



Théorie pour la modélisation avec RS MINERVE

Alain FOEHN

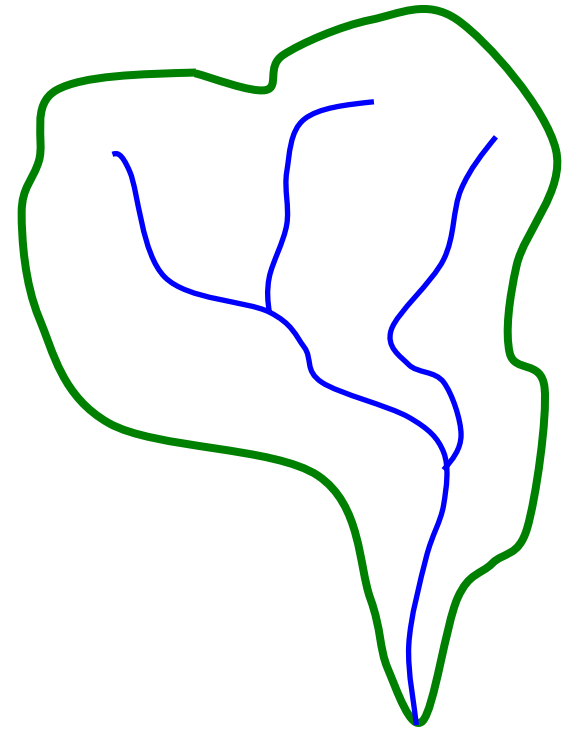
Cours Hydrologie urbaine

1. Modélisation semi-distribuée
2. Le modèle SWMM
3. Modélisation hydraulique
4. Calage et Fonction objectif
5. Introduction à l'exercice



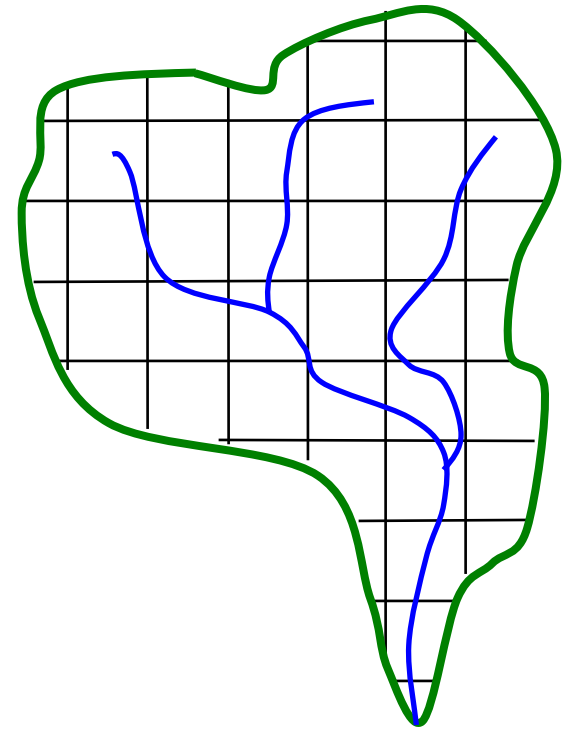
Modèle hydrologique global

- Le bassin versant est une seule entité
- Paramètres et précipitation constants dans l'espace (fortement soumis aux problèmes d'échelle spatiale)
- Impossibilité d'incorporer des structures hydrauliques



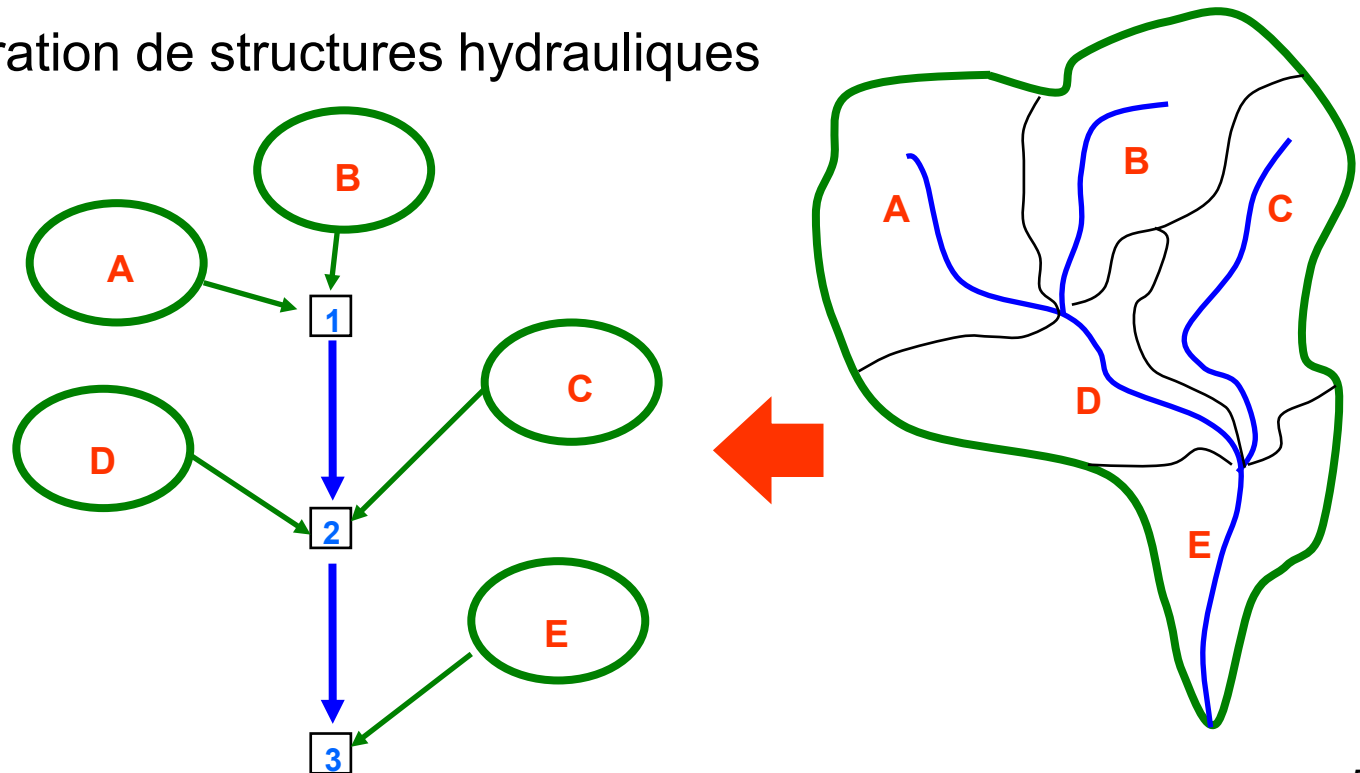
Modèle hydrologique distribué

- Maillage de la surface
- Variabilité spatiale des paramètres et de la précipitation
- Interaction des processus hydrologiques entre cellules adjacentes
- Difficulté à incorporer des structures hydrauliques



