

# Modèle de bilan hydrologique LARSIM

---

## Réservoir sol

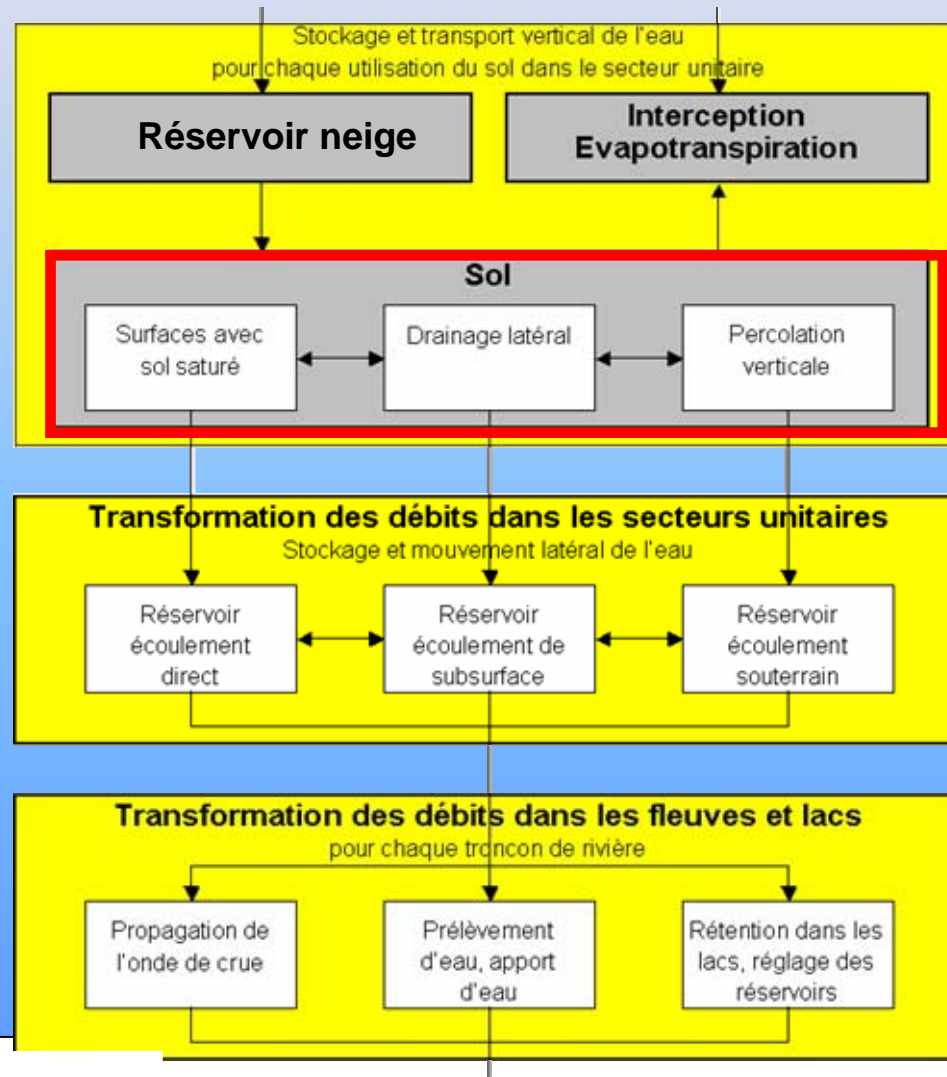
*Manfred Bremicker, Kai Gerlinger, Oliver Gronz*

Mars 2012



# Réservoir sol

## Le module « sol » dans LARSIM:

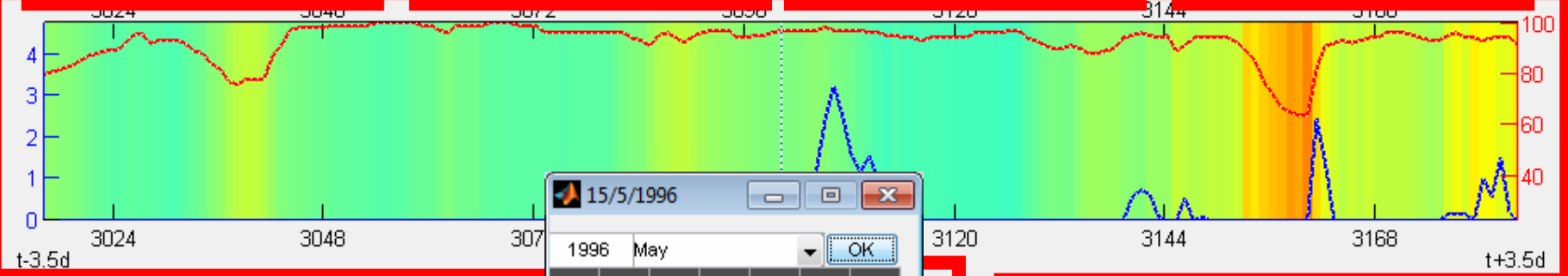
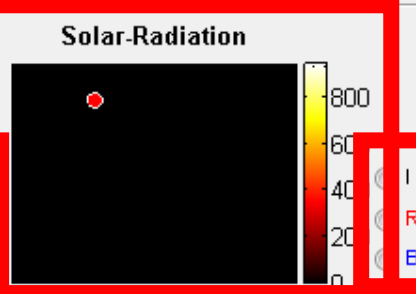
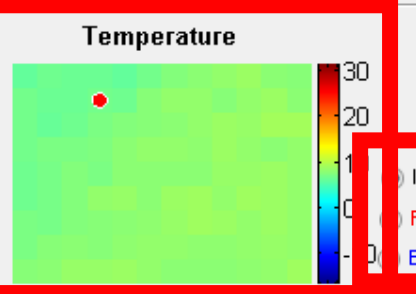
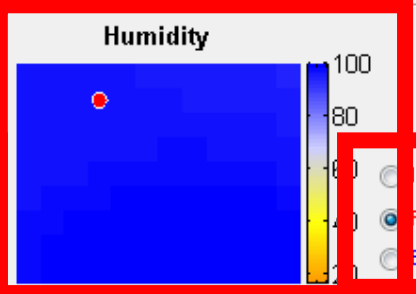
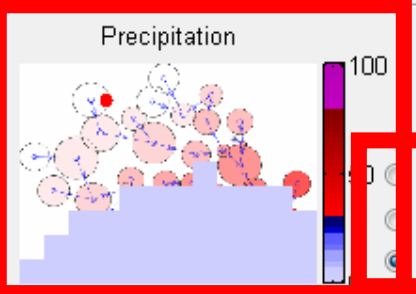


Le sol est le système central de régulation et de distribution dans le cycle de l'eau

Modèle du sol = compromis eu égard :

- à l'importance du sol dans le cycle hydrologique
- à l'hétérogénéité des sols
- aux données disponibles pour les caractéristiques du sol
- au temps de calcul dans le modèle

Actuellement : étalonnage de trois paramètres du sol, définition d'autres paramètres tirés de valeurs bibliographiques

