



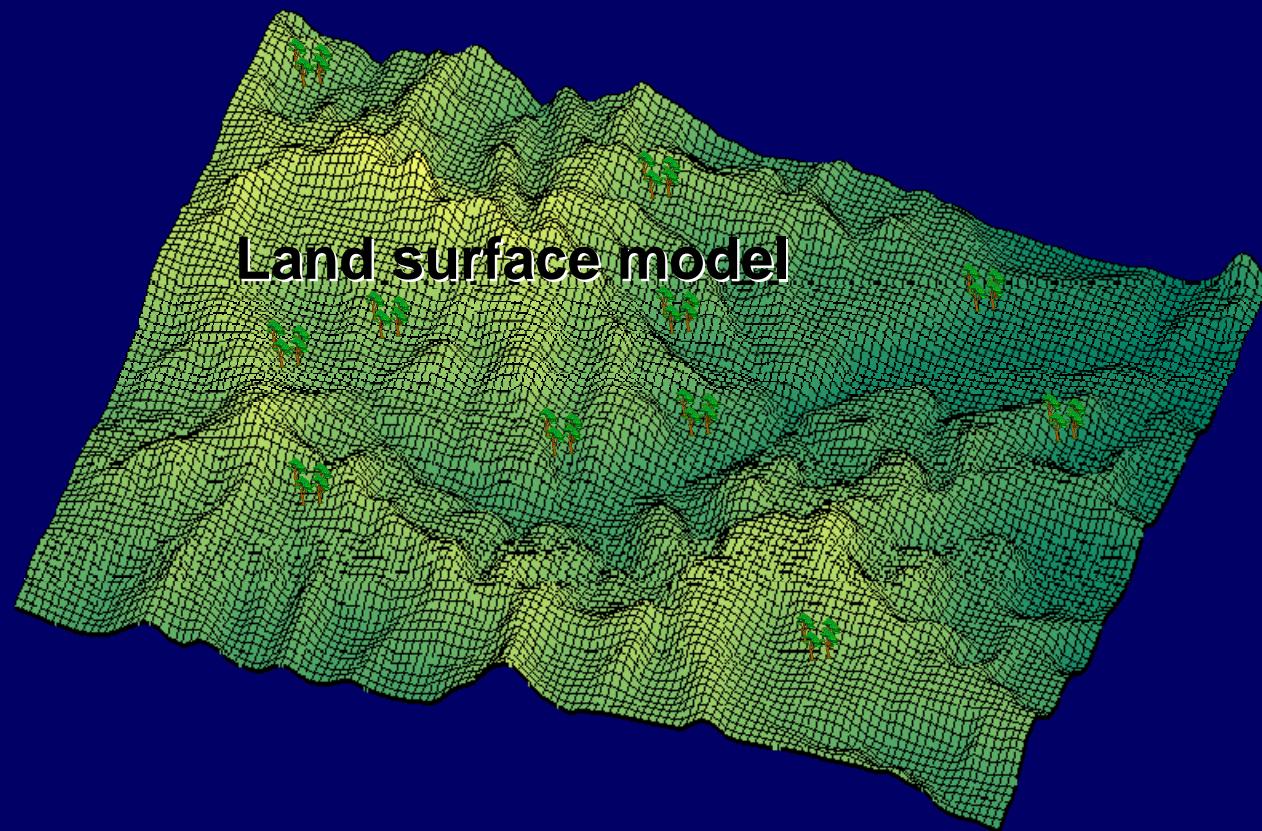
# Modélisation couplée des processus de surface et souterrains pour prédire la distribution spatiale de l'évapotranspiration.

Jean-Martial Cohard,  
M. Boucher, M. Descloitres, D. Robert, S. Galle

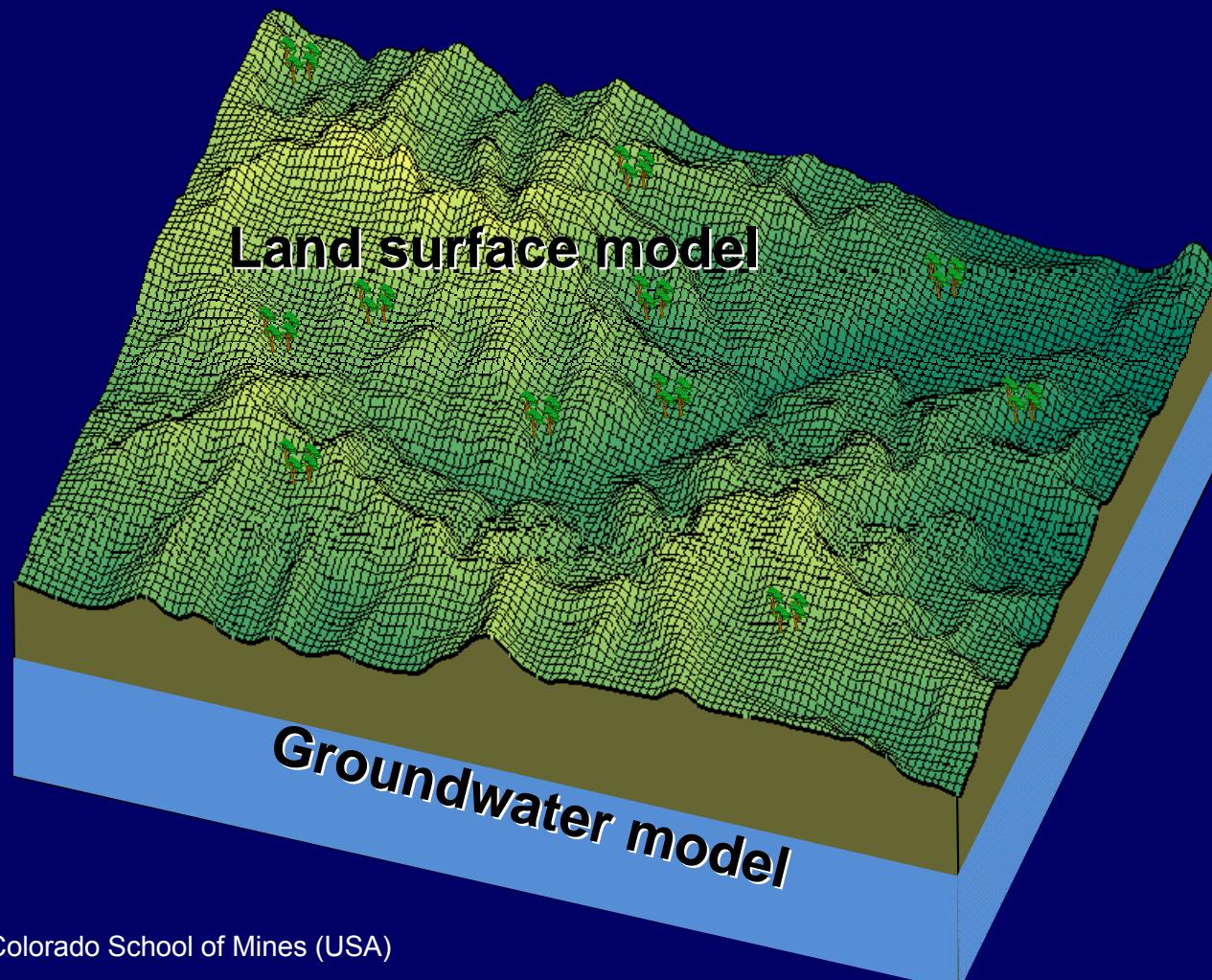


Contacts : [jean-martial.cohard@ujf-grenoble.fr](mailto:jean-martial.cohard@ujf-grenoble.fr)

