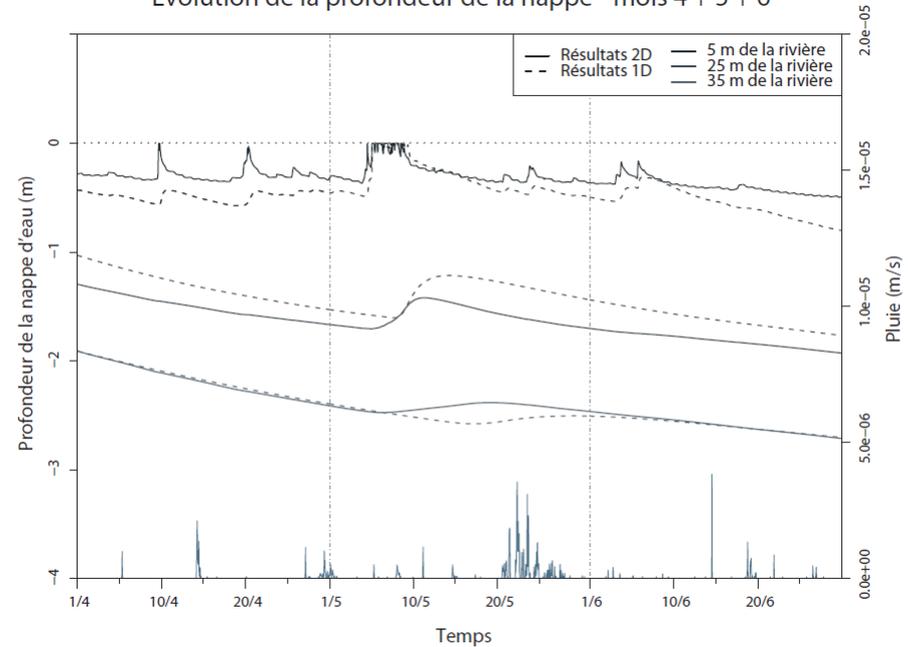
- Cas plus complet :
 - Forçage provenant d'Orchidée :

- Prairie (PFT 10)
- Limon
- Site italien de la base Fluxnet (Amplero)

Evolution de la profondeur de la nappe - mois 1 + 2 + 3



Evolution de la profondeur de la nappe - mois 4 + 5 + 6



4. Premiers résultats

■ Cas plus complet :

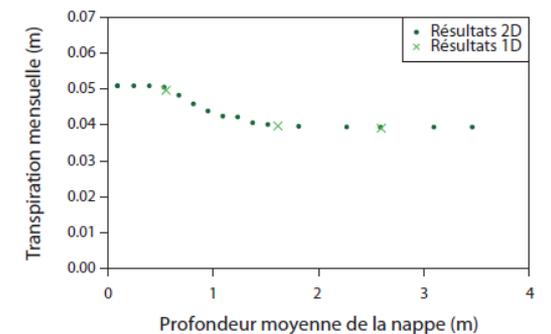
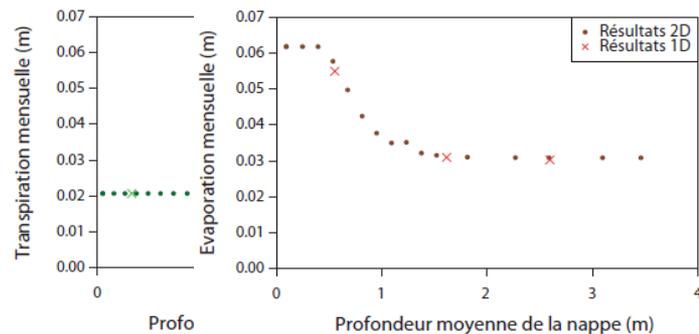
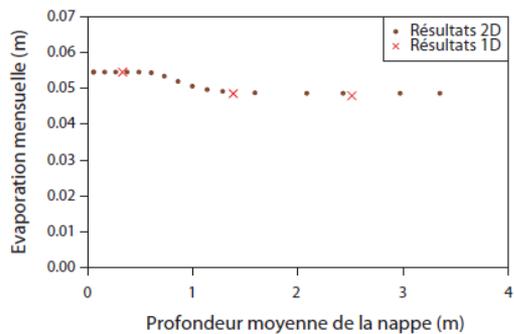
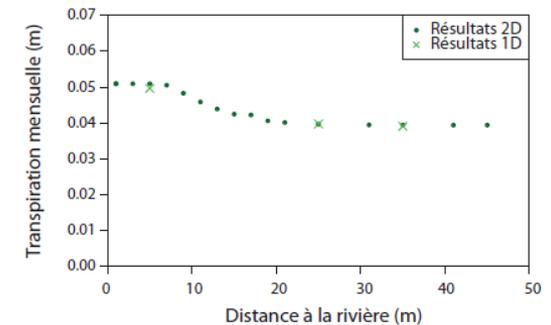
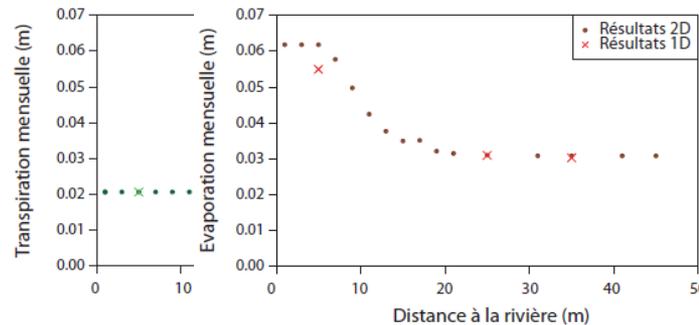
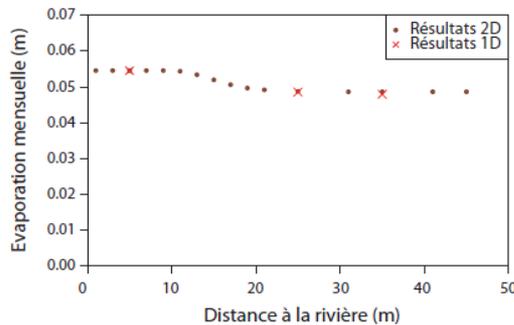
- Forçage provenant d'Orchidée :