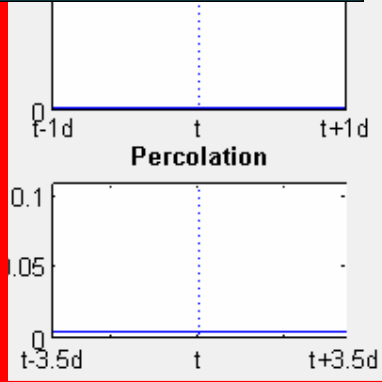
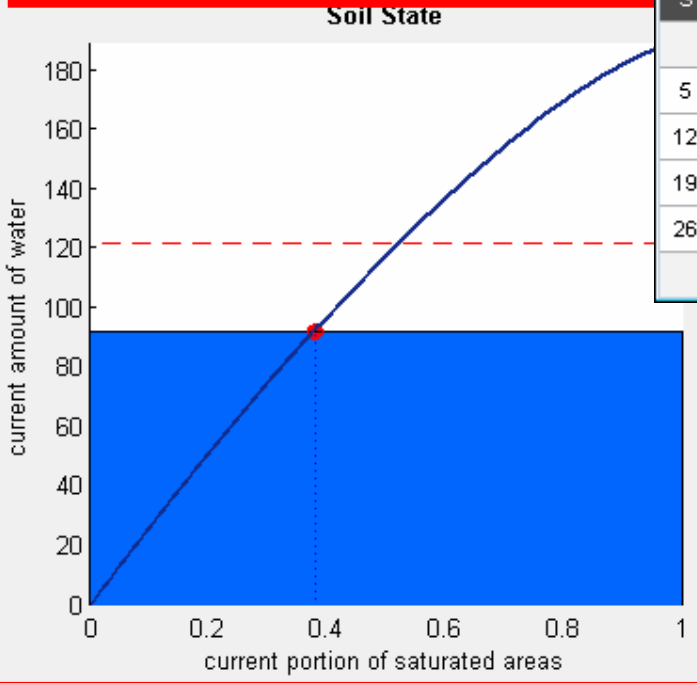


15/5/1996

1996 May

S	M	T	W	T	F	S
			1	2	3	4
5	6	7	8	9	10	11
12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25
26	27	28	29	30	31	

OK



Info

Area: 0.125

Soil Storage Capacity: 189

Land Use: Laubwald

Runoff process type: DP

Water Yield (Plot):  I  R  B

t = 15-May-1996 05:00:00

Start Stop

# Réservoir sol

Description du processus sous-échelle à l'intérieur des rasters/secteurs unitaires :

**Modélisation séparée du bilan hydrologique pour les compartiments occupation des sols et sol couplés à l'intérieur du raster kilométrique**



37 ha de prairies  
sur un sol à  
paramétrage A



24 ha de forêt  
mixte

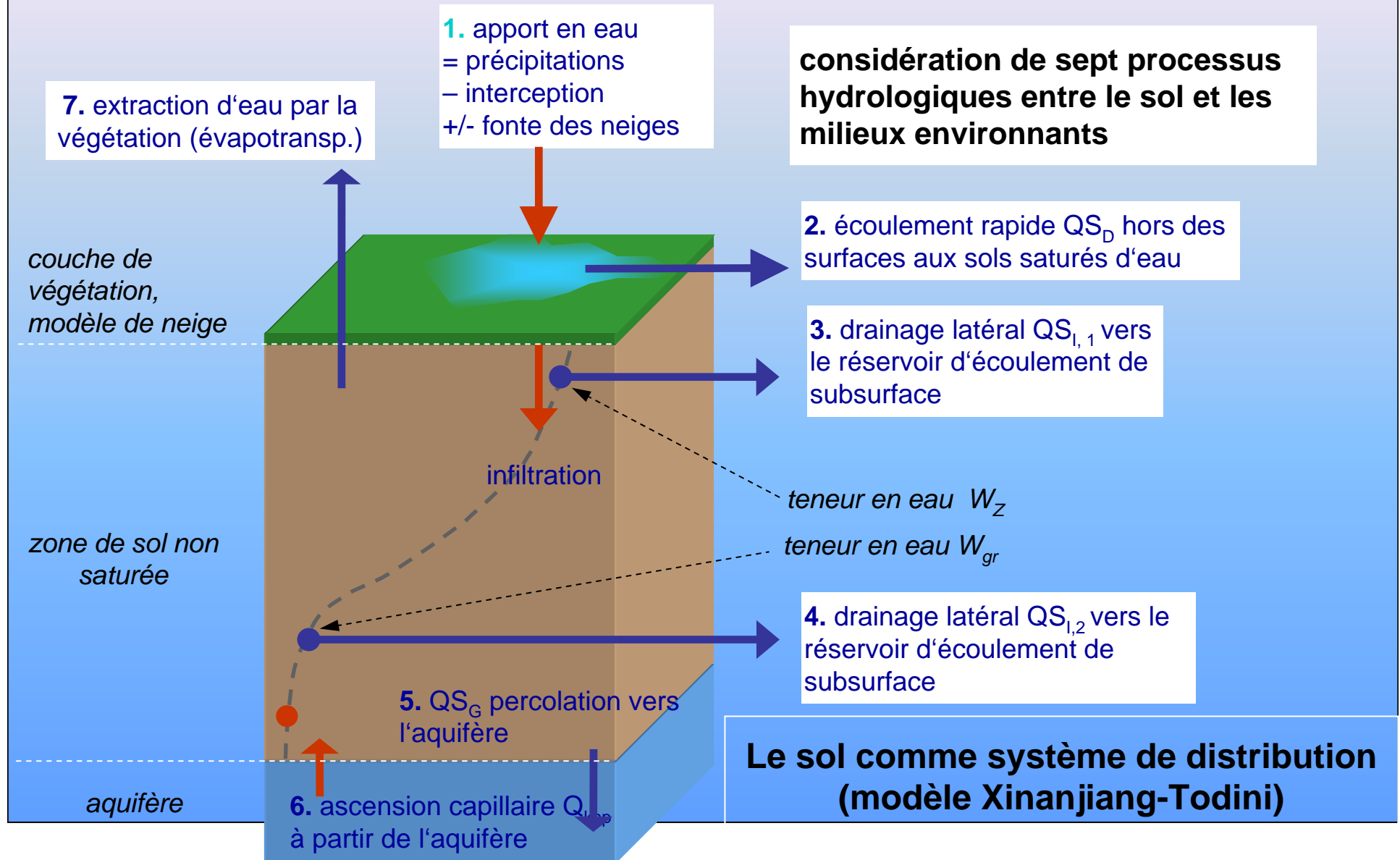


39 ha de blé  
sur un sol à  
paramétrage C

sur un sol à  
paramétrage B

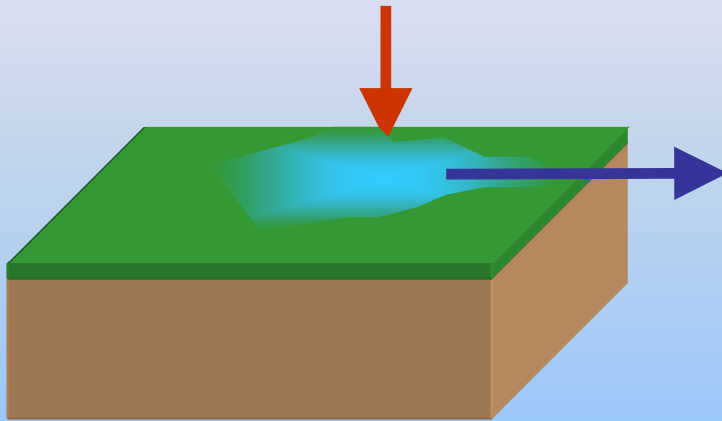
- ☒ la position des pixels individuels d'occupation des sols à l'intérieur du raster est négligée
- ☒ une colonne représentative par catégorie d'occupation des sols et de sol
- ☒ observation agrégée de tous les pixels de surface
- ☒ projection équivalente de la répartition de l'occupation des sols dans des temps de calcul praticables