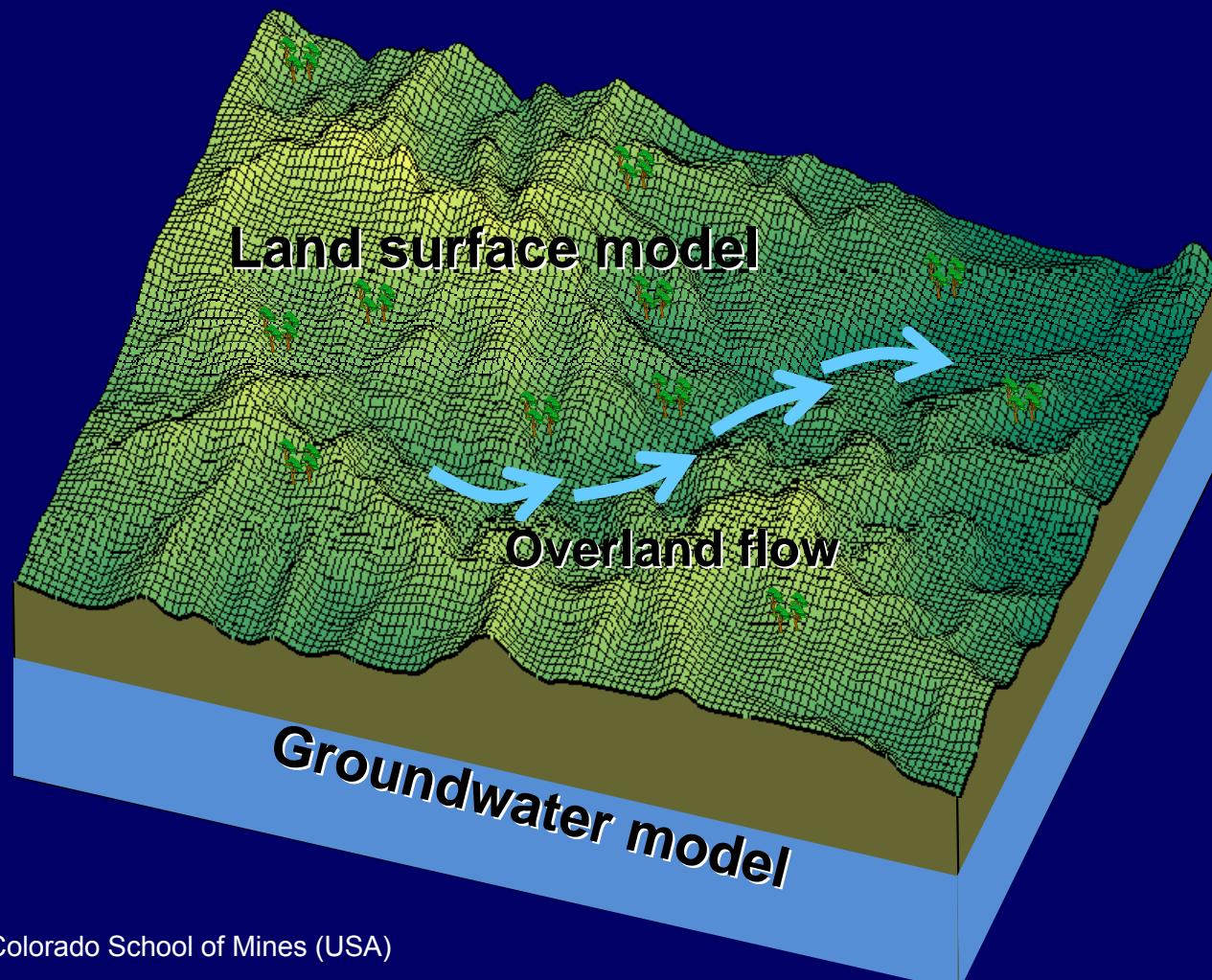
## 1) Surface continentale et couplage



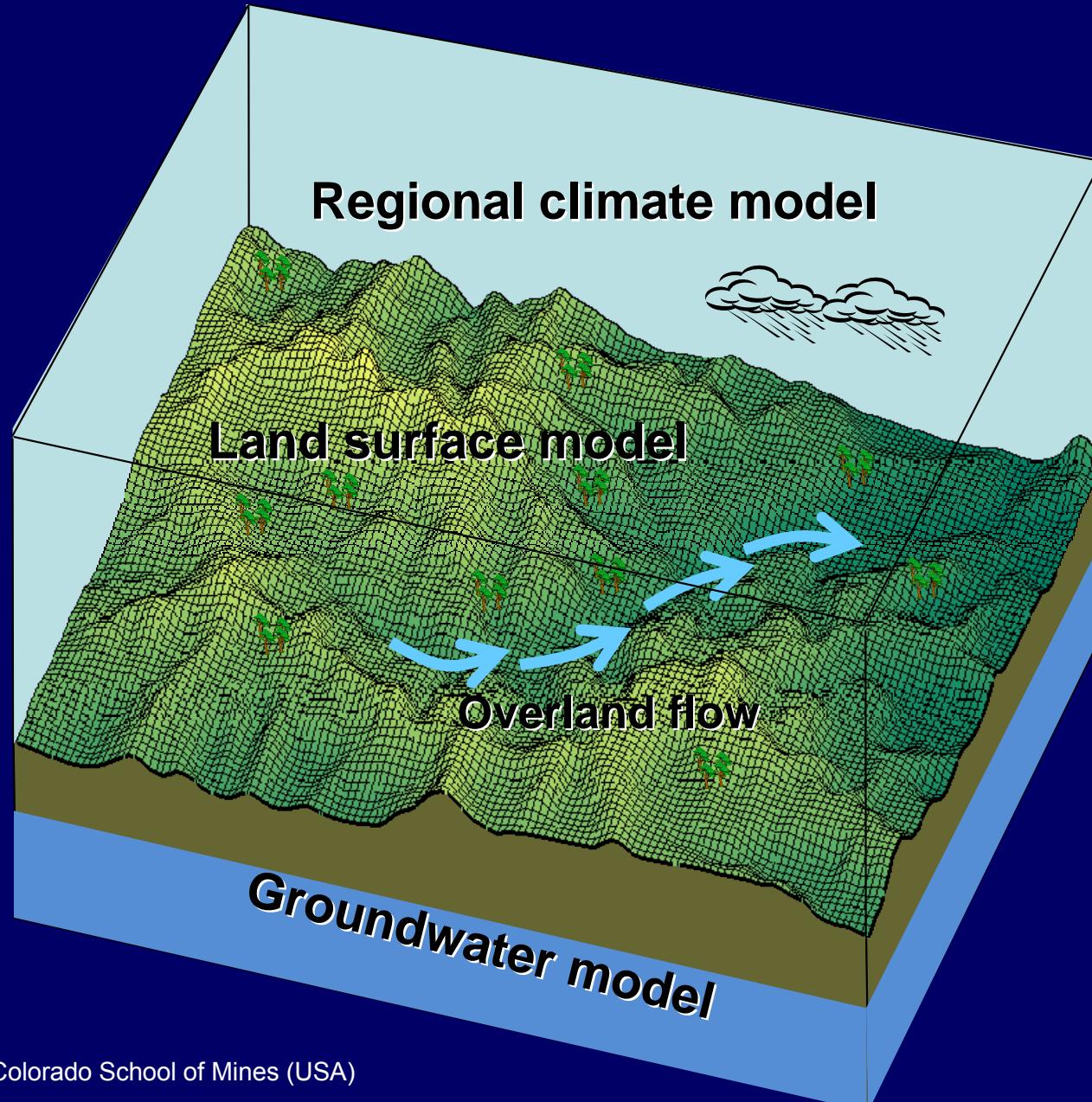
## 1) Surface continentale et couplage



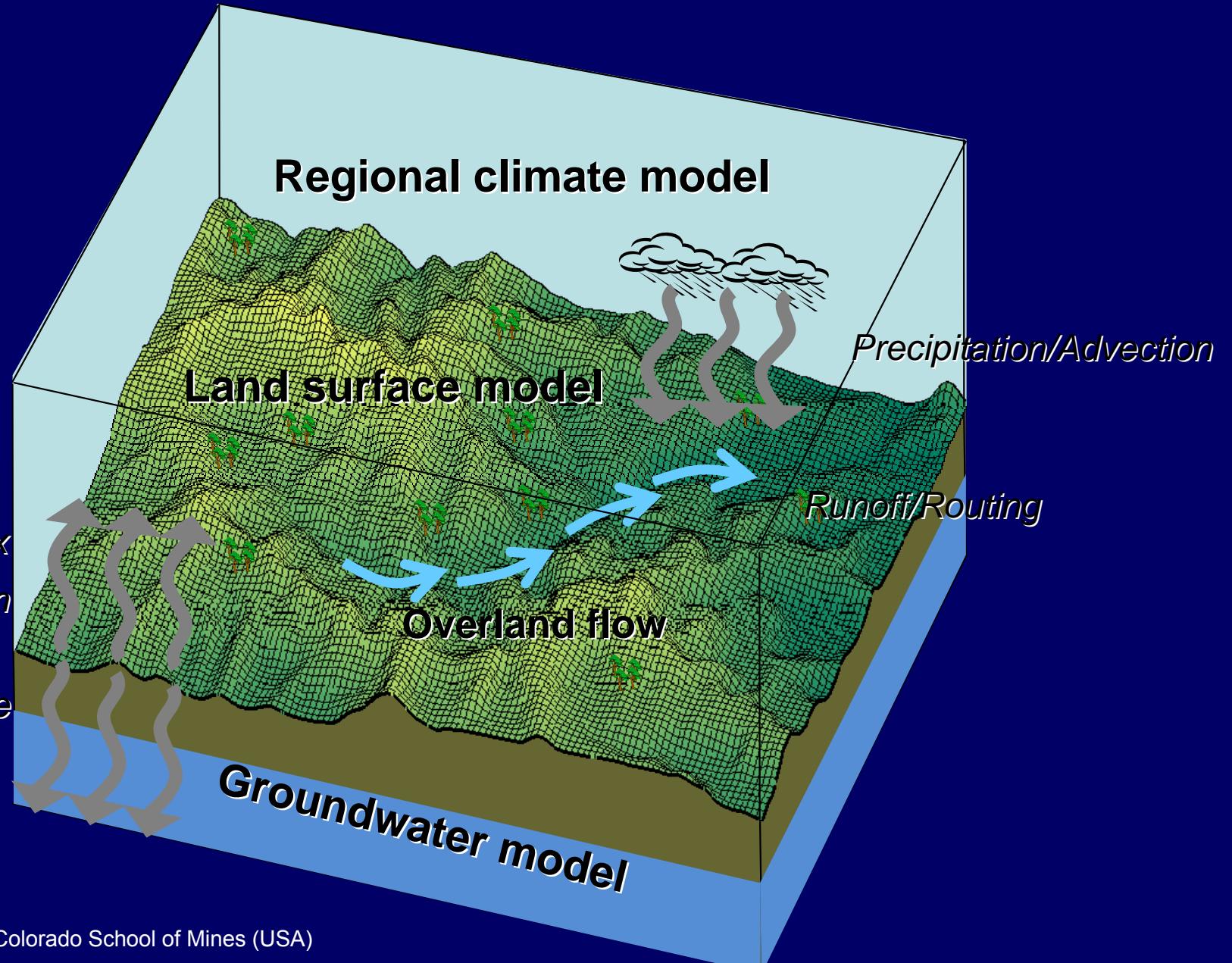
## 1) Surface continentale et couplage



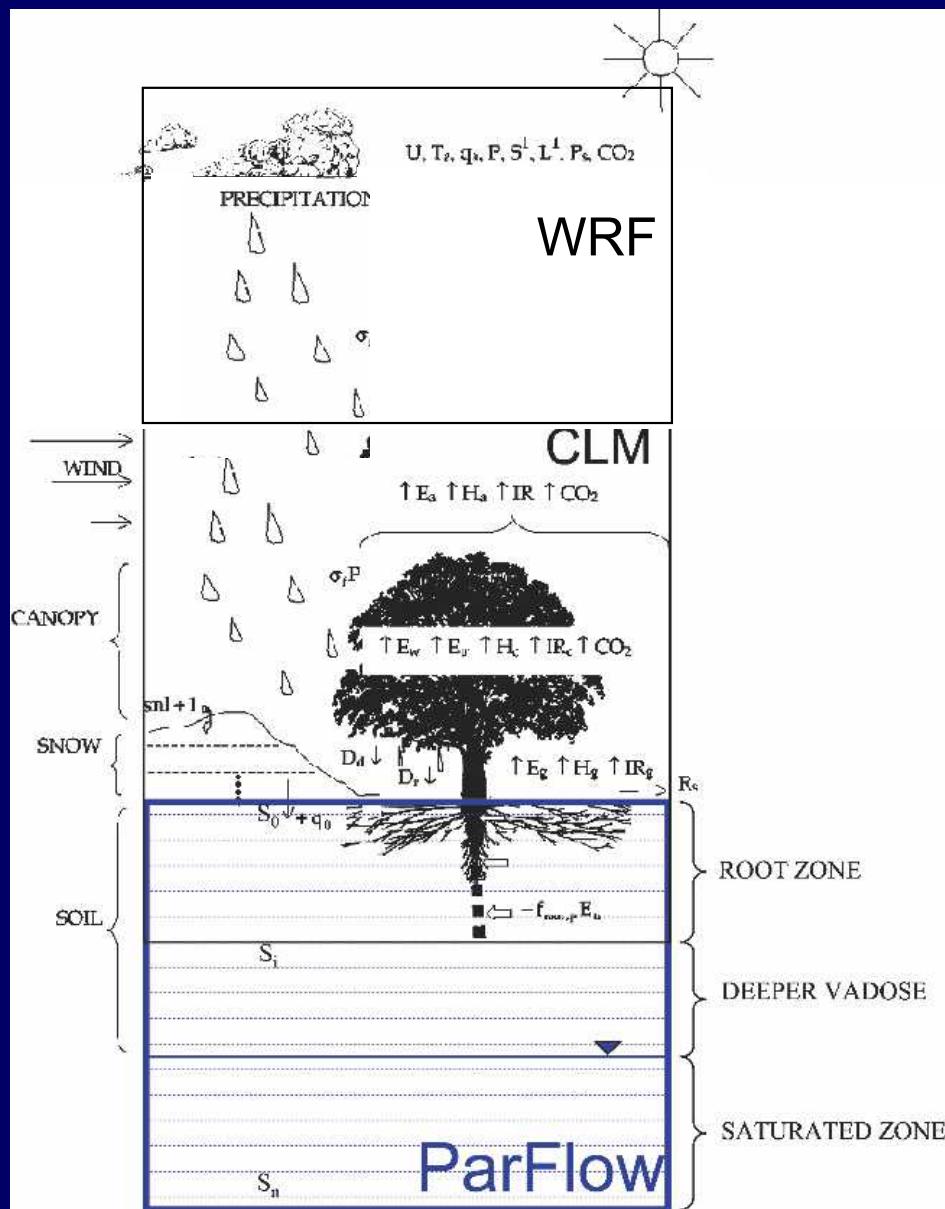
## 1) Surface continentale et couplage



## 1) Surface continentale et couplage



## 2) PARFLOW-CLM-WRF



WRF (3D atm model)  
or

Forcing :

$Sw \downarrow, Lw \downarrow, u, T^\circ, H\%,$  rain, snow (!)

CLM v3 SVAT model

2 Radiative sources  
LAI time series, IGBP vegetation parameters  
Resistance approach to calculate fluxes

→ kinematic Wave equation

(slope runoff)