- Prairie (PFT 10)
- Limon
- Site italien de la base Fluxnet (Amplero)

Evaporation et transpiration mensuelles -

Evaporation et transpiration mensuelles – mois 6

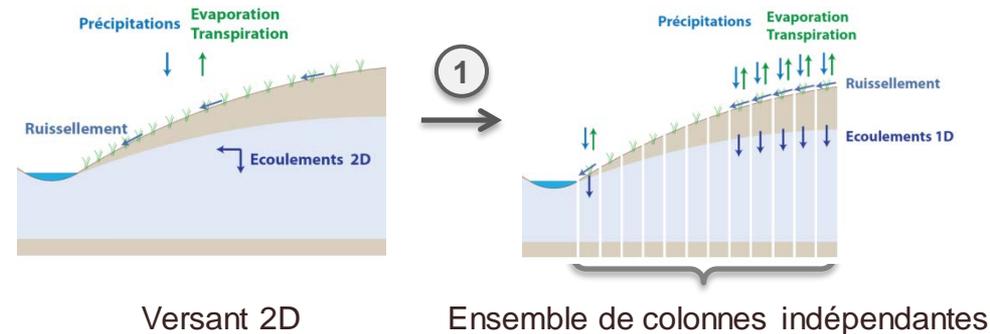


Conclusion

- Problématique générale :



- Construction d'un ensemble de colonnes indépendantes avec terme de drainage :



- Premiers résultats satisfaisants :
 - Dynamique de nappe
 - Flux d'évapotranspiration



5. Perspectives

■ 2nde étape :

Ensemble de colonnes indépendantes  Colonne équivalente

- Objectif : conserver les flux d'évapotranspiration du versant

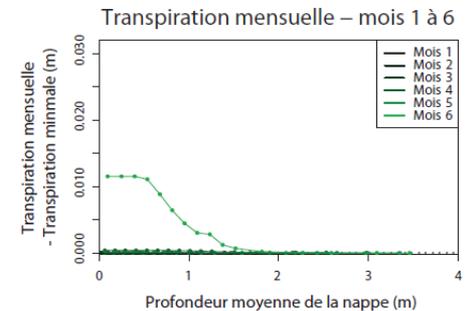
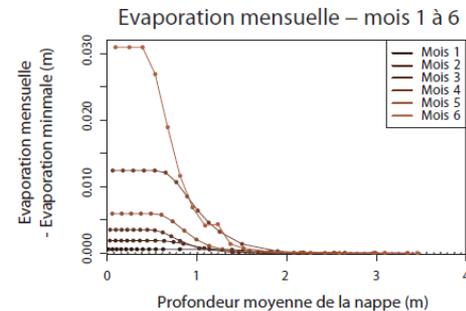
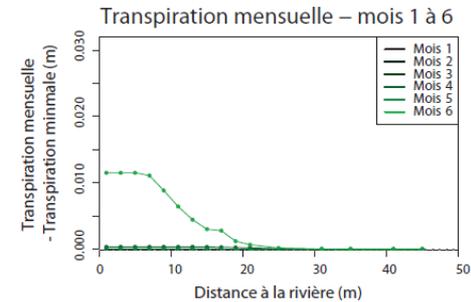
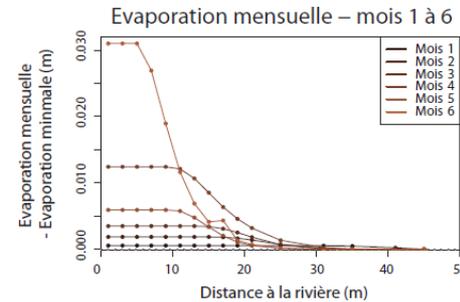
- Utiliser la distribution des distances à la rivière :

$$\langle ETP \rangle_L = \int P(L_i) ETP(L_i) dL_i$$

■ 3^{ème} étape :

Versant 2D  Bassin versant 3D

- Petit bassin versant réel



Merci pour votre
attention