# Réservoir sol



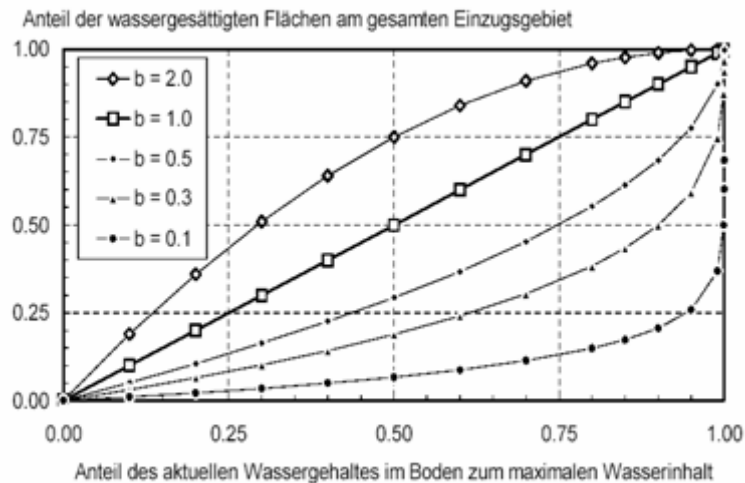
# Réservoir sol

## La fonction humidité du sol/surfaces saturées :



### Hypothèses du modèle :

- il y a des surfaces aux sols (au moins temporairement) saturés dans le secteur unitaire
- sur les sols saturés, l'eau s'écoule rapidement
- relation entre le pourcentage de surfaces aux sols saturés dans le compartiment et l'humidité momentanée du sol dans la colonne du sol modélisée :



$$\frac{s}{S} = 1 - \left( 1 - \frac{W_0}{W_m} \right)^b$$

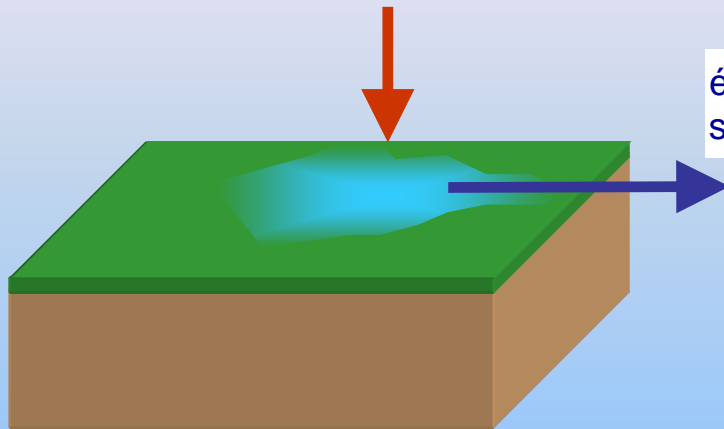
paramètre d'étalonnage

mit:

$s/S$	[%]	Pourcentage de sols saturés par rapport à la superficie totale du bassin versant
$W_0$	[mm]	capacité momentanée du réservoir sol
$W_m$	[mm]	retenue maximale d'eau dans la totalité du réservoir sol
$b$	[-]	paramètre de forme de la fonction humidité du sol/surfaces saturées (voir chap. 3.3.1 pour la régionalisation du paramètre b)

# Réservoir sol

## Écoulement sur les surfaces saturées d'eau :



écoulement rapide  $QS_D$  des surfaces saturées d'eau

L'approche de Xinanjiang prend en compte un pourcentage plus élevé d'écoulement proche de la surface pour les précipitations (ou l'eau de fonte des neiges) lorsque

- la part des surfaces saturées d'eau dans le bassin augmente ou que
- les précipitations sont plus intenses

$$QS_D = P - (W_m - W_0)$$

für

$$\left( \left( 1 - \frac{W_0}{W_m} \right)^{\frac{1}{b+1}} - \frac{P}{(1+b) W_m} \right) \leq 0 \text{ und } P + W_0 > W_m$$

$$QS_D = P - (W_m - W_0) + W_m \left( \left( 1 - \frac{W_0}{W_m} \right)^{\frac{1}{b+1}} - \left( \frac{P}{(1+b) W_m} \right) \right)^{b+1}$$

für

$$\left( \left( 1 - \frac{W_0}{W_m} \right)^{\frac{1}{b+1}} - \frac{P}{(1+b) W_m} \right) > 0$$

$QS_D$ [mm]	écoulement sur les surfaces saturées d'eau du réservoir sol (« surface runoff »)
$P$ [mm]	précipitations dans le pas de temps du calcul
$W_0$ [mm]	capacité du réservoir sol au début du pas de temps de calcul
$W_m$ [mm]	retenue maximale d'eau dans la totalité du réservoir sol
$b$ [-]	paramètre de forme de la fonction humidité du sol/surfaces saturées (voir chap. 3.3.1 pour la régionalisation du paramètre $b$ )

# Réservoir sol

Écoulement sur les surfaces saturées d'eau :

$$QS_D = P - (W_m - W_o)$$

for

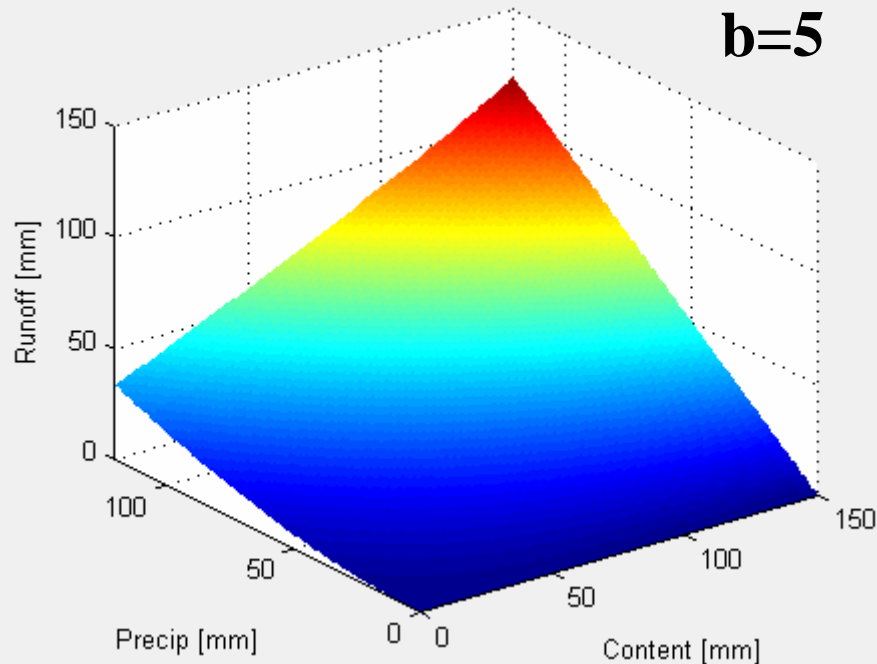
$$\left( \left( 1 - \frac{W_o}{W_m} \right)^{\frac{1}{b+1}} - \frac{P}{(1+b)W_m} \right) \leq 0 \text{ and } P + W_o > W_m$$

$$QS_D = P - (W_m - W_o) + W_m \left( \left( 1 - \frac{W_o}{W_m} \right)^{\frac{1}{b+1}} - \frac{P}{(1+b)W_m} \right)^{b+1}$$