Coupling through Root zone

Exp. Root density function  
Parametrable nb of level

3D Richards equations

Water and pollutant transfers :  
Porosity;  $K(\theta); h(\theta)$

Maxwell, R.M. and N.L. Miller, Journal of Hydrometeorology 6(3):233-247, 2005

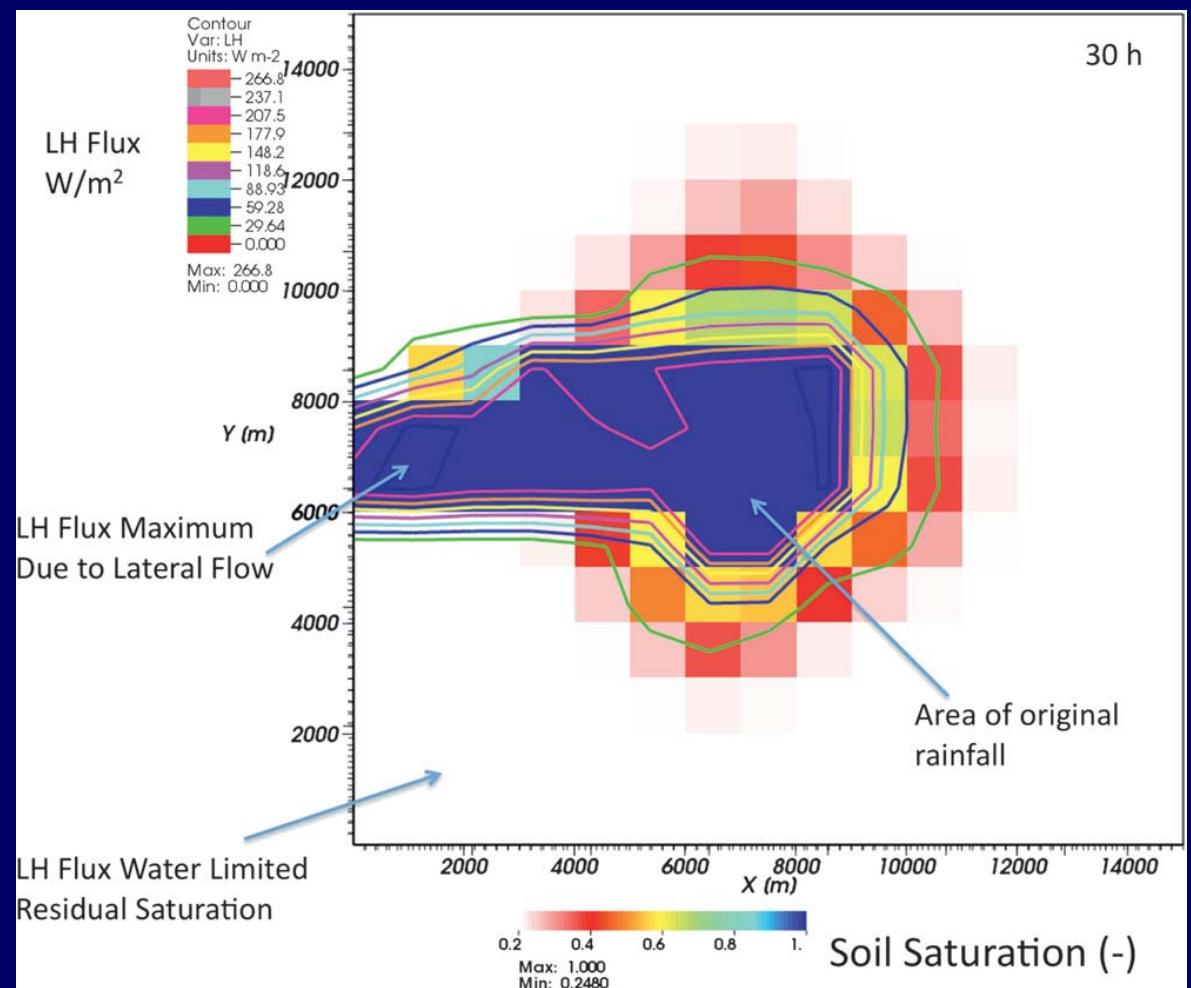
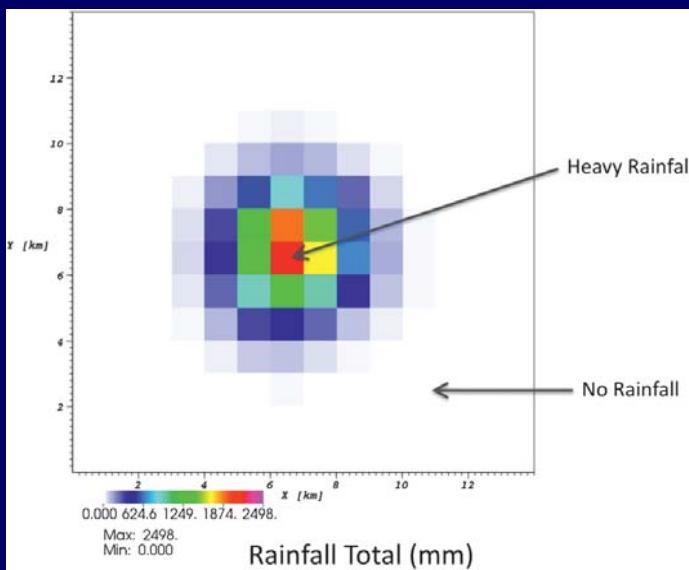
Maxwell, R. M., J. K. Lundquist, J. D. Mirocha, S. G. Smith, C. S. Woodward and A. F. B.

Tompson (2010). Monthly Weather Review 139(1): 96-116.

Kollet, S.J. and R.M. Maxwell, Water Resources Research 44:W02402, 2008

## 2) PARFLOW-CLM-WRF

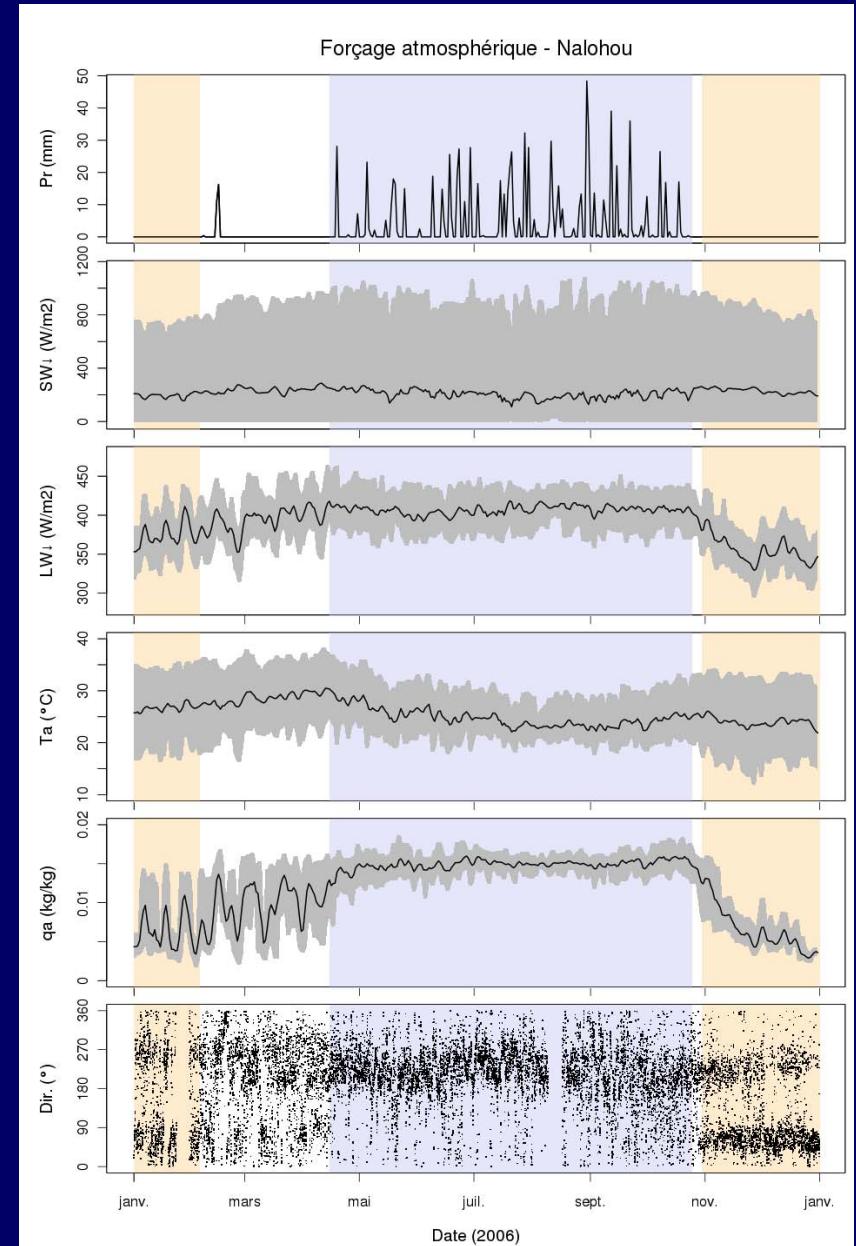
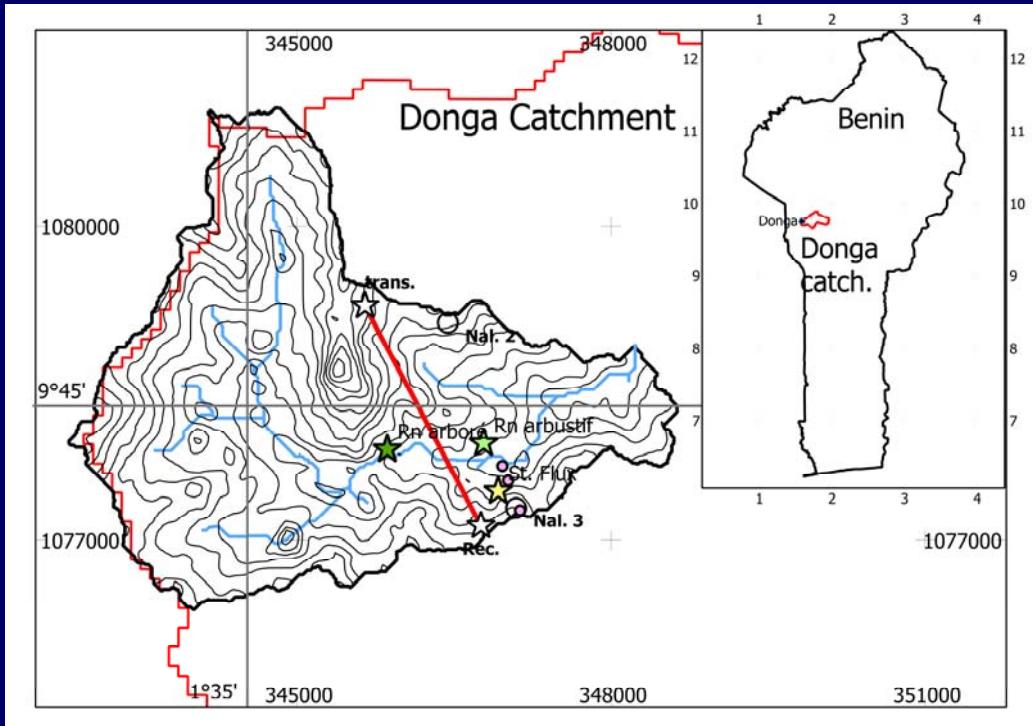
Exemple: cas idéalisé d'une précipitation locale avec génération de ruissellement  
Maxwell et al 2010



Maxwell, R. M., J. K. Lundquist, J. D. Mirocha, S. G. Smith, C. S. Woodward and A. F. B. Tompson (2010). "Development of a Coupled Groundwater–Atmosphere Model." Monthly Weather Review 139(1): 96-116.

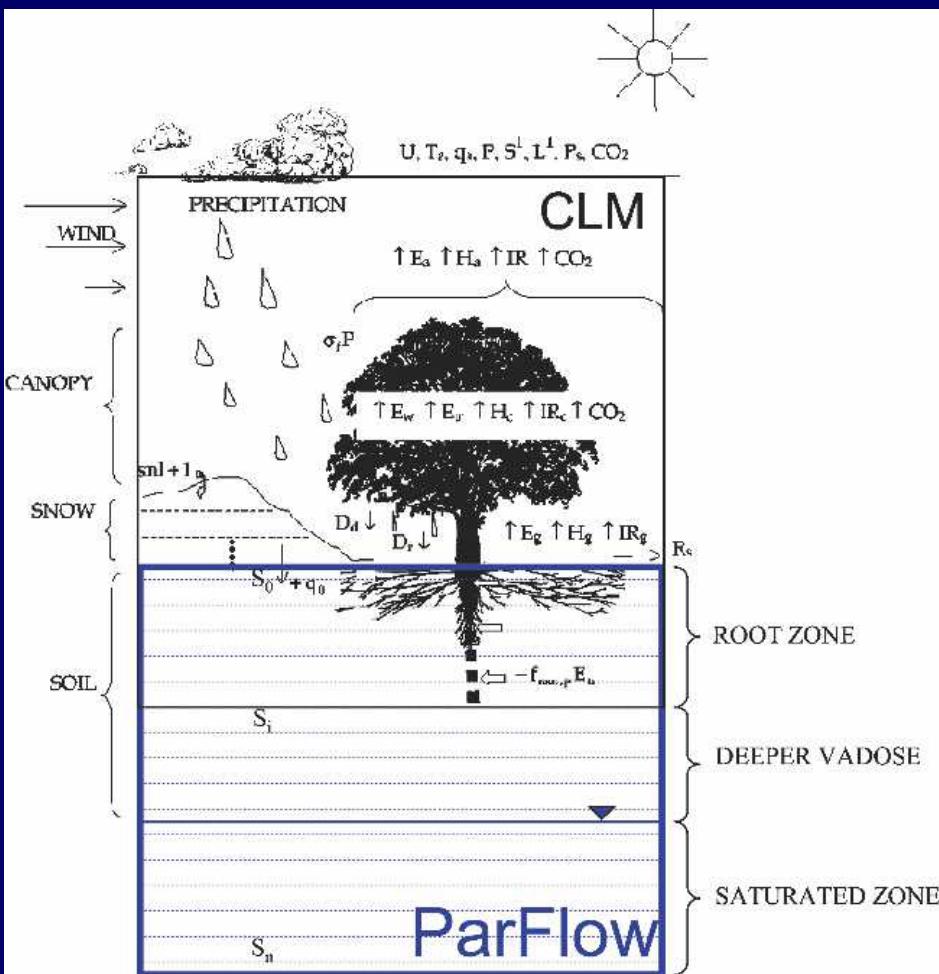
## 3) Le Bassin versant de l'Ara (Bénin)

### Application à l'hydrologie du Bassin d'Ara



- 1D – évaluation du modèle de surface
- 3D – étude de la variabilité spatiale des propriétés hydrodynamiques
- 2D – étude de l'impact de la variabilité spatiale des épaisseurs de sol

### 3) Le Bassin versant de l'Ara (Bénin)



**Forçage :**  
 $Sw \downarrow, Lw \downarrow, u, T^\circ, H\%, rain, snow (!)$

} SVAT: CLM v3-modifié  
2 sources radiatives  
LAI series, vegetation IGBP  
flux: résistances équivalentes