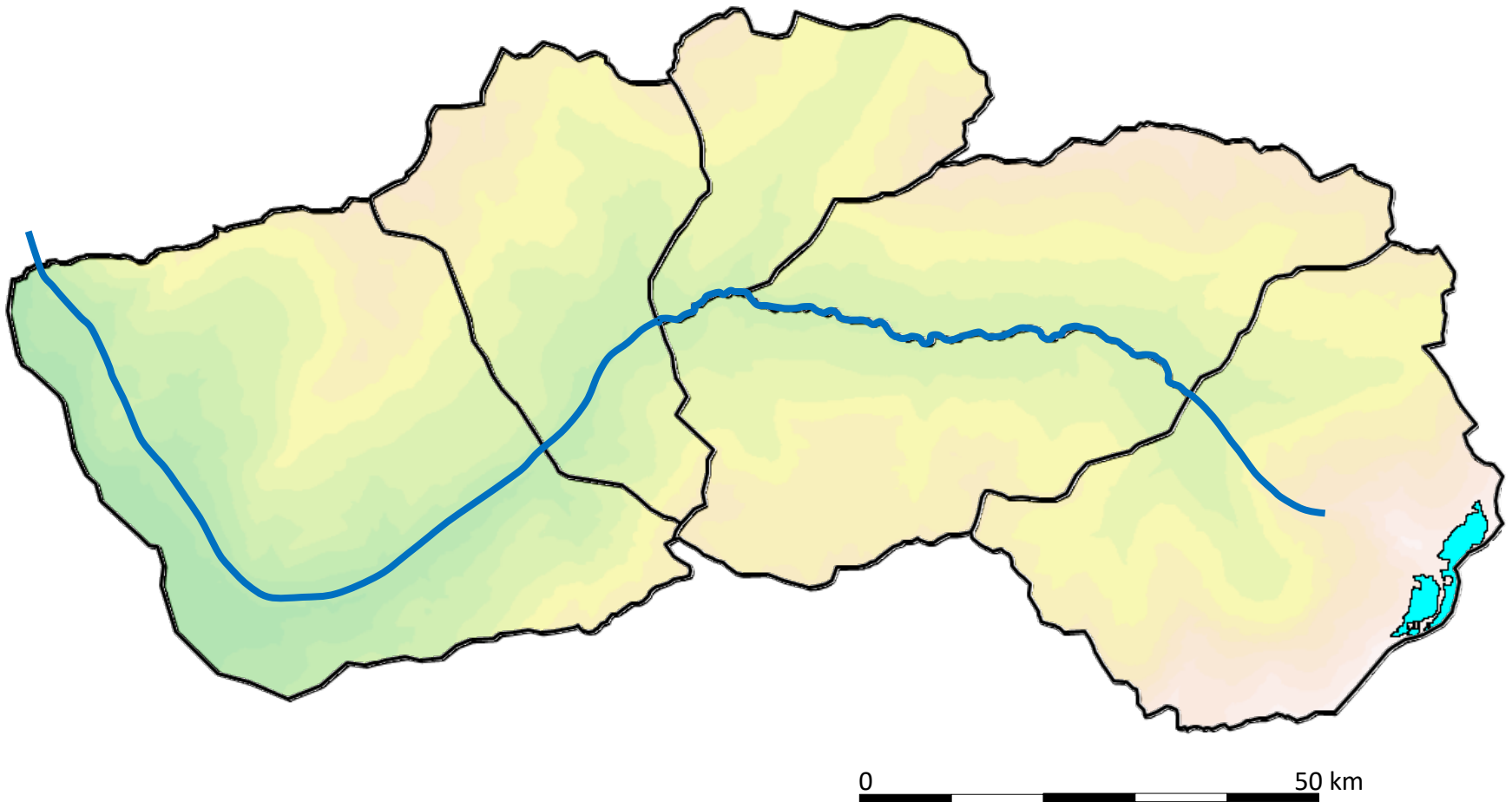
Modèle hydrologique semi-distribué

- Division en sous-bassins, nœuds et cours d'eau
- Variabilité spatiale des paramètres et de la précipitation pour chaque sous-bassin
- Calcul des processus hydrologiques au niveau du sous-bassin
- Permet l'incorporation de structures hydrauliques