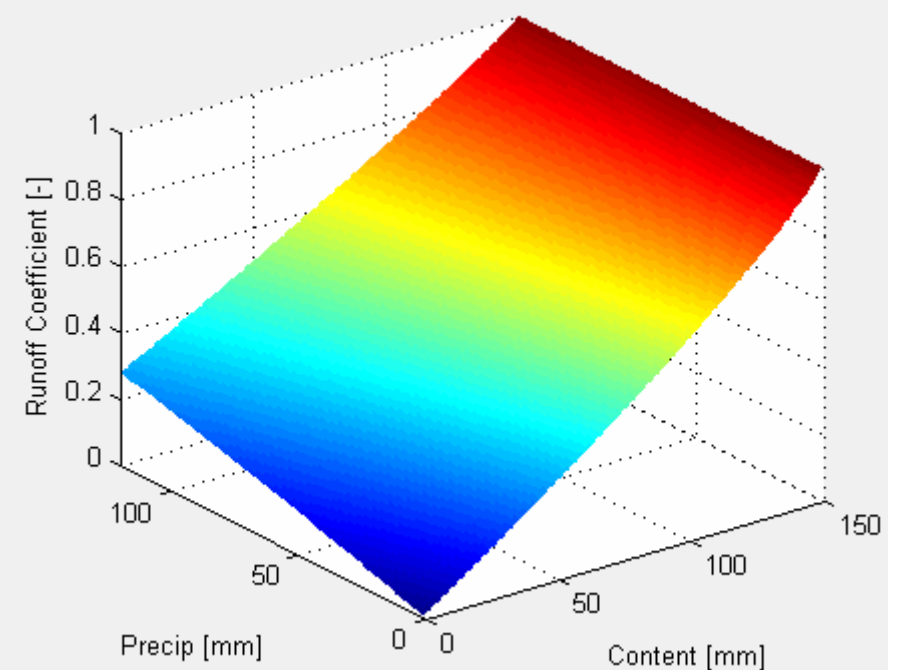
for

$$\left( \left( 1 - \frac{W_o}{W_m} \right)^{\frac{1}{b+1}} - \frac{P}{(1+b)W_m} \right) > 0$$

Oberflächenabfluss



Abflussbeiwert

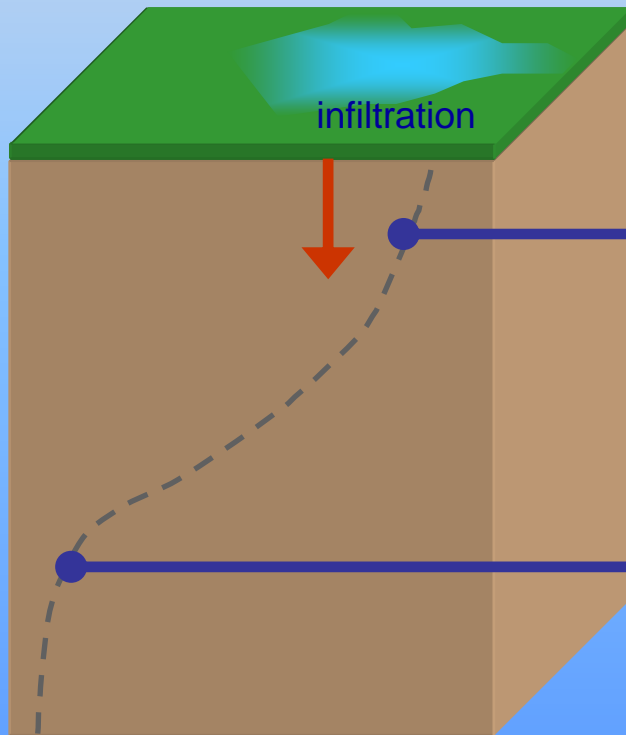




# Réservoir sol

## Drainage latéral (écoulement de subsurface) :

- la différence entre l'apport en eau et l'écoulement de surface s'infiltré dans le sol
- retenue d'eau max. dans le sol  $W_m = nFK_{dB} + LK$
- différents flux d'eau du sol se forment en fonction de l'humidité momentanée du sol



$$QS_l = \left( (D_{max} - D_{min}) \left( \frac{W_0 - W_z}{W_m - W_z} \right)^c \right) \Delta t \quad \text{für} \quad W_0 \geq W_z$$

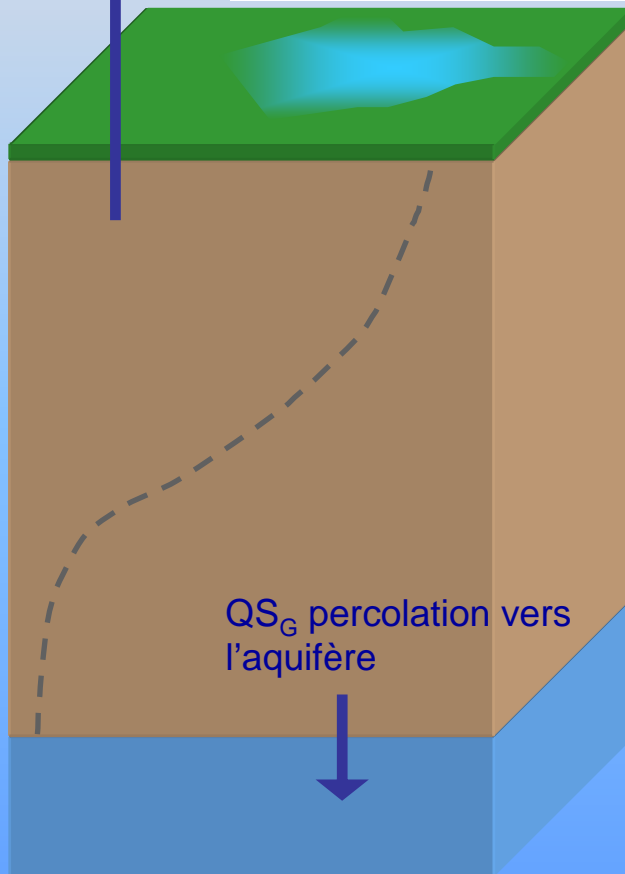
$$QS_l = D_{min} \frac{W_0}{W_m} \Delta t$$