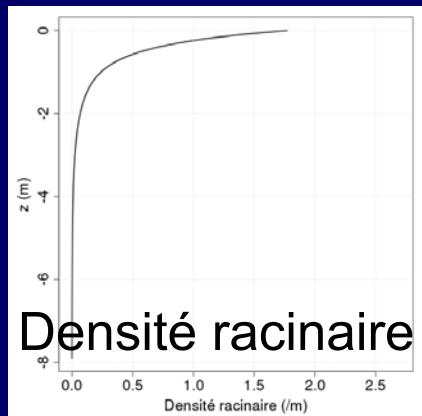
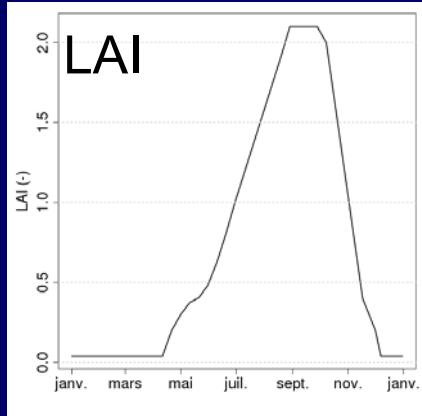
→ Onde cinématique  
(ruissellement de pente)

} Couplage par la zone racinaire  
densité racinaire: fonction exp.  
nb de niveau de couplage 80

} equations Richards 3D  
Porosité;  $K(\theta)$ ;  $h(\theta)$

## 3) Le Bassin versant de l'Ara (Bénin) – 1D

### 1D – Evaluation du modèle de surface

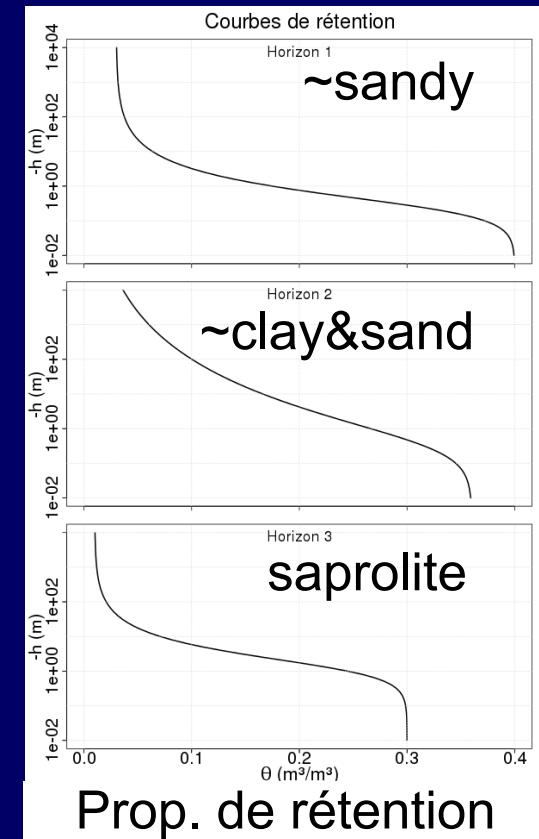
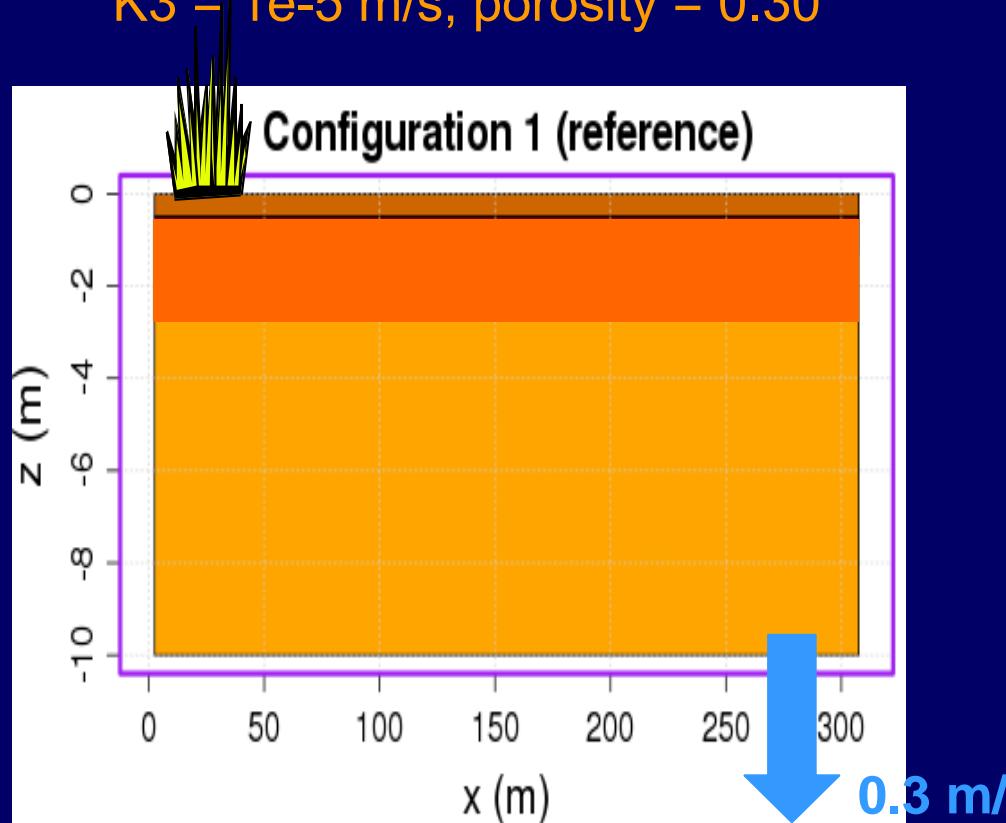


**-3 horizons :**

K<sub>1</sub> = 1e-5 m/s, porosity = 0.44

K<sub>2</sub> = 1e-6 m/s, porosity = 0.40

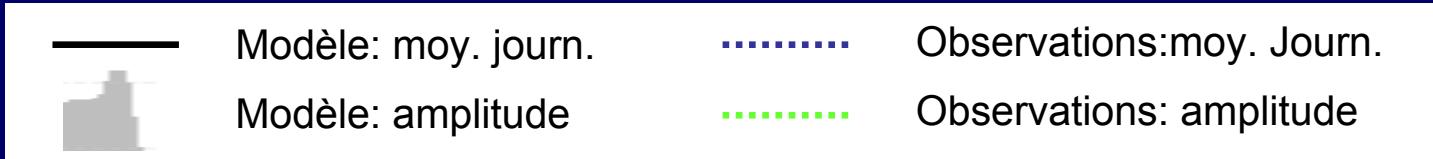
K<sub>3</sub> = 1e-5 m/s, porosity = 0.30



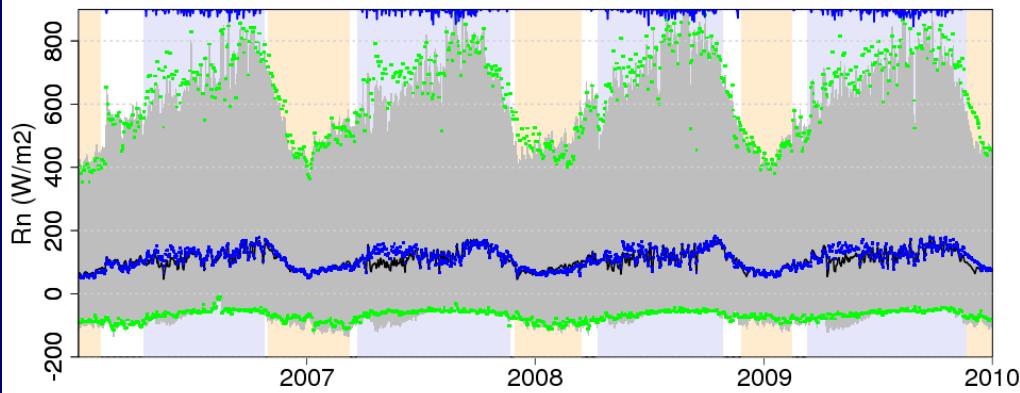
- Pas de temps : 30 min
- mailles : D<sub>x</sub> = D<sub>y</sub> = 5m ; D<sub>z</sub>=0.1m