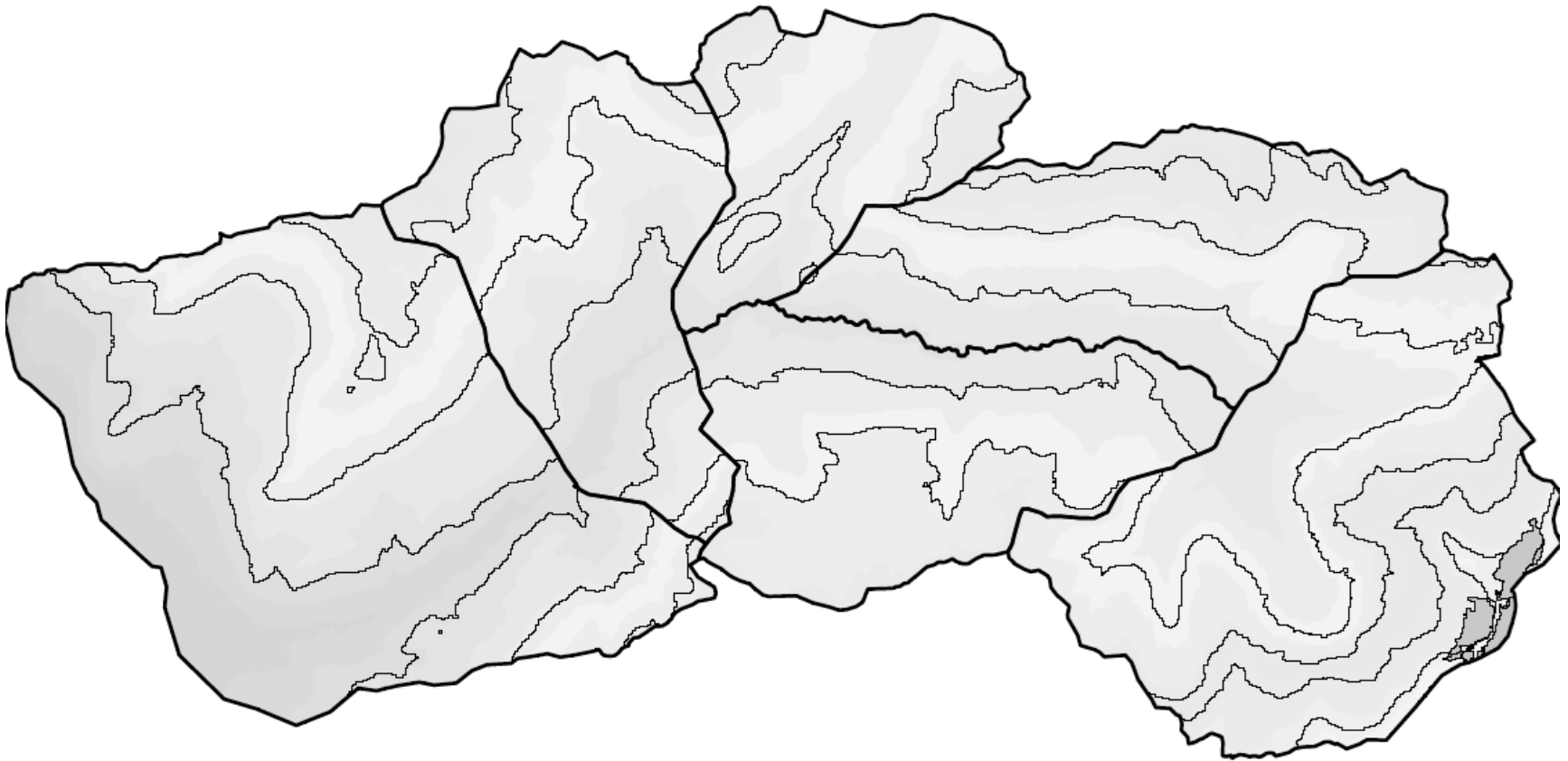
Concept semi-distribué

Division en sous-bassins



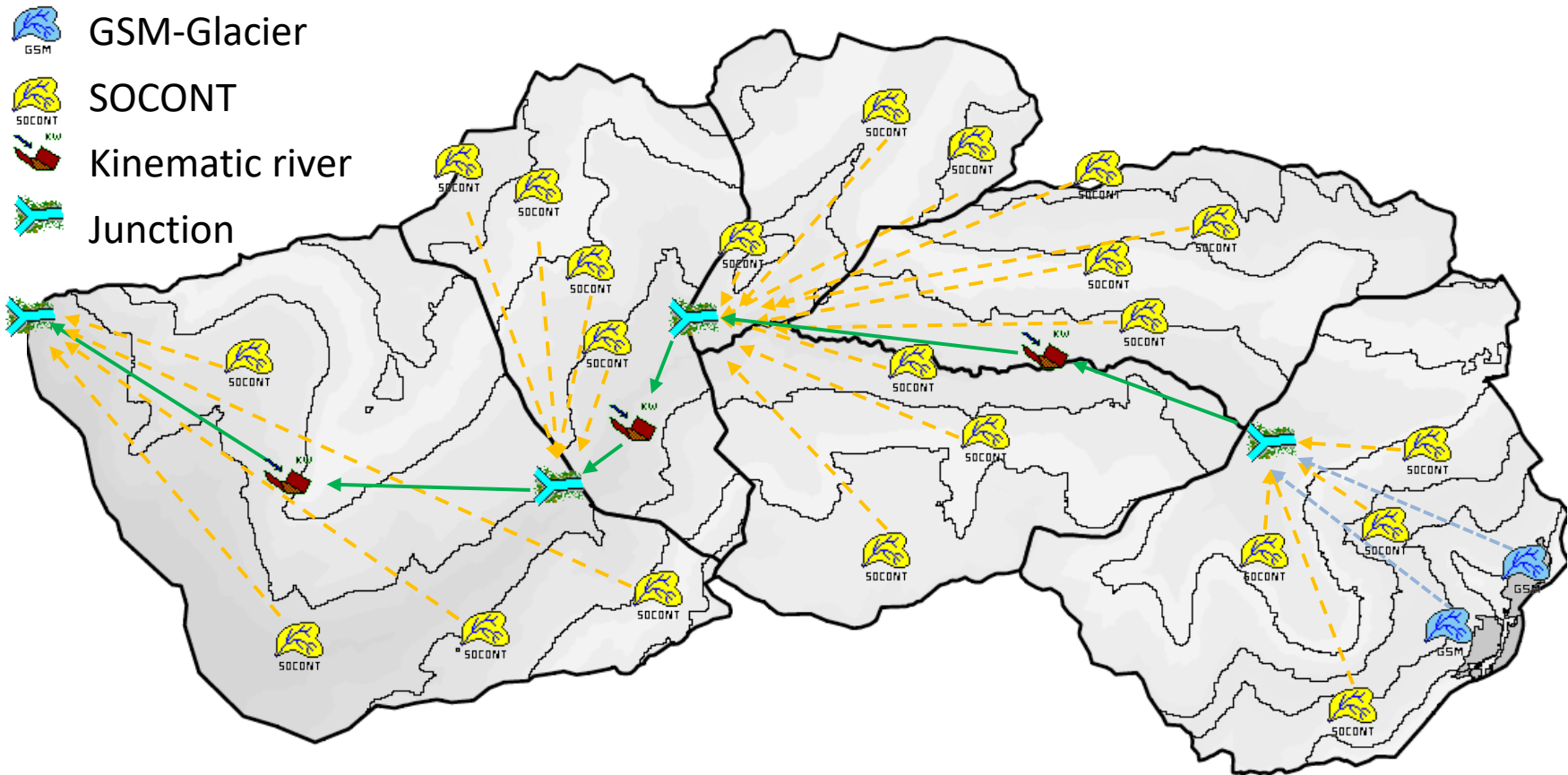
Concept semi-distribué

Division de chaque sous-bassin en bandes d'altitude



Concept semi-distribué

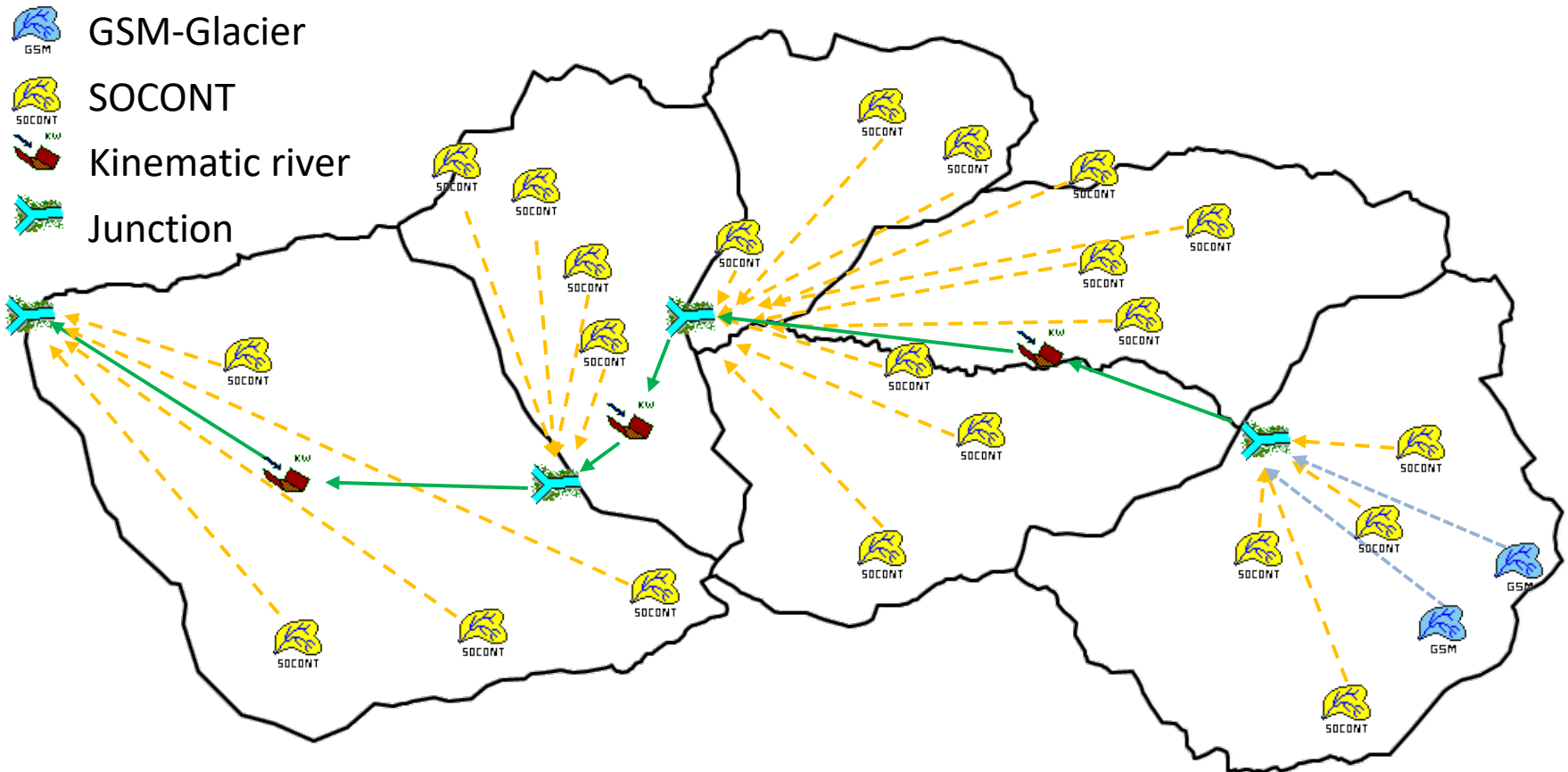
Calcul du centre de gravité (X, Y, Z) et de la surface de chaque bande d'altitude et des caractéristiques des rivières