- $D_{min}, D_{max}$  = paramètre de conductivité hydraulique [mm/d]
- $W_0$  = humidité momentanée du sol
- $W_z$  = valeur seuil de l'humidité du sol, dérivable des courbes pF ?
- $c$  = paramètre de forme selon DKZR

# Réservoir sol

## Interfaces avec l'atmosphère et la nappe phréatique :

extraction d'eau par la végétation : approche selon Penman-Monteith/MORECS, tenant compte de la liaison de l'eau au sol en tant que  $f$  (humidité du sol)



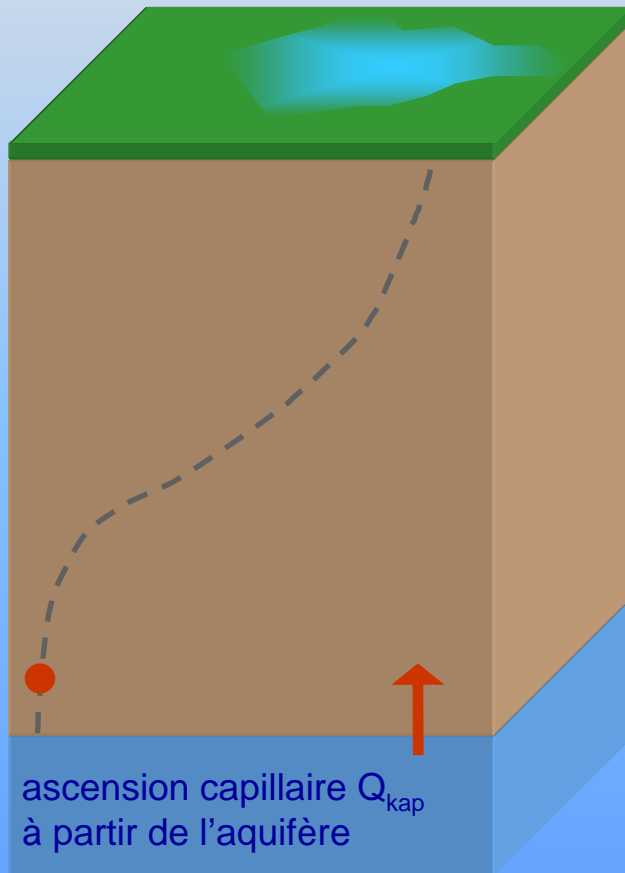
rapport linéaire entre la teneur en eau du sol et la percolation vers la nappe phréatique :

$$QS_G = \beta (W_0 - W_B) \Delta t \quad \text{für} \quad W_0 > W_B$$

$QS_G$ [mm]	perte d'eau du réservoir sol via percolation verticale (« percolation loss ») vers le réservoir du secteur dans le pas de temps de calcul (voir chap. 3.1.6)
$W_0$ [mm]	capacité du réservoir sol au début du pas de temps de calcul
$W_B$ [mm]	valeur seuil de la teneur en eau dans le réservoir sol profond. Dans LARSIM, $W_8 = 0,05 \cdot W_m$ (conformément à DKRZ 1994)
$\beta$ [1/d]	indice de drainage réservoir sol profond, paramètre d'étalonnage dans LARSIM

# Réservoir sol

## Interface aquifère et sol :



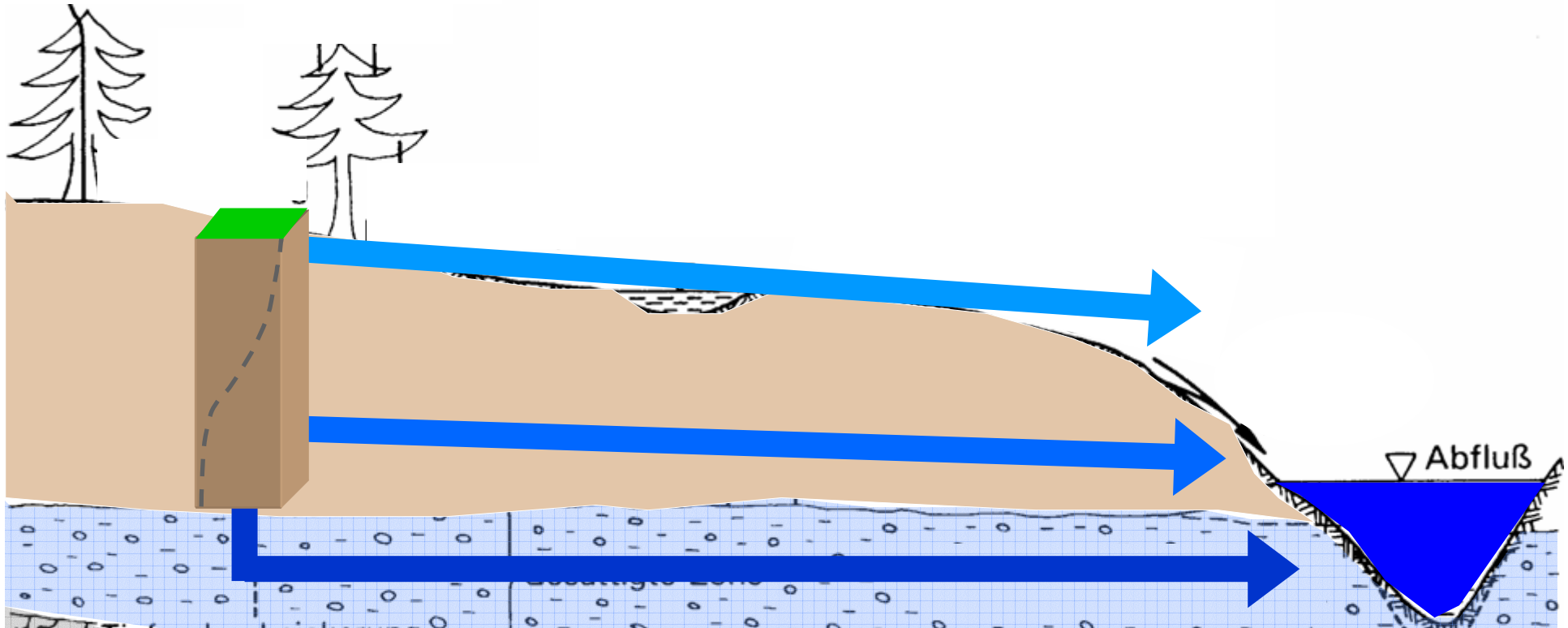
rapport linéaire entre la teneur en eau du sol et l'ascension capillaire à partir de l'aquifère :

$$Q_{kap} = \frac{W_{gr} - W_0}{W_{gr}} \cdot QMAX_{kap} \quad \text{für } W_0 < W_{gr}$$

$Q_{kap}$	[mm/d]	ascension capillaire depuis l'aquifère vers le réservoir sol
$W_{gr}$	[mm]	valeur seuil pour la teneur en eau du réservoir sol en dessous de laquelle commence l'ascension capillaire à partir de l'aquifère (dans LARSIM: $W_{gr} = 0,1 \cdot W_{max}$ )
$W_0$	[mm]	capacité momentanée du réservoir d'humidité du sol
$QMAX_{kap}$	[mm/d]	taux maximal d'ascension capillaire depuis l'aquifère vers le réservoir sol (lorsque le réservoir sol est complètement vidé)