### 3) Le Bassin versant de l'Ara (Bénin) - 1D

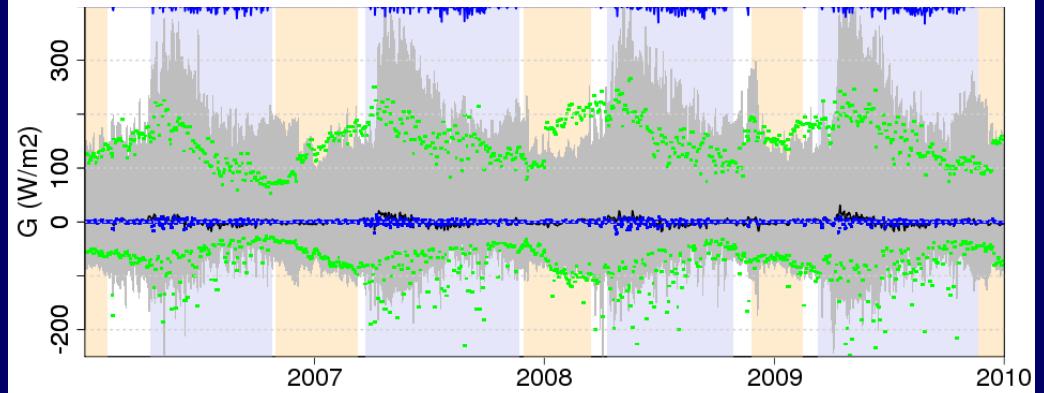
#### Bilan d'énergie



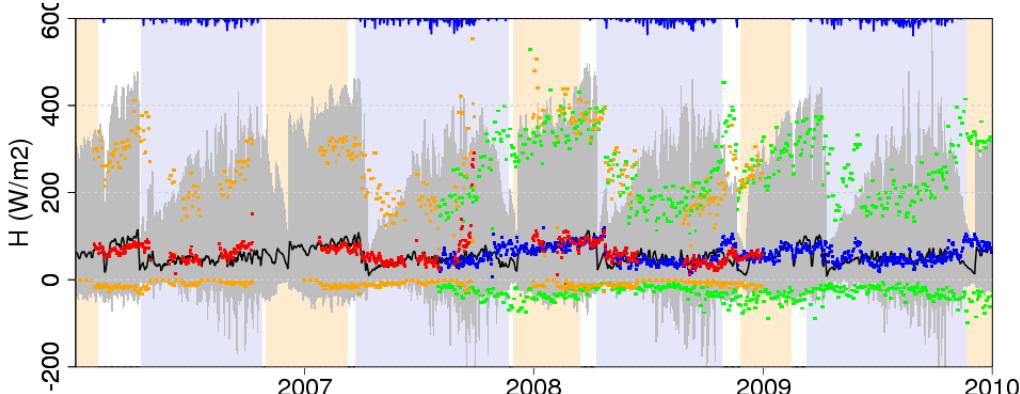
#### Radiation Net



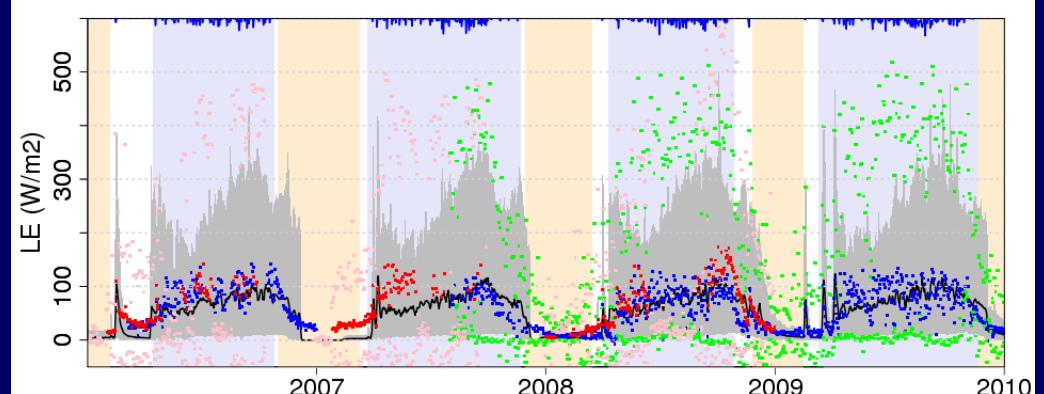
#### flux de chaleur dans le sol



#### Flux sensible



#### Flux Latent



Plus

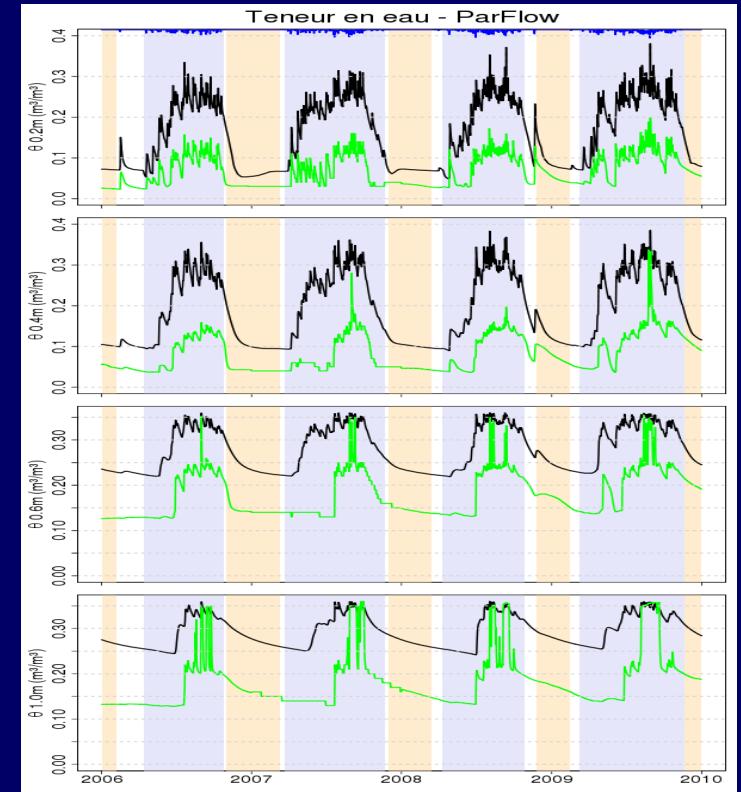
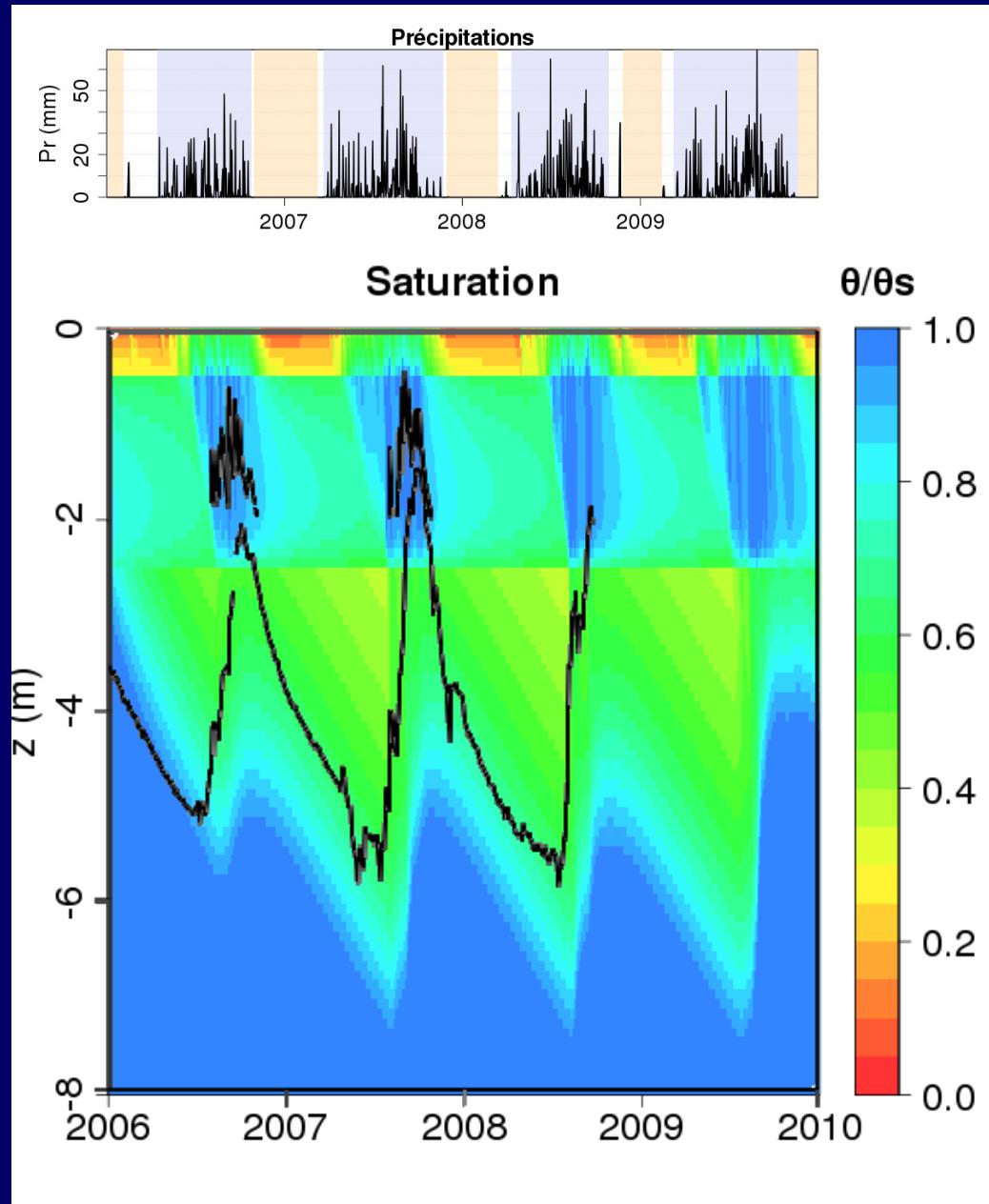
- Rayonnement net
- valeur journalière H, LE, G

Moins

- Amplitude journalière
- $T_{\text{surf}}$  trop chaude

### 3) Le Bassin versant de l'Ara (Bénin) – 1D

profils d'humidité



Plus

- Nappe perchée
- Dynamique de nappe
- Dynamique de l'humidité

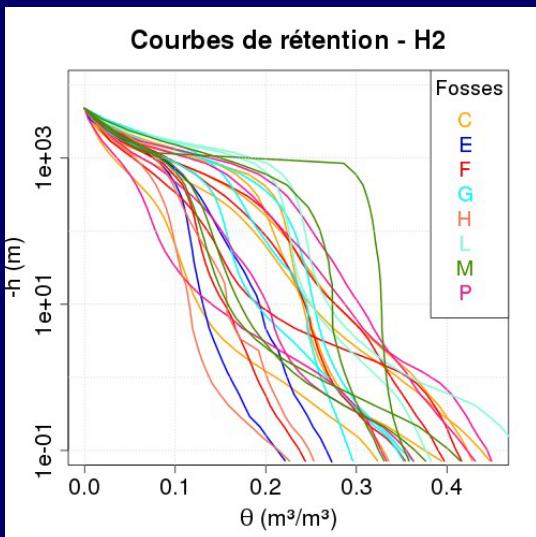
Moins

- Variabilité verticale des propriétés hydrodynamiques non prise en compte
- macro-porosité non pris en compte

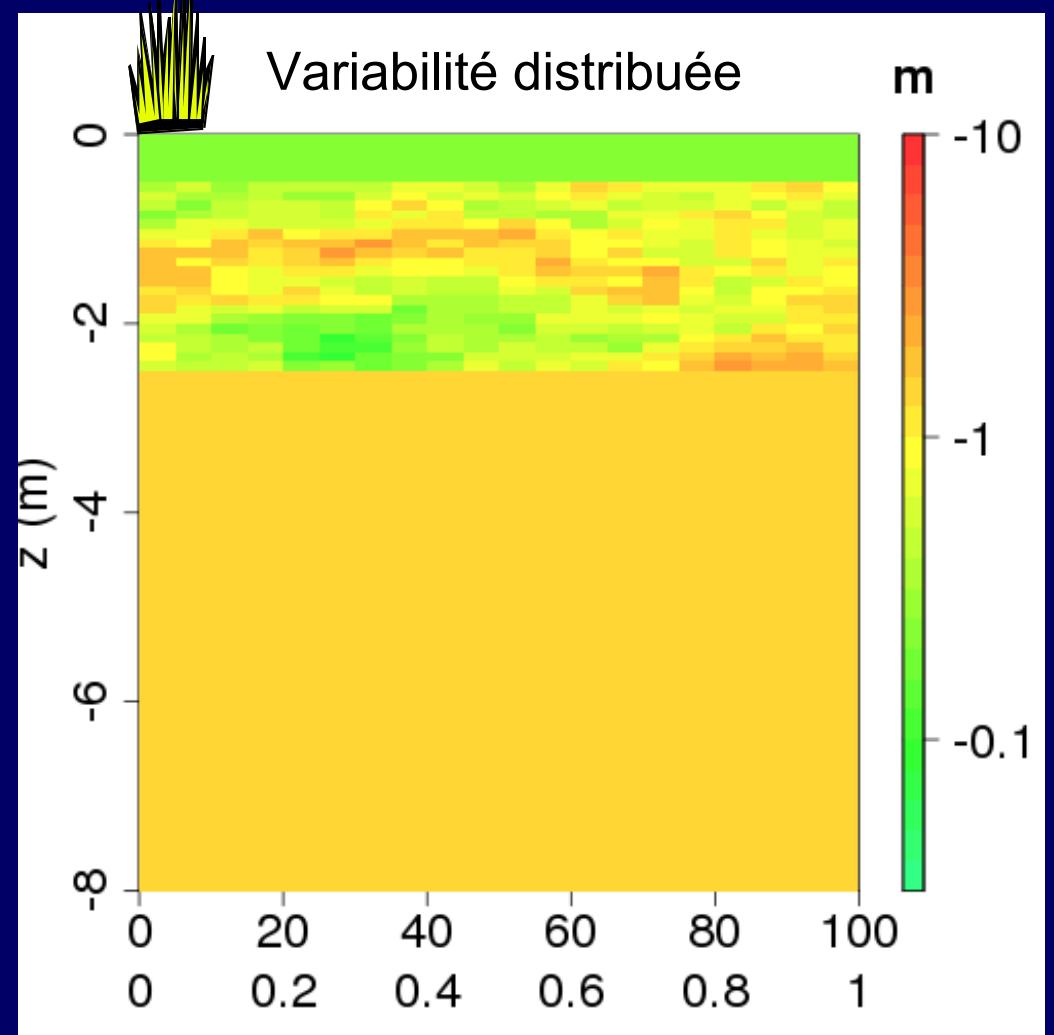
### 3) Le Bassin versant de l'Ara (Bénin) – 3D