1. Modélisation semi-distribuée

Concept semi-distribué

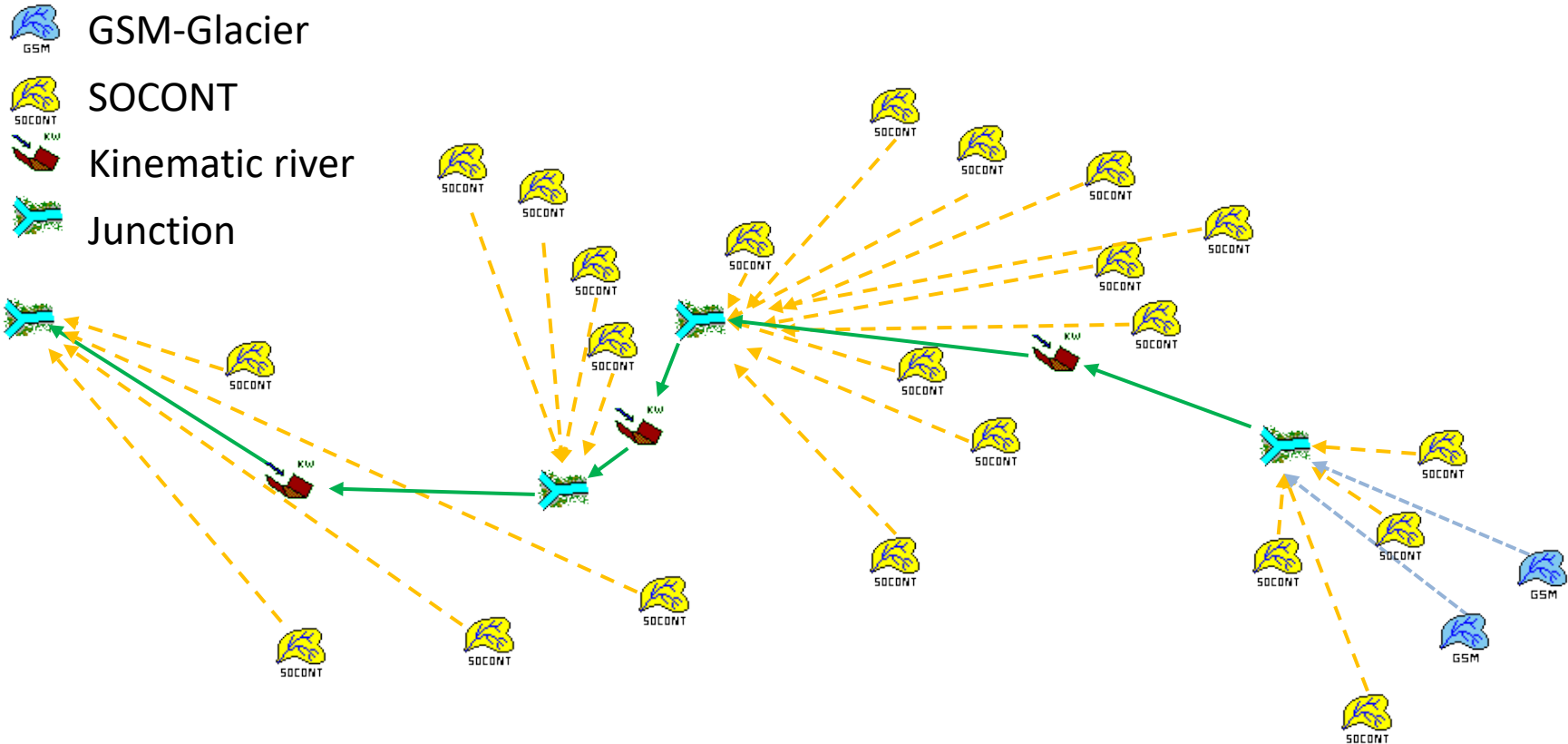
Calcul du centre de gravité (X, Y, Z) et de la surface de chaque bande d'altitude et des caractéristiques des rivières



1. Modélisation semi-distribuée

Concept semi-distribué

Modèle hydrologique prêt pour être implémenté dans le programme pour simulation



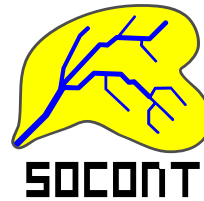
Variables et paramètres d'un modèle hydrologique

- **Variables d'entrée** (ou indépendantes): Les données d'entrée du modèle.
- **Variables de sortie** (ou dépendantes): Les données de sortie du modèle.
- **Paramètres**: Valeurs constantes, à sens physique ou non, mesurées ou calées, permettant de faire correspondre au mieux le modèle hydrologique avec la réalité physique.
- **Variables d'état**: Les variables qui permettent la caractérisation de l'état du système modélisé et qui peuvent évoluer avec le temps (ex : niveau de saturation des réservoirs d'infiltration, hauteur de neige).