# Réservoir sol

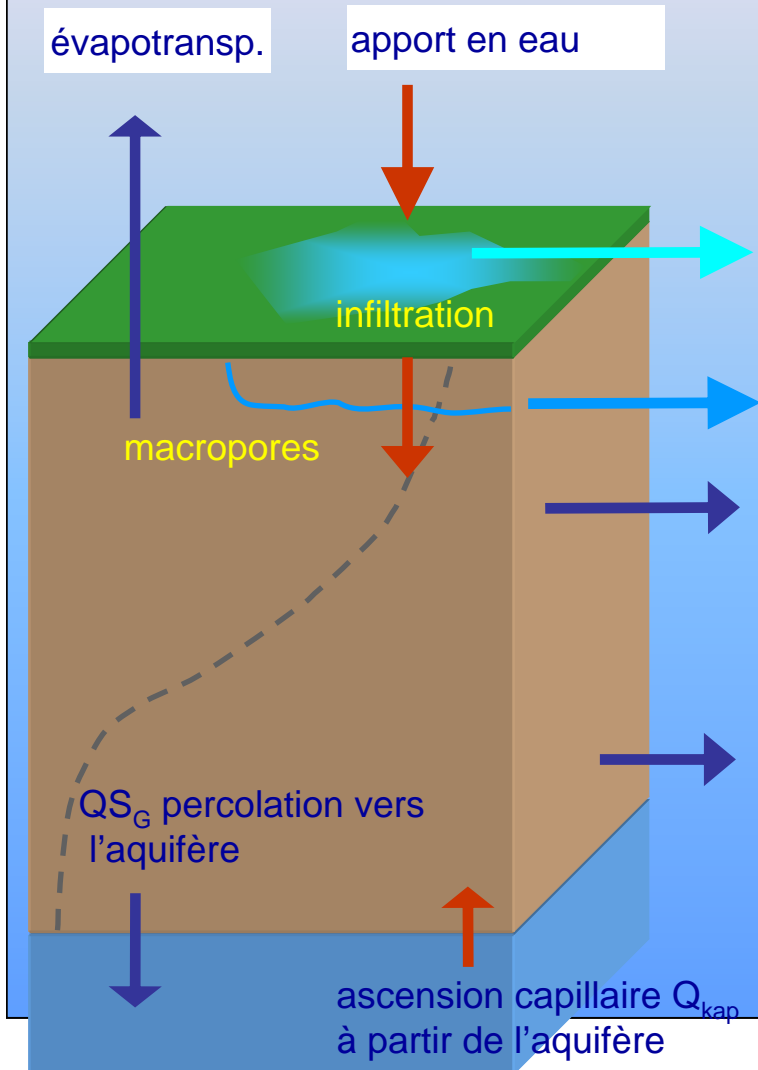
Colonne(s) du sol → bassin versant → cours d'eau



Le transport latéral de la colonne du sol vers le cours d'eau récepteur est calculé à l'aide du module **LARSIM** sur la concentration de l'écoulement

# Réservoir sol

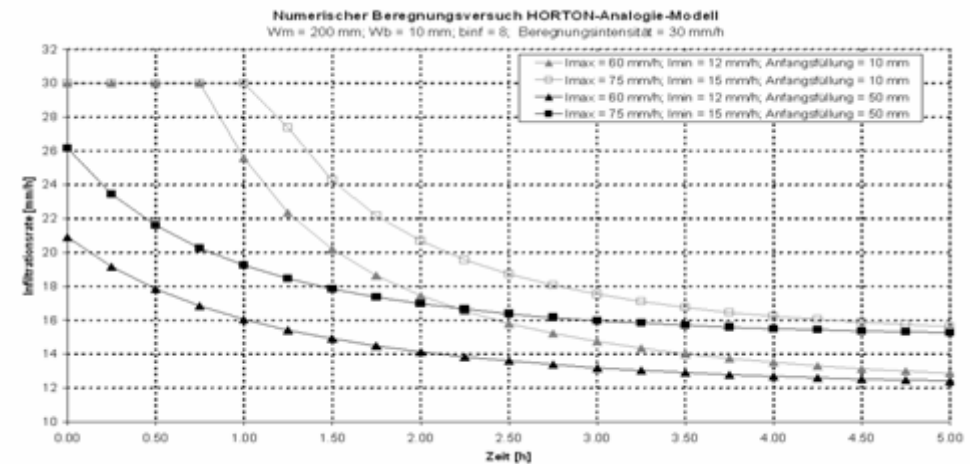
## Modèle du sol perfectionné : 4ème composant calculé de l'écoulement



Répartition de l'écoulement rapide en écoulement direct « véritable » et écoulement rapide à partir du sol

☒ modèle d'infiltration comme fonction exponentielle du remplissage momentané du réservoir sol :

$$I = I_{\min} + (I_{\max} - I_{\min}) \cdot \exp\left(-b_{\text{inf}} \cdot \frac{W_0 - W_b}{W_m - W_b}\right)$$



☒ écoulement rapide à partir du sol (« écoulement par macropores ») sur les surfaces saturées d'eau

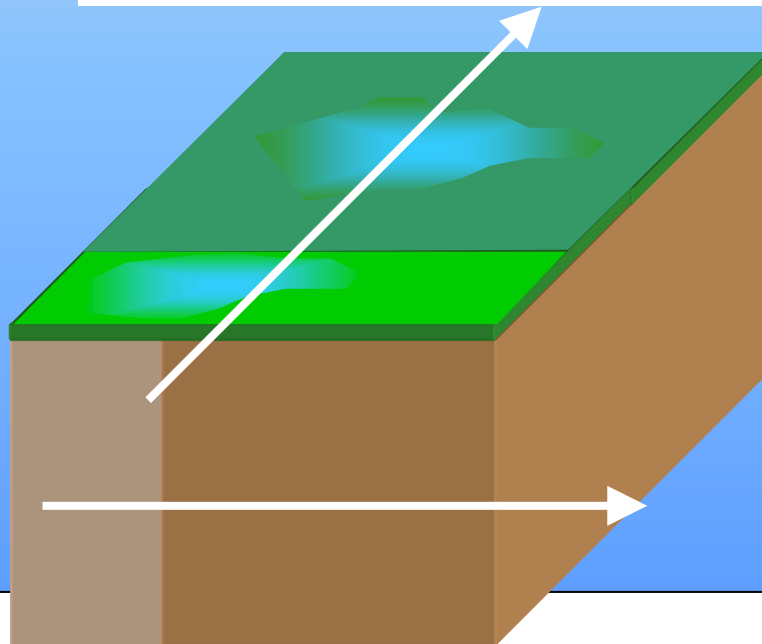
# Réservoir sol

---

## Extension du module sol de LARSIM :

### Projet Interreg WaReLa (LGB RP, LUWG, IBL, Université de Trêves etc.) :

- paramétrage physique des sols amélioré dans le module sol LARSIM en place
- matrice bidimensionnelle pour les catégories d'occupation des sols et les types de sols au sein des sous-bassins
- modules sol physico-conceptionnels supplémentaires