3D – étude de la variabilité spatiale des propriétés hydrodynamiques

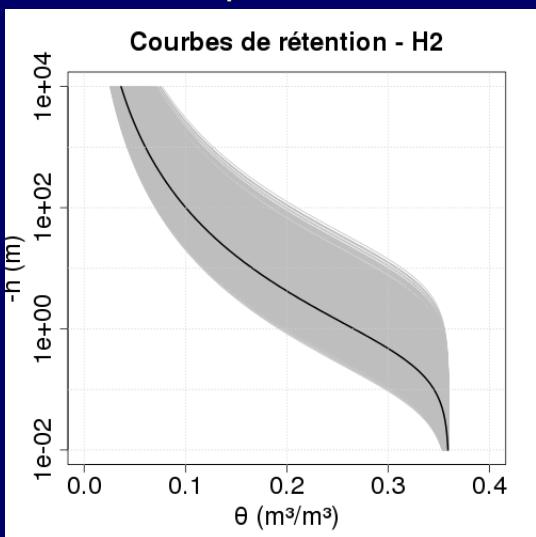
Variabilité observée



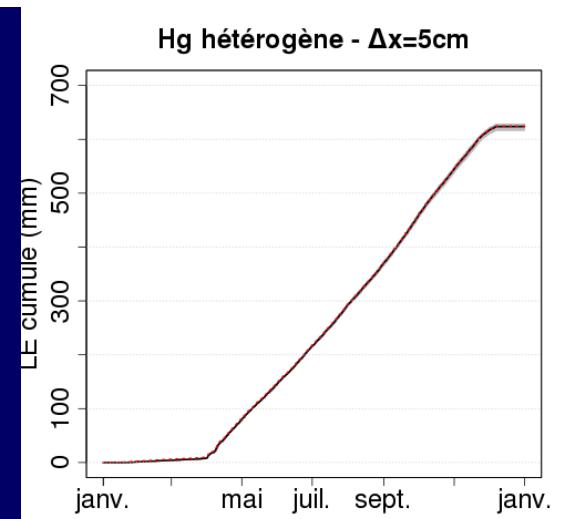
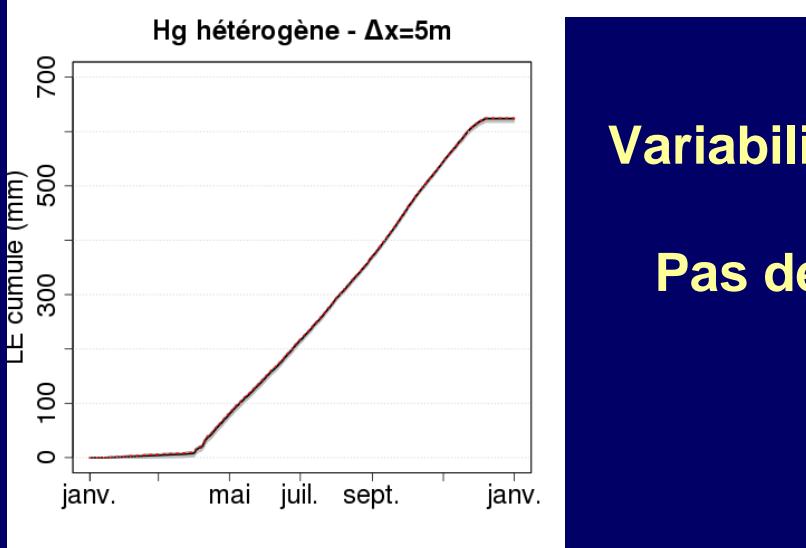
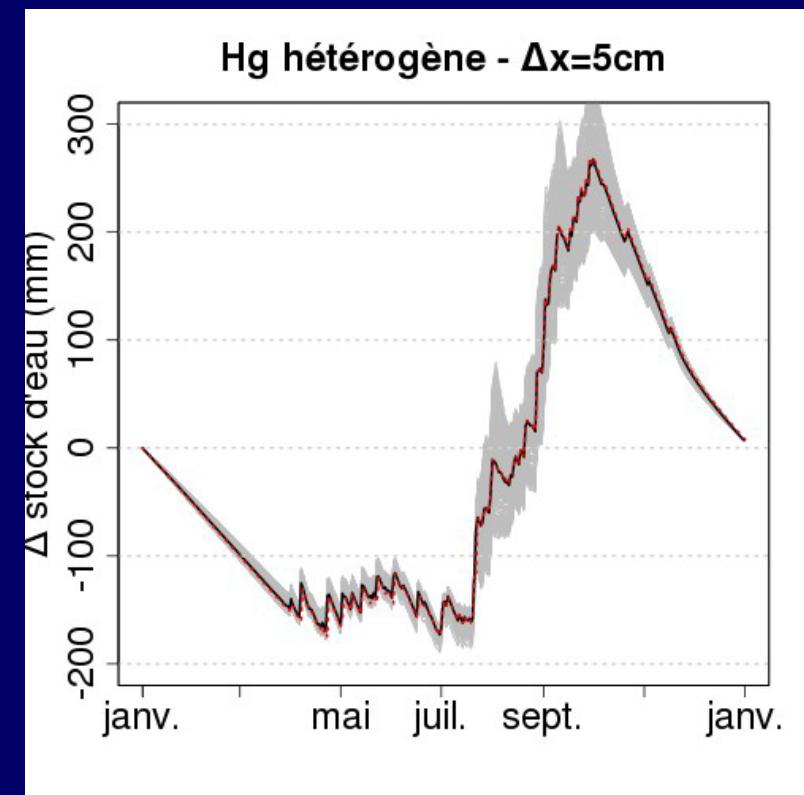
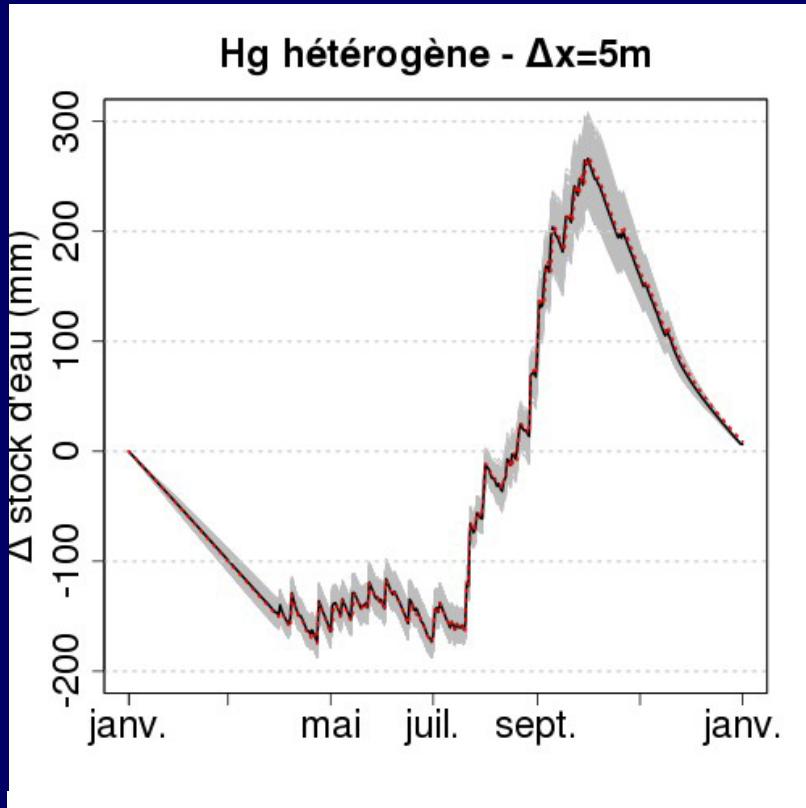
Distribution spatiale par la méthode des bandes tournantes



Variabilité prescrite



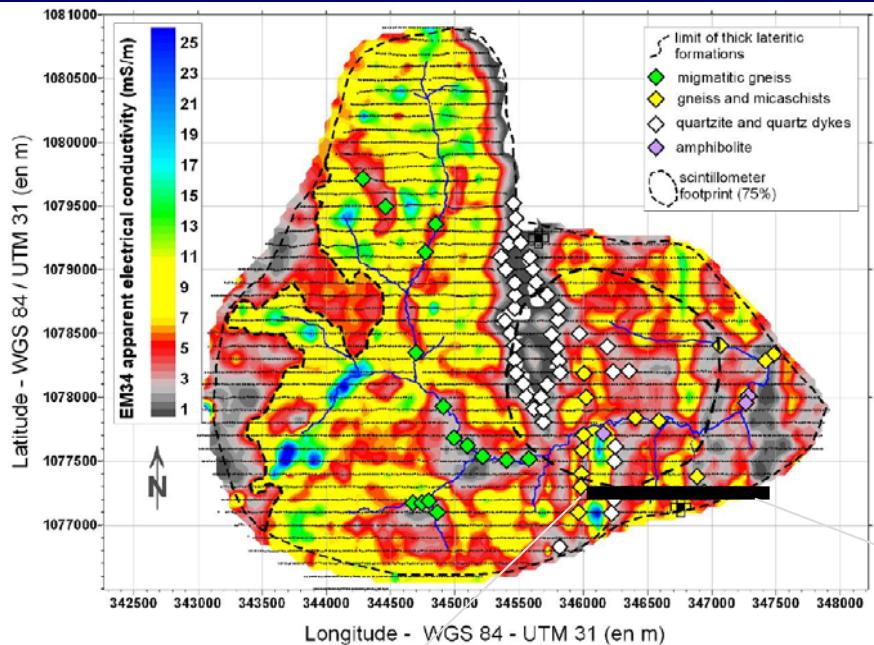
## 3) Le Bassin versant de l'Ara (Bénin) – 3D



**Variabilité spatiale des stocks**

**Pas de variabilité de l'ETR**

## 3) Le Bassin versant de l'Ara (Bénin) – 2D



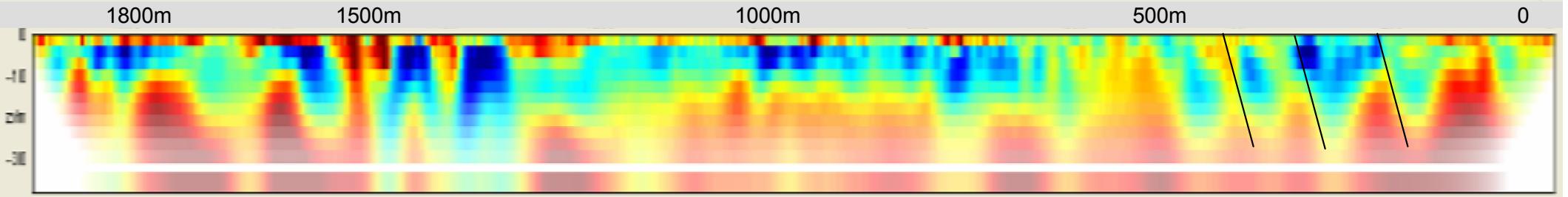
### Geological structure :

- sols lateritiques
- Socle fracturé organisé en bandes composées de différentes couche d'altération (migmatitic gneiss, micaschists, quartzite and amphibolite)

→ orientation : nord-sud  
→ pendage : 20° est



**Impact de la géologie sur la distribution spatiale de l'humidité, de l'ETR et la génération des écoulements**



## 3) Le Bassin versant de l'Ara (Bénin) – 2D

Modèle Couplé : ParFlow-CLM

- 3 horizons :

$K_1 = 1e-5 \text{ m/s}$ , porosité = 0.44

$K_2 = 1e-6 \text{ m/s}$ , porosité = 0.40

$K_3 = 1e-5 \text{ m/s}$ , porosité = 0.30

- Pas de temps : 30 min

- mailles :  $Dx = Dy = 5$  ;  $Dz=0.1\text{m}$

**Cond. Limite supérieure :**

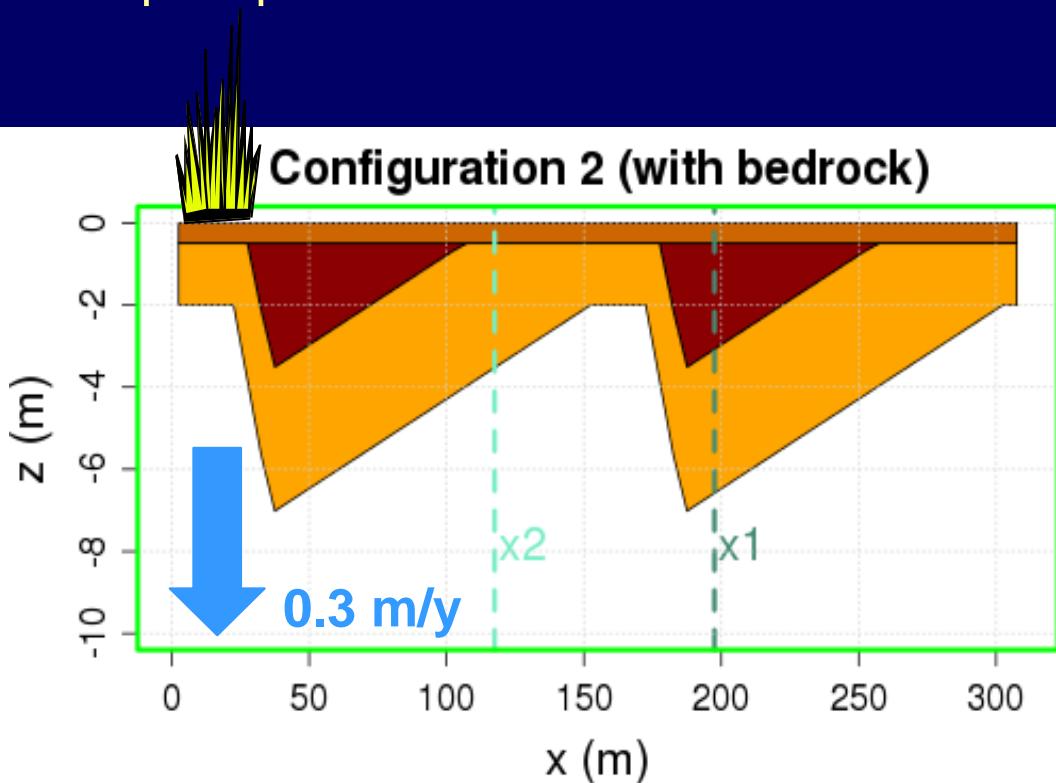
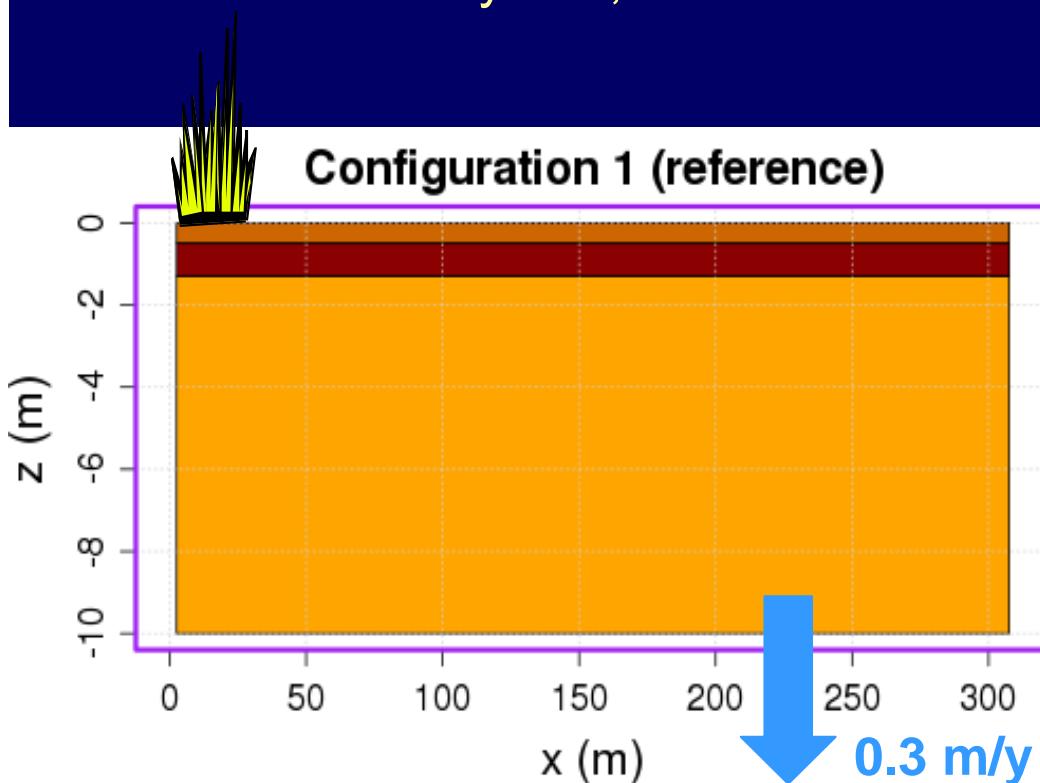
- bilan d'énergie résolu par CLM