2. Le modèle SOCONT

Modèle SOCONT

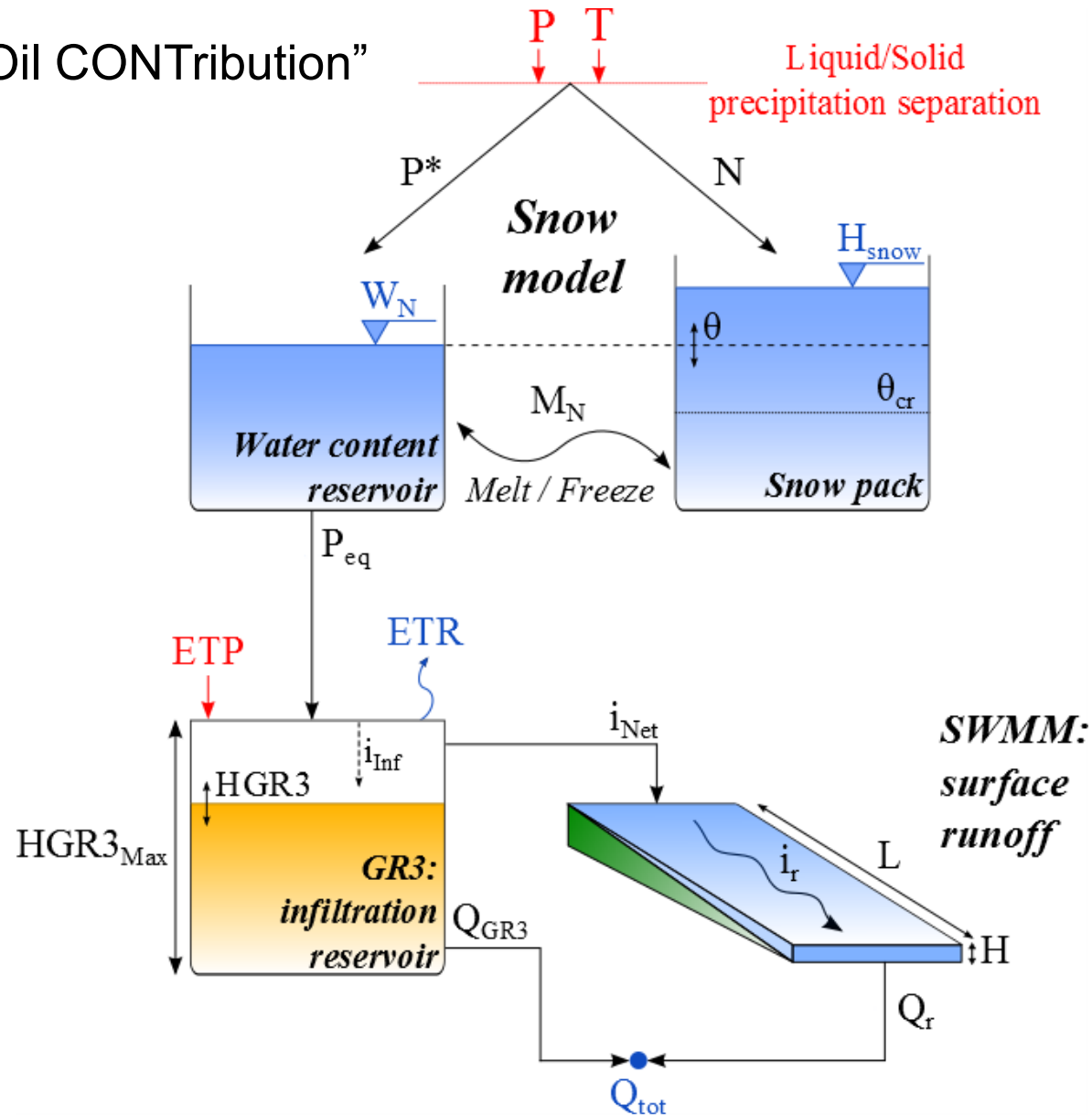
- Précipitation
- Température
- ETP



- Q d'infiltration
- Q de ruissellement
- Q total
- ETR

2. Le modèle SOCONT

SOCONT: “SOil CONTRibution”



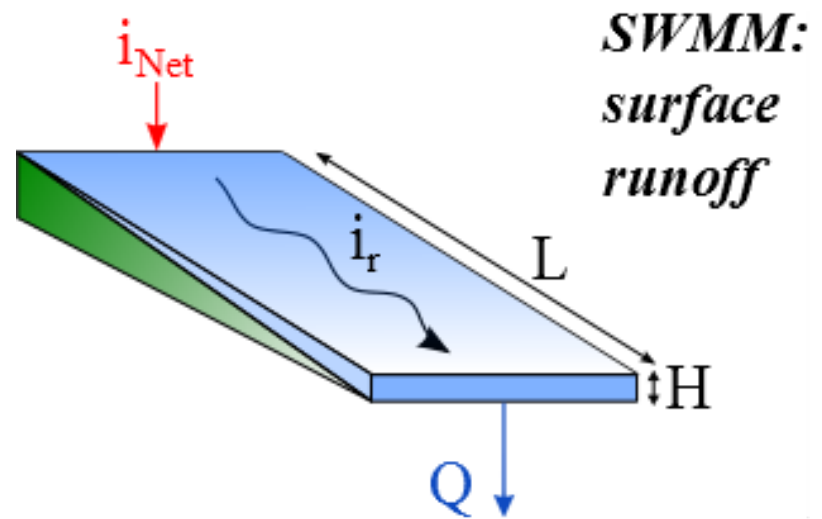
2. Le modèle SOCONT

SWMM: “Storm Water Management Model”

- Précipitation

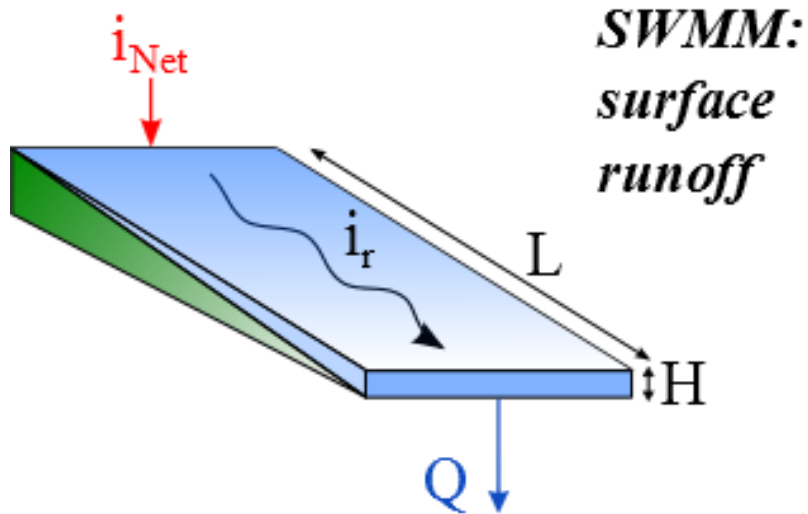
- Débit de ruissellement
- Hauteur de ruissellement