# Réservoir sol

---

Détermination de la recharge de la nappe phréatique :

**Approches  
classiques :**

**valeur moyenne pluriannuelle de la recharge de la nappe phréatique pour**  
-> les cartographies de l'eau et des sols  
-> les modèles d'eaux souterraines dans des roches meubles

**Modèle de bilan  
hydrologique :**

**Modélisation de la dynamique des débits pour**  
-> la prévision opérationnelle des crues et des étiages  
-> les études KLIWA

# Réservoir sol

Détermination de la recharge de la nappe phréatique:

**Approches  
classiques:**

**Modèle de bilan  
hydrologique:**

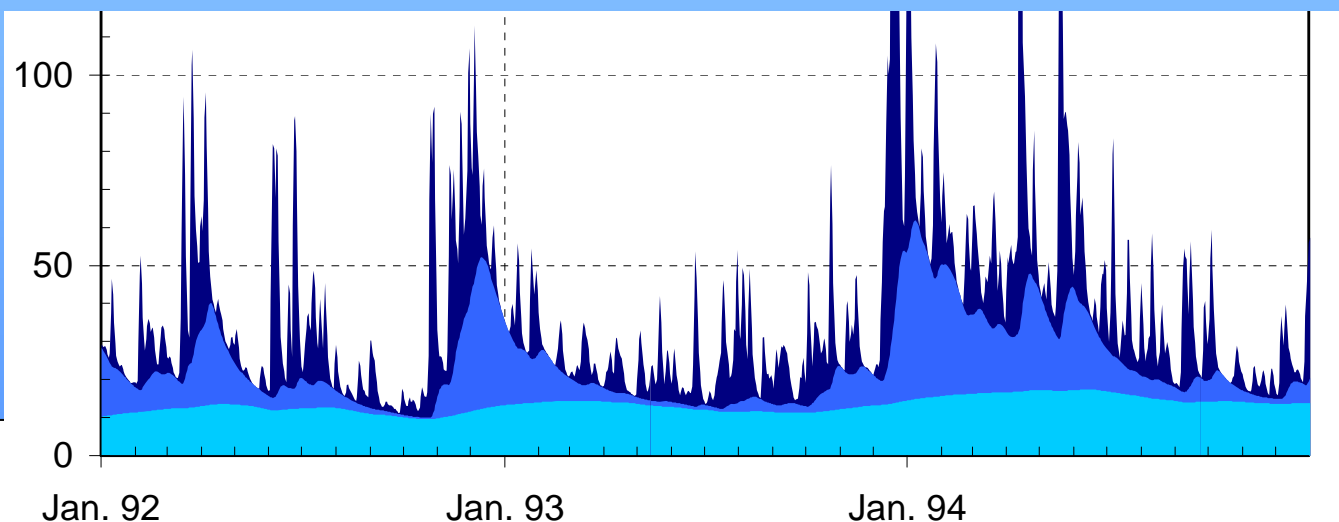
*Part de la recharge de nappe phréatique dans l'apport utile en eau:*

**constant dans le temps**

(valeur moyenne pluriannuelle, donc pas  
de distinction entre des mois ou années  
secs/humides)

**f (quantité des précipitations +  
humidité du sol)**

(répartition en fonction du temps de l'apport  
d'eau en écoulement de surface, écoulement  
de subsurface et écoulement souterrain)





# Réservoir sol

Détermination de la recharge de la nappe phréatique :

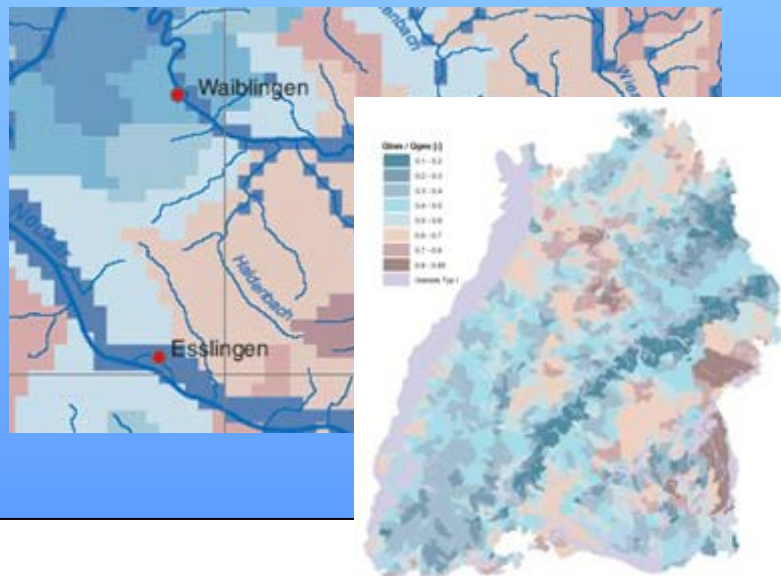
**Approches classiques:**

**Modèle de bilan hydrologique:**

*Représentation des structures hydrogéologiques dans l'espace :*

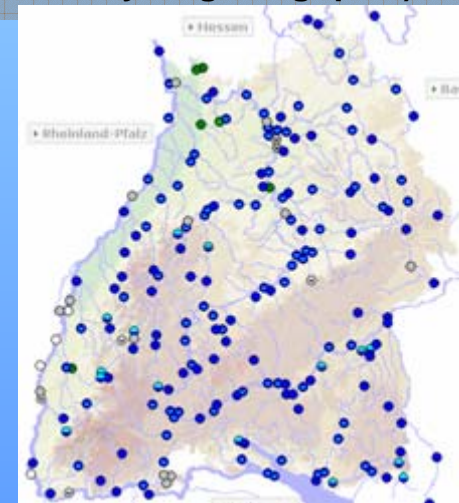
**raster à haute résolution**

(modèle de régression étalonné aux limnimètres et utilisant des données hydrogéologiques)



**en fonction de bassins**

(modèle de bilan hydrologique étalonné sans utilisation explicite de données hydrogéologiques)



# Réservoir sol

représentation d'unités hydrogéologiques

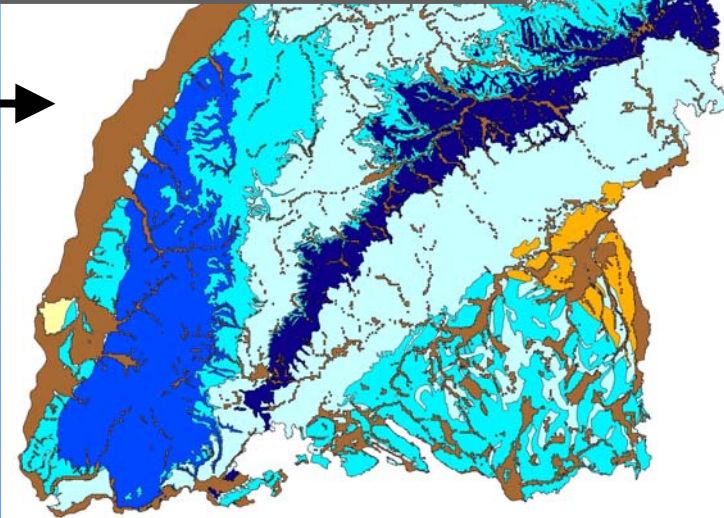
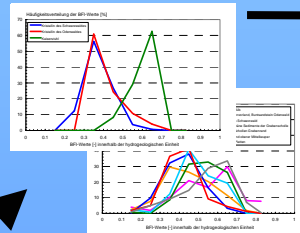
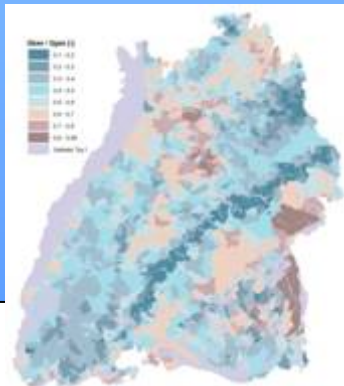
répartition dans le temps de l'apport d'eau

introduction d'un fond hydrogéologique dans le modèle de bilan hydrologique :