- 1 an de forçage atmosphérique  
(2006 à Nalohou (Benin))

- Vegetation : herbacé

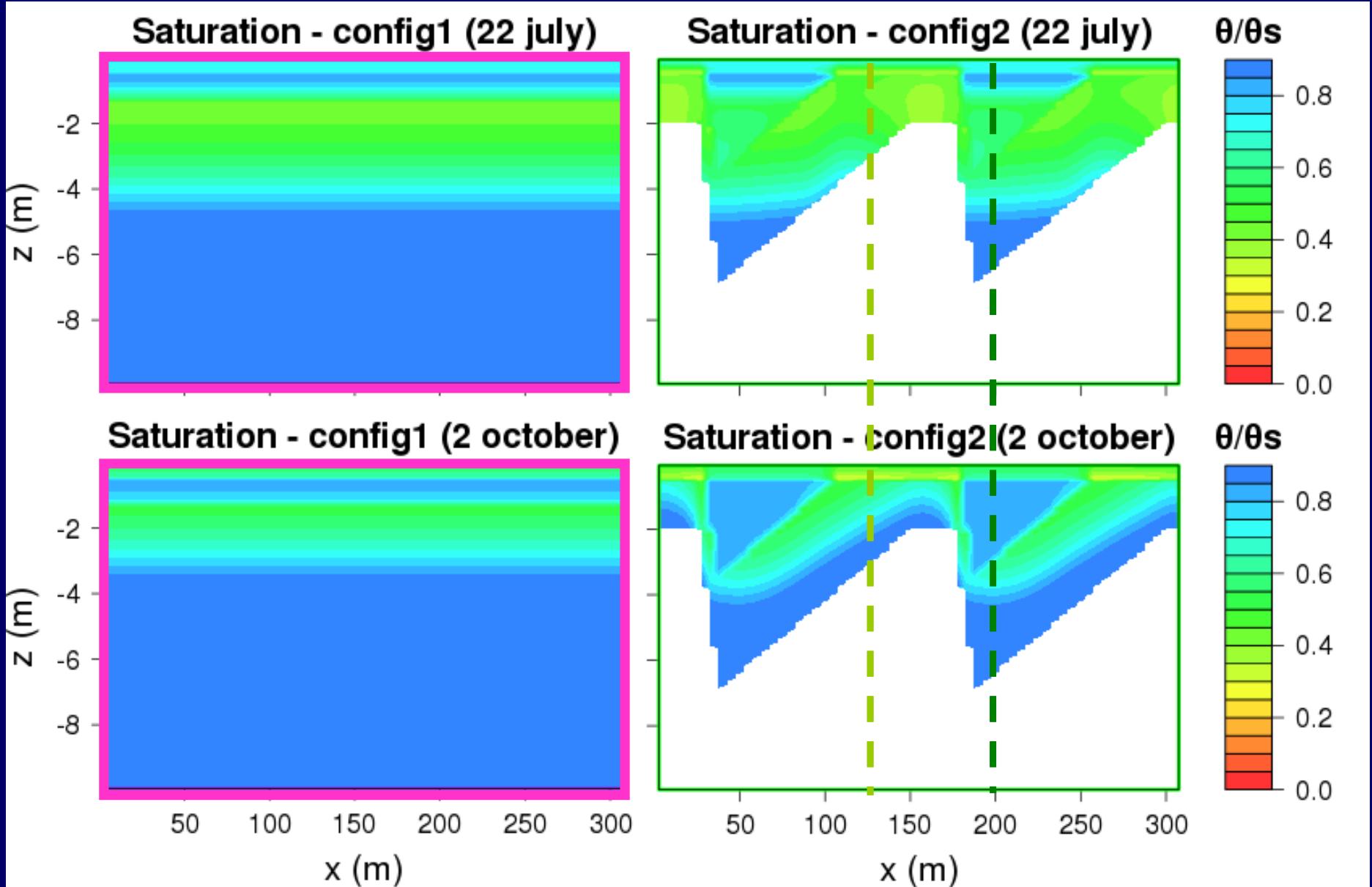
**Cond. Limite inférieure :** flux constant

- spin up: 1 an



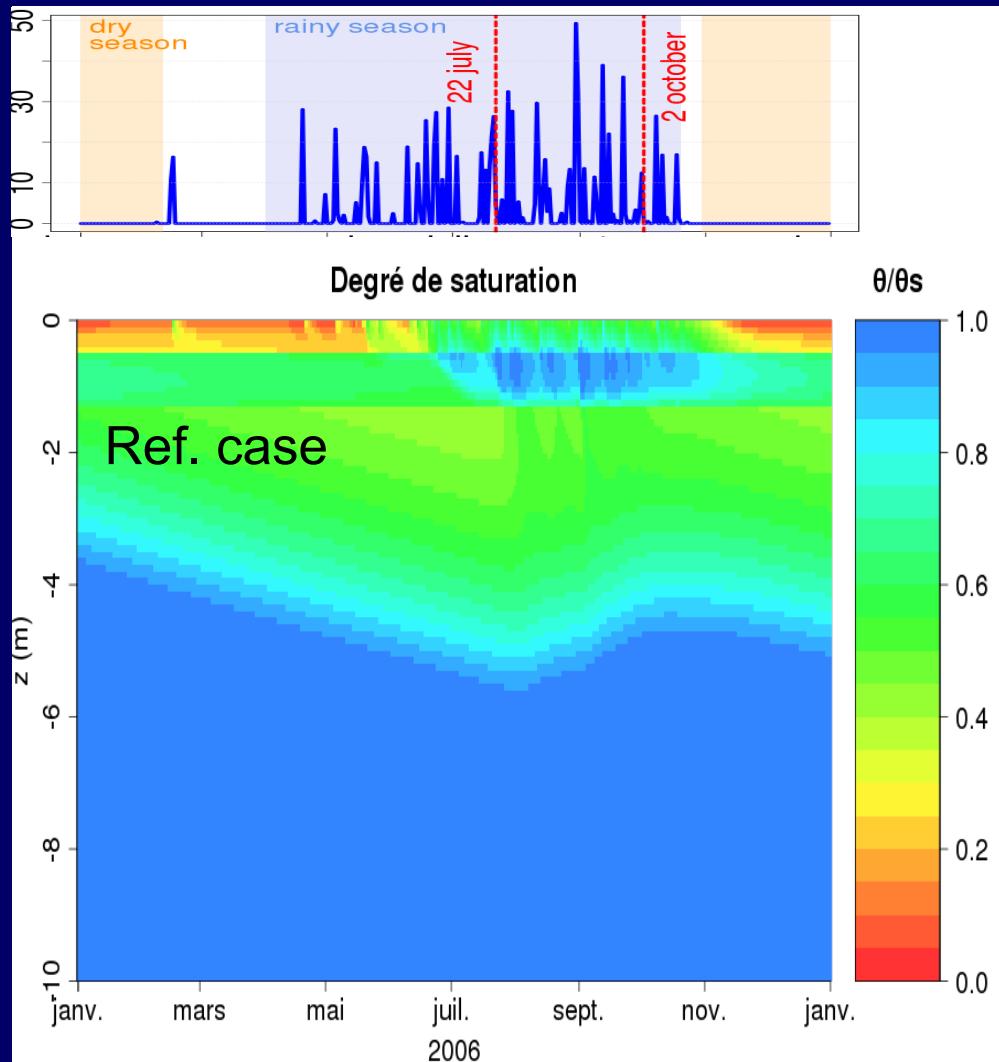
### 3) Le Bassin versant de l'Ara (Bénin) – 2D