- 4 paramètres (A , L , J_0 , K)
- 1 variable d'état



2. Le modèle SOCONT

SWMM: “Storm Water Management Model”



$$v = K_s \cdot \sqrt{J_o} \cdot H^{2/3}$$

$$i_r = v \cdot (B \cdot H) \cdot \frac{1}{S}$$

$$dH / dt = 2 \cdot (i_{net} - i_r)$$

$$H > 0$$

$$i_r = K_s \cdot \sqrt{J_o} \cdot H^{5/3} \cdot B / S$$

$$Q_r = i_r \cdot S$$

Inputs

Paramètres

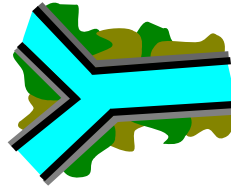
Output

2. Le modèle SOCONT

Object	Name	Units	Description	Regular Range
SWMM	A	m ²	Surface of runoff	>0
	L	m	Length of the plane	>0
	J0	-	Runoff slope	>0
	K	m ^{1/3} /s	Strickler coefficient	0.1 to 90
	Hlni	m	Initial water level downstream of the surface	-

Jonction (addition de débits)

• Débit(s)
entrant(s)



• Débit sortant

3. Modélisation hydraulique

Réservoir

- Niveau d'eau
- Débit entrant
- Débit sortant

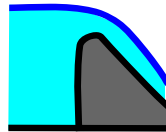


- Niveau d'eau
- Volume accumulé

• Relation Niveau - Volume

Relation Niveau-Débit

- Niveau d'eau

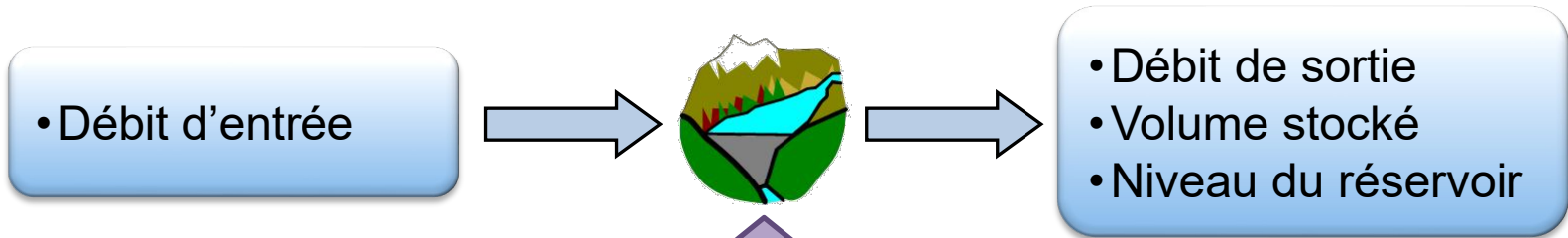


- Débit sortant

• Relation Niveau d'eau - Débit

3. Modélisation hydraulique

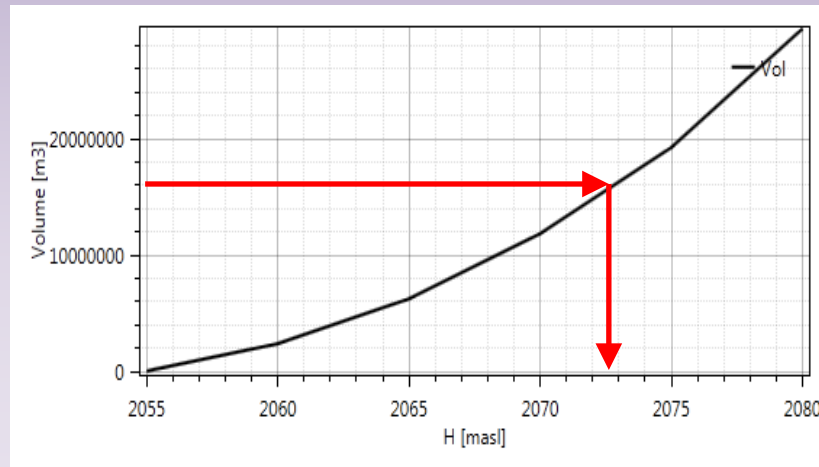
Réservoir



- Modèle de bilan de masse

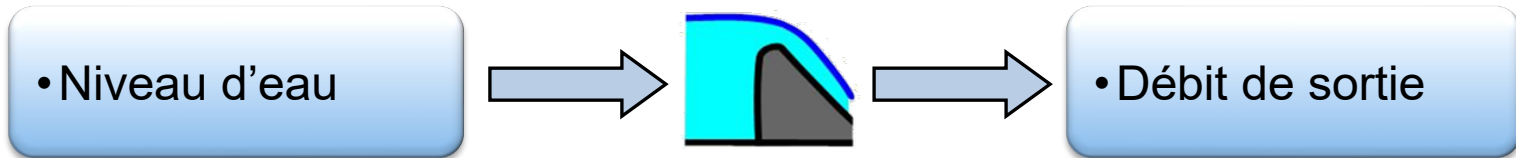
$$\Delta V_i / \Delta t = Q_e - Q_s$$

- Relation : Niveau (H) vs Volume (V)

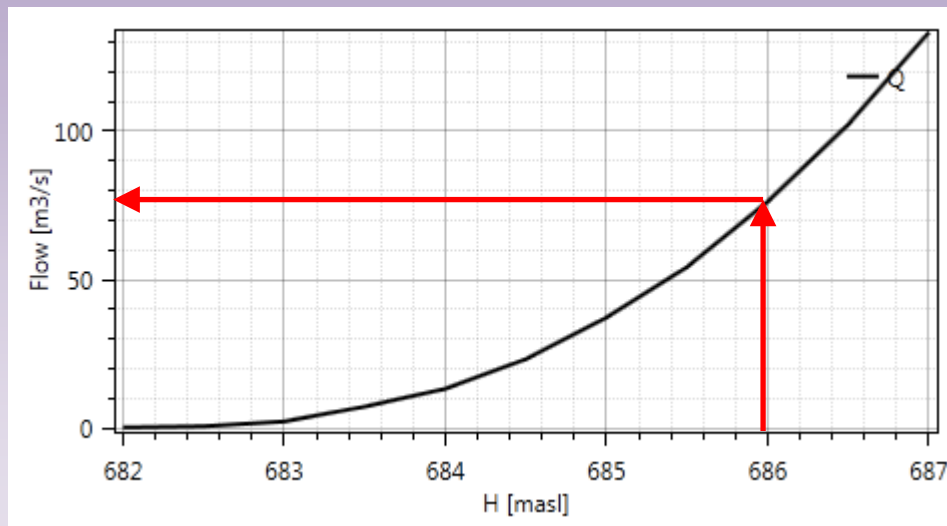


3. Modélisation hydraulique

Déversoir



➤ Relation : Niveau (H) vs débit déversé (Q)



Calage et validation d'un modèle hydrologique

- **Calage:** Opération qui consiste à déterminer les valeurs des paramètres d'un modèle hydrologique qui minimisent les erreurs de modélisation par rapport aux valeurs observées.
- **Validation:** Opération qui, effectuée après le calage et indispensable avant d'utiliser un modèle hydrologique, consiste à évaluer la qualité du modèle hydrologique sur des données qui n'ont pas été utilisées pour le calage.