Zones hydrogéologiques partielles



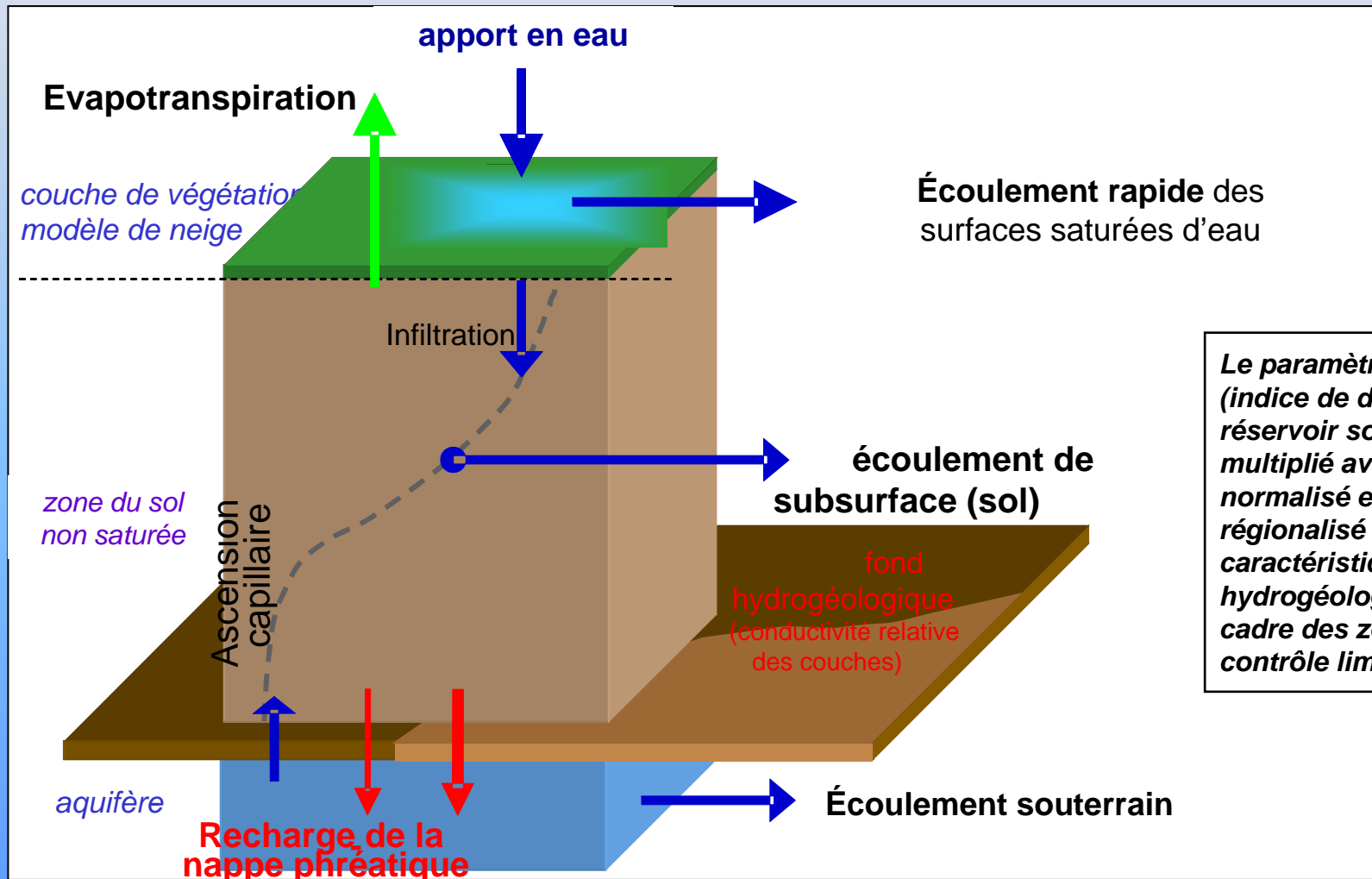
valeurs moyennes pluriannuelles de l'indice baseflow (BFI).  
BFI = débit de base/débit total



coefficient de perméabilité verticale CPV

# Réservoir sol

Application dans le module sol de LARSIM :



*Le paramètre LARSIM  $\beta$  (indice de drainage réservoir sol profond) est multiplié avec le fond normalisé et est ainsi régionalisé par rapport aux caractéristiques hydrogéologiques dans le cadre des zones de contrôle limnimétrique.*

# Réservoir sol

---

Modèle de bilan hydrologique avec champ CPV :

- Répartition de l'apport en eau variable selon l'humidité, prise comme fonction de la teneur en eau du sol et de l'intensité N.
- Représentation des différences relatives de conductivité hydraulique des structures hydrogéologiques.
- D'autres améliorations en ce qui concerne la recharge de la nappe phréatique et la modélisation des étiages.
- Adapté au calcul de la recharge de la nappe phréatique au niveau national, à haute résolution dans le temps aussi bien pour l'état actuel du climat que pour des scénarios climatiques.

# Réservoir sol

---

## Modèle de bilan hydrologique avec champ CPV :

- **Modélisation homogène (c'est-à-dire sans contradictions) de toutes les composantes du bilan hydrologique**
- **effets synergiques découlant de l'utilisation multi-disciplinaire des modèles de bilan hydrologique**
- **mise à disposition quotidienne de calculs de recharge de la nappe phréatique au niveau national à partir des modèles de bilan hydrologique opérationnels**
- **calcul hors ligne pour des périodes historiques et scénarios du changement climatique**

# Réservoir sol

---

- **Conséquences pour la pratique :**
  - **Le réservoir sol est le système central de distribution pour l'écoulement**
  - **La capacité au champ utile entre comme caractéristique important du système (capacité maximale du réservoir sol)**
  - **Lors du calage, les paramètres du réservoir sol sont adaptés de manière détaillée.**
  - **possibilités pour l'utilisateur de prendre une influence : recalage des paramètres du sol**
  - **tâches de l'utilisateur :**
    - **contrôler l'humidité calculée du sol**
    - **pour l'utilisation des coefficients de conductivité hydraulique verticale : contrôler la recharge calculée de la nappe phréatique**