#### Comparison à 2 dates

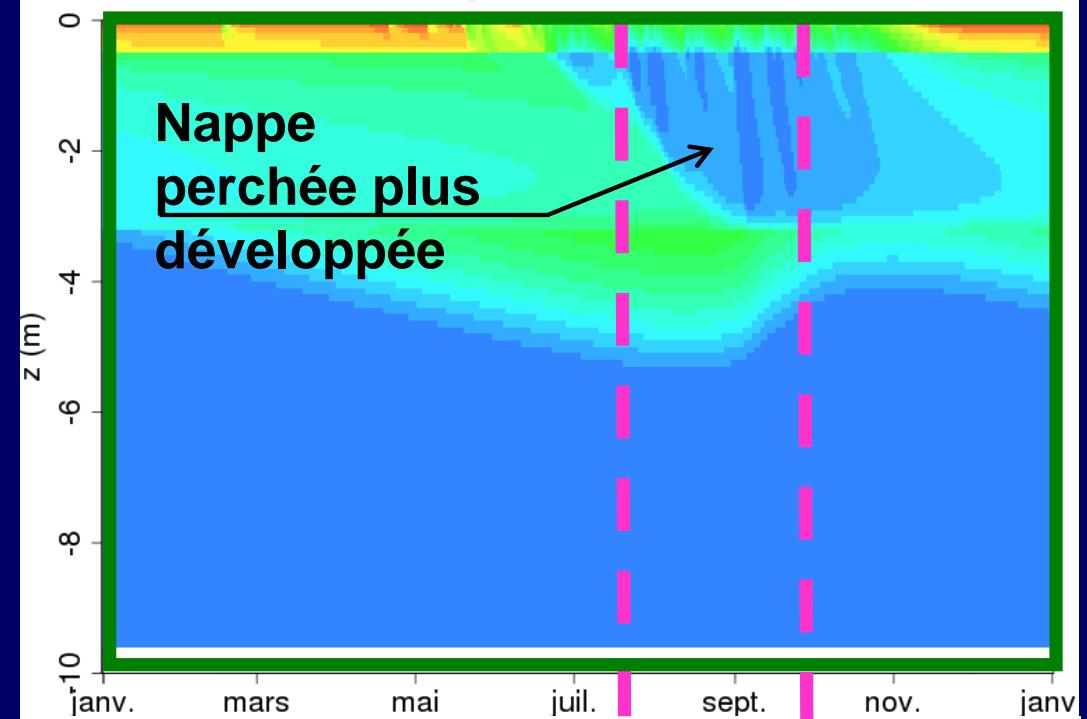


## 3) Le Bassin versant de l'Ara (Bénin) – 2D

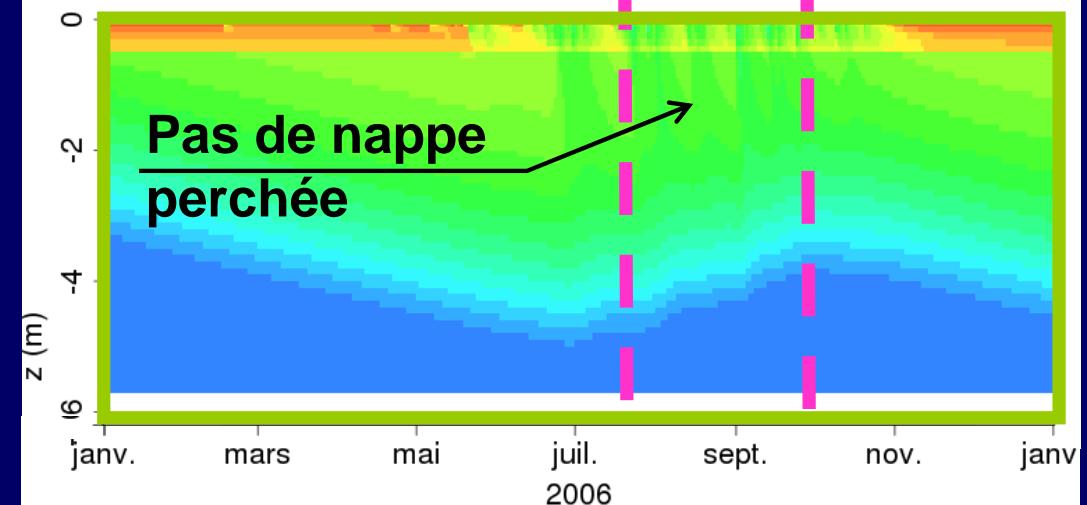
### profils d'humidité



### Degré de saturation



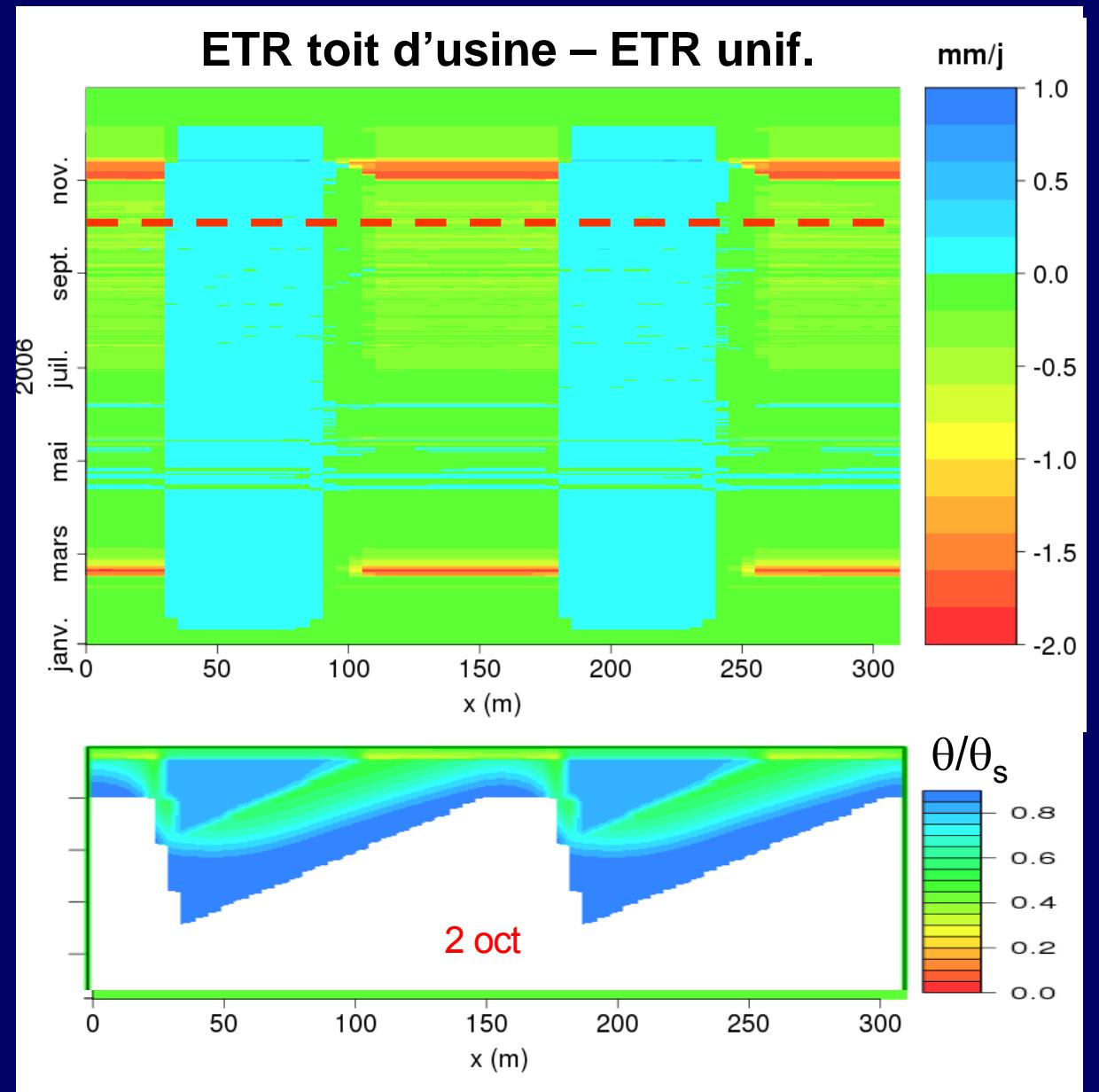
### Degré de saturation



## 3) Le Bassin versant de l'Ara (Bénin) – 2D

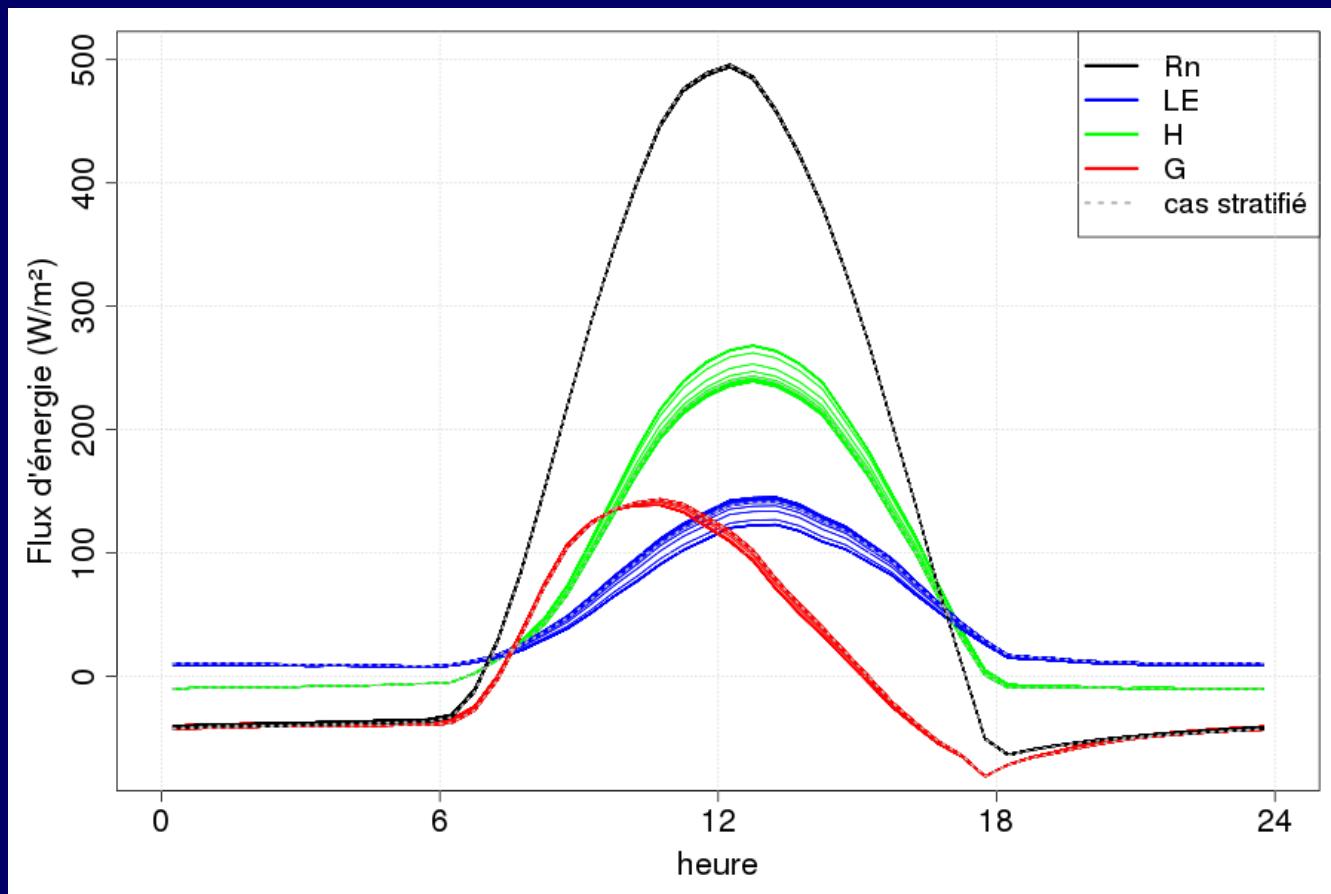
### Anomalies d'Evapotranspiration

- déficit constant de 0.5 mm/d pour le cas en toit d'usine en dehors des lentilles d'argile.
- différences significative 2 mm/d pendant la période d'assèchement et après les événement pluvieux isolés.

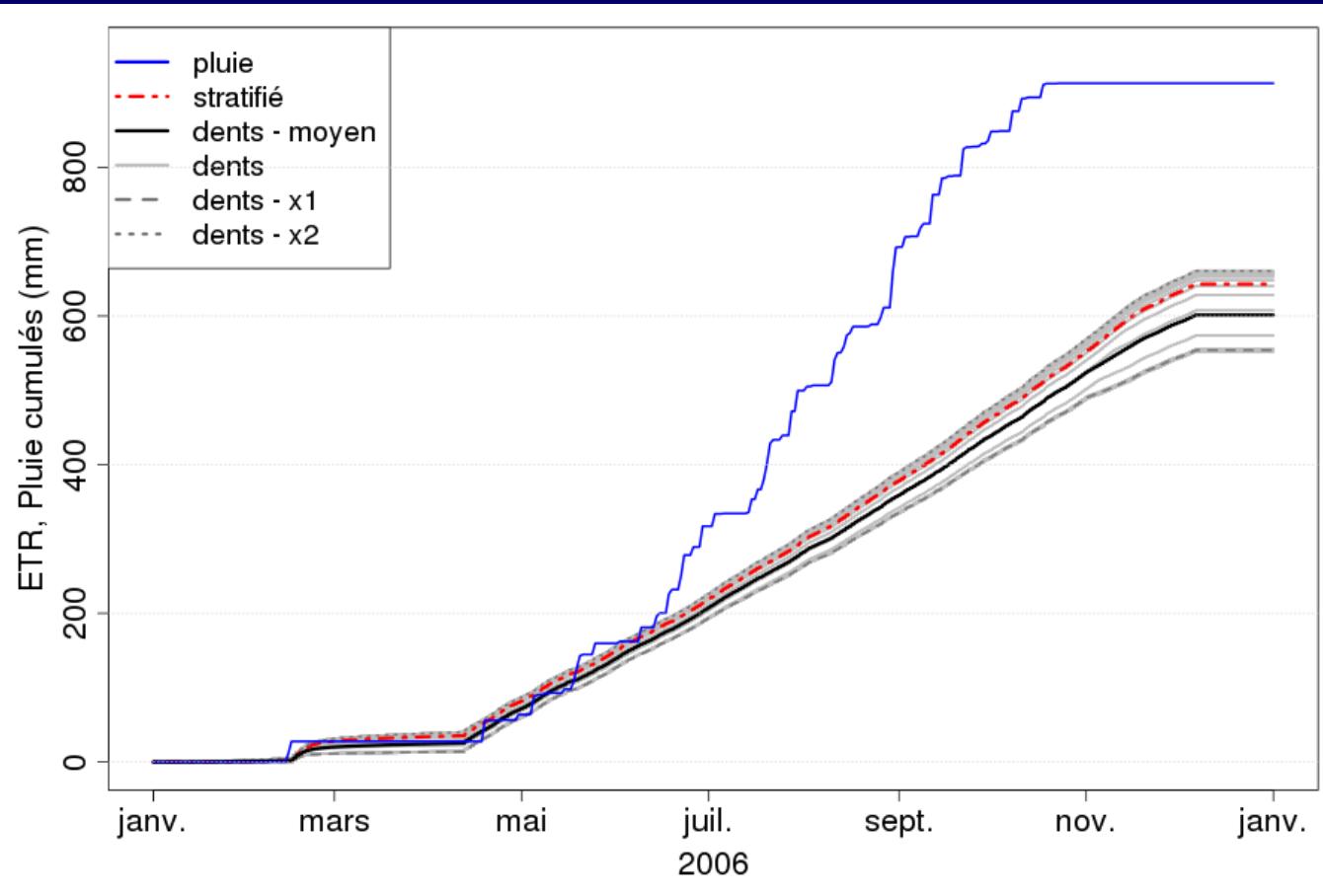


### 3) Le Bassin versant de l'Ara (Bénin) – 2D

Cycle journalier moyen par pixel des différents termes du bilan d'énergie



- Variabilité horizontale de l'ETR: qq 10<sup>aînes</sup> deW/m<sup>2</sup> en moyenne
- Reporté sur le flux sensible



pluie = 913 mm

*Config 1 : Homogène*

AET = 632 mm  
(~70% rain)

*Config 2 : Toit d'usine*

AET =  $601 \pm 49$  mm  
( $68 \pm 5$  % rain)

Rappel: ruissellement est inférieur et inférieur à 150 mm/an pour le bassin d'Ara.

### 3) Conclusion - perspective

Ces simulations montrent :

- La capacité du model à redistribuer l'eau et à représenter les processus d'ETR en lien avec la disponibilité en eau;
- variabilité locale observée des propriétés hydrodynamiques des sols influence peu l'ETR (par rapport à des propriétés moyennes)
- Des **différences significatives d'ETR apparaissent entre zone avec lentille argileuse et zone sans lentille argileuse**

Perspective ...

- **Simulation 3D des transferts à l'échelle du bassin versant.**





# Merci pour votre attention ...



Contacts : [jean-martial.cohard@ujf-grenoble.fr](mailto:jean-martial.cohard@ujf-grenoble.fr)