Fonction objectif

- Fonction constituée d'un ou plusieurs indicateurs de performance définis par l'utilisateur et qui, lors du calage, permet de comparer la performance des différents séries de débit simulées et ainsi définir le jeu de paramètres optimal.

Indicateurs de performance

➤ Nash

Mesure de la part de la variabilité des observations expliquée par la simulation

$$Nash = 1 - \frac{\sum_{t=t_i}^{t_f} (Q_{sim,t} - Q_{ref,t})^2}{\sum_{t=t_i}^{t_f} (Q_{ref,t} - \bar{Q}_{ref})^2}$$

➤ Pearson Correlation Coefficient

Exprime la dépendance linéaire entre les valeurs simulées et les observations

$$BS = 1 - \left[\max\left(\frac{\bar{Q}_{sim}}{\bar{Q}_{ref}}, \frac{\bar{Q}_{ref}}{\bar{Q}_{sim}}\right) - 1 \right]^2$$

Indicateurs de performance

➤ RVB (Relative Volume Bias)

Indique l'erreur relative entre le volume des hydrogrammes simulé et observé

$$RVB = \frac{\sum_{t=t_i}^{t_f} (Q_{sim,t} - Q_{ref,t})}{\sum_{t=t_i}^{t_f} (Q_{ref,t})}$$

4. Calage et Fonction objectif

Indicateur	Poids	Intervalle des valeurs	Valeur idéale
Nash	w_1	$-\infty$ à 1	1
Nash-In	w_2	$-\infty$ à 1	1
Pearson Correlation Coefficient	w_3	-1 à 1	1
Bias Score (BS)	w_4	0 à 1	1
Relative Root Mean Square Error (RRMSE)	w_5	0 à $+\infty$	0
Relative Volume Bias (RVB)	w_6	$-\infty$ à $+\infty$	0
Normalized Peak Error (NPE)	w_7	$-\infty$ à $+\infty$	0

$$OF = \max(Nash \cdot w_1 + Nashln \cdot w_2 + Pearson \cdot w_3 + BS \cdot w_4 - RRMSE \cdot w_5 - |NVB \cdot w_6| - |RPE \cdot w_7|)$$

Fonction objectif

- Si un seul indicateur de performance est considéré, la fonction objectif (G) prend la forme :

$$G = \max(F)$$

Où

F est l'indicateur de performance.

Fonction objectif

- Si la fonction objectif (G) est multi-objectifs, elle prend généralement une des formes suivantes:

$$G = \max \left(\sum_{i=1}^n w_i \cdot F_i \right) \quad G = \max \left(\sum_{i=1}^n w_i \cdot |F_i| \right) \quad G = \max \left(\sum_{i=1}^n w_i \cdot F_i^2 \right)$$

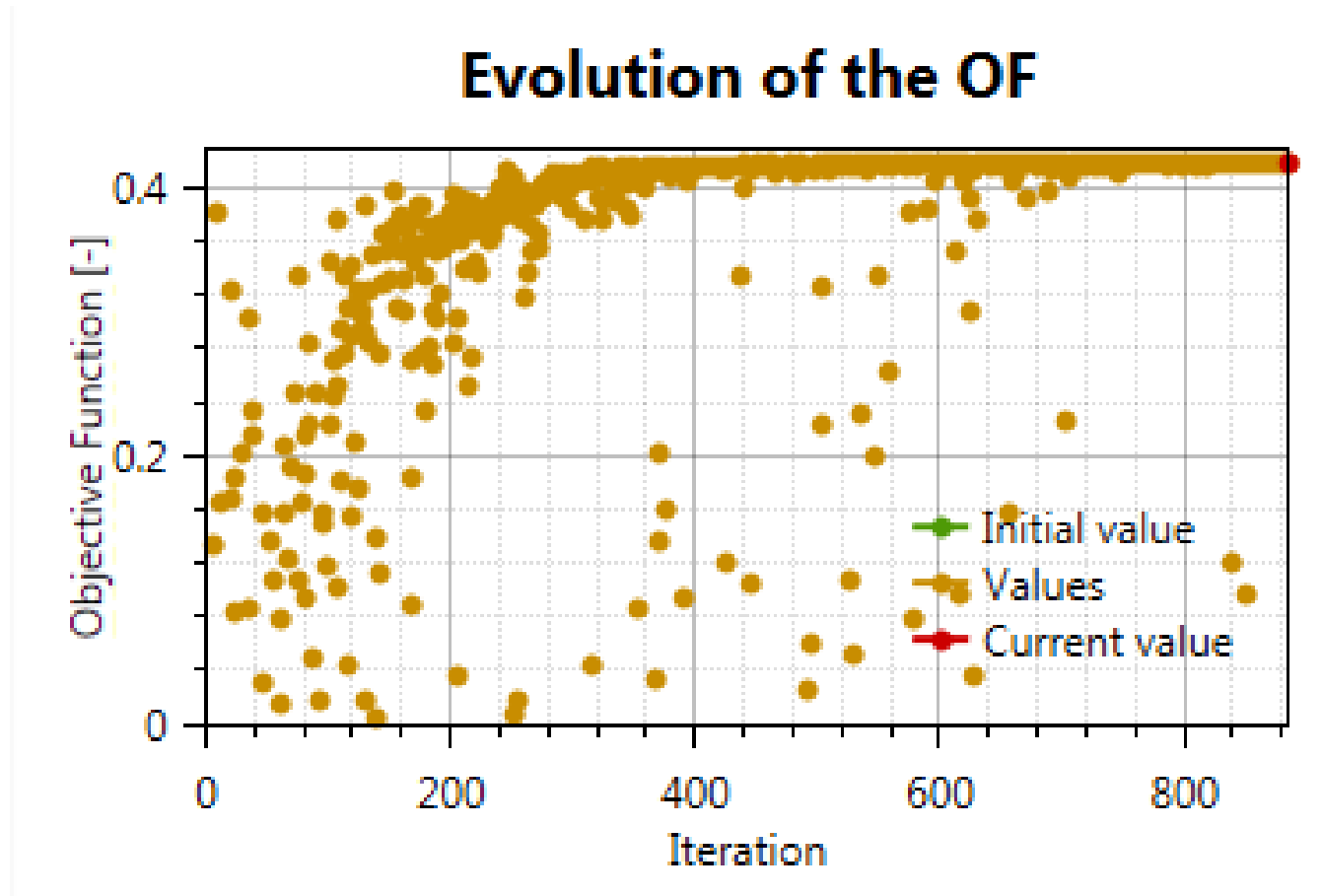
où

F_i sont les indicateurs de performance considérés dans le calcul de la fonction multi-objectifs,

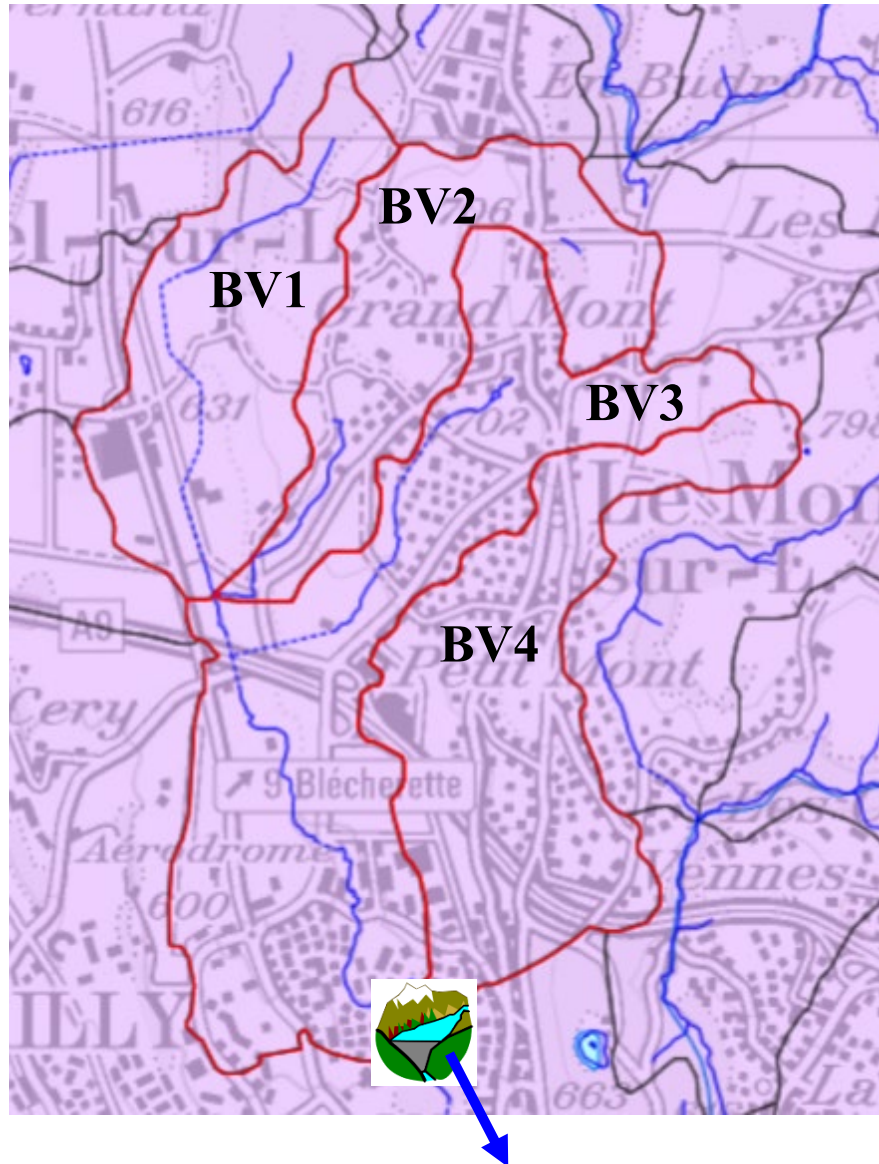
w_i sont les pondérations attribuées aux différents indicateurs.

Optimisation automatique: algorithmes

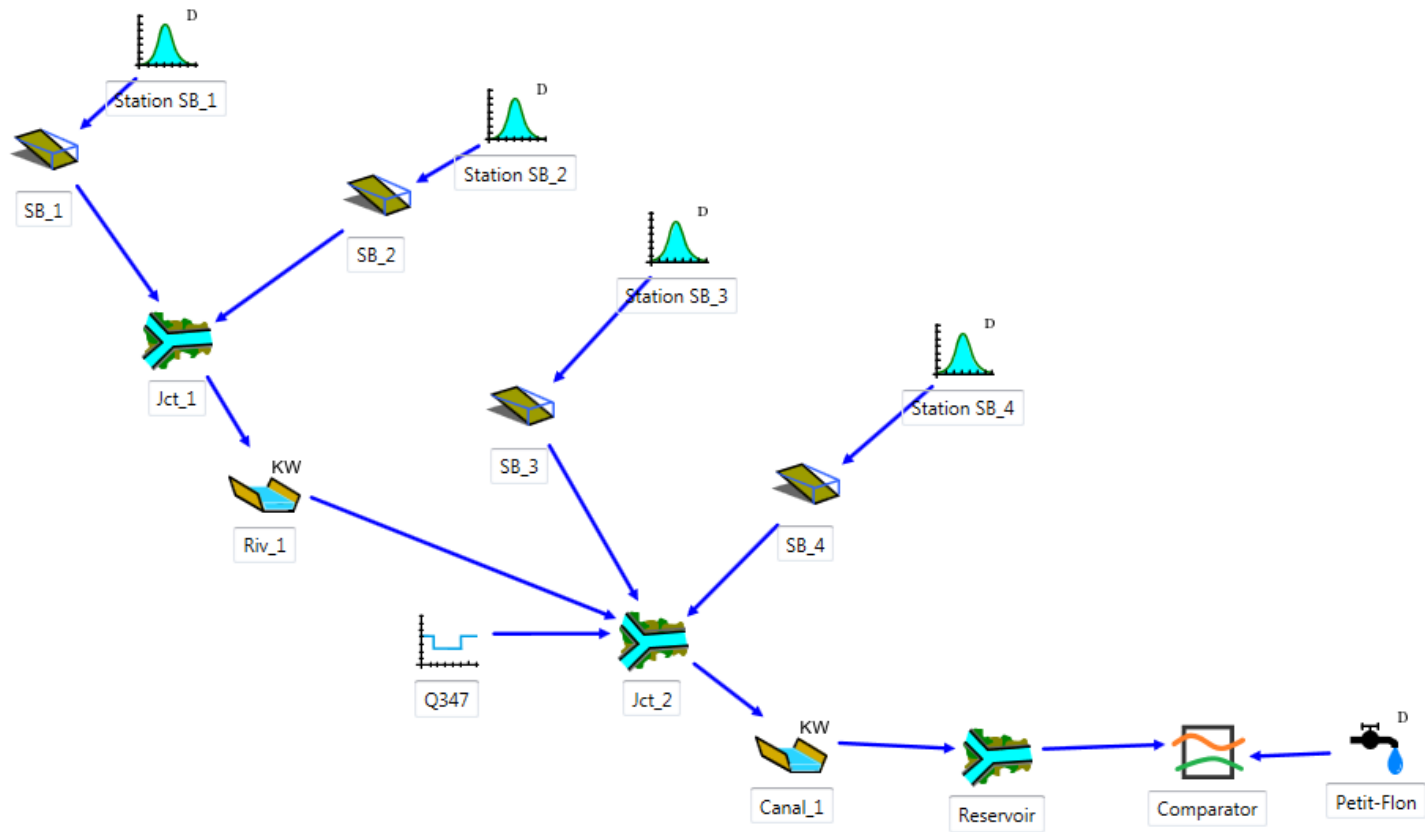
- Shuffled Complex Evolution – University of Arizona (SCE-UA)



5. Introduction à l'exercice



5. Introduction à l'exercice



5. Introduction à l'exercice

