



Théorie pour la modélisation avec RS MINERVE

Tristan Brauchli

CIVIL 410 - Hydraulique Fluviale et Aménagements de Cours d'Eau

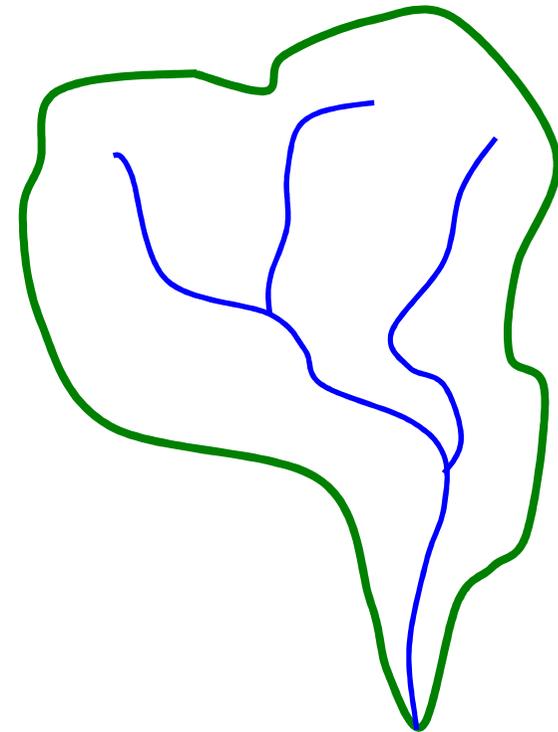
1. Modélisation semi-distribuée
2. Le modèle SOCONT
3. Modélisation hydraulique
4. Calage et Fonction objectif



1. Modélisation semi-distribuée

Modèle hydrologique global

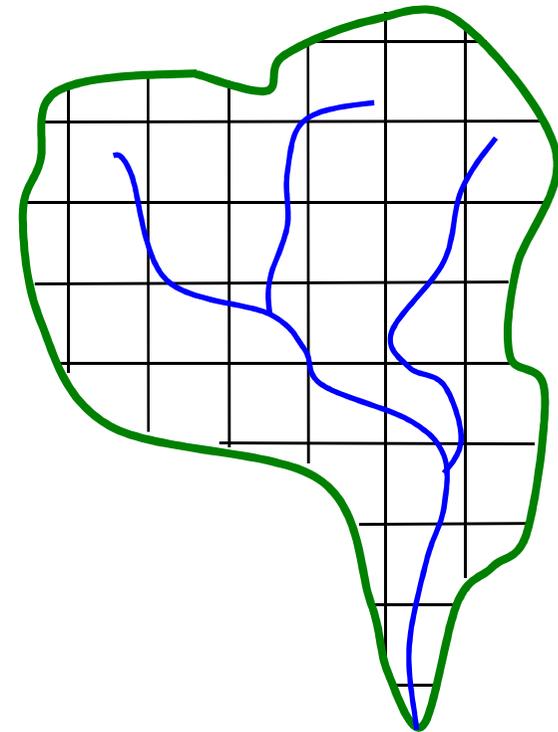
- Le bassin versant est une seule entité
- Paramètres et précipitation constants dans l'espace (fortement soumis aux problèmes d'échelle spatiale)
- Impossibilité d'incorporer des structures hydrauliques



1. Modélisation semi-distribuée

Modèle hydrologique distribué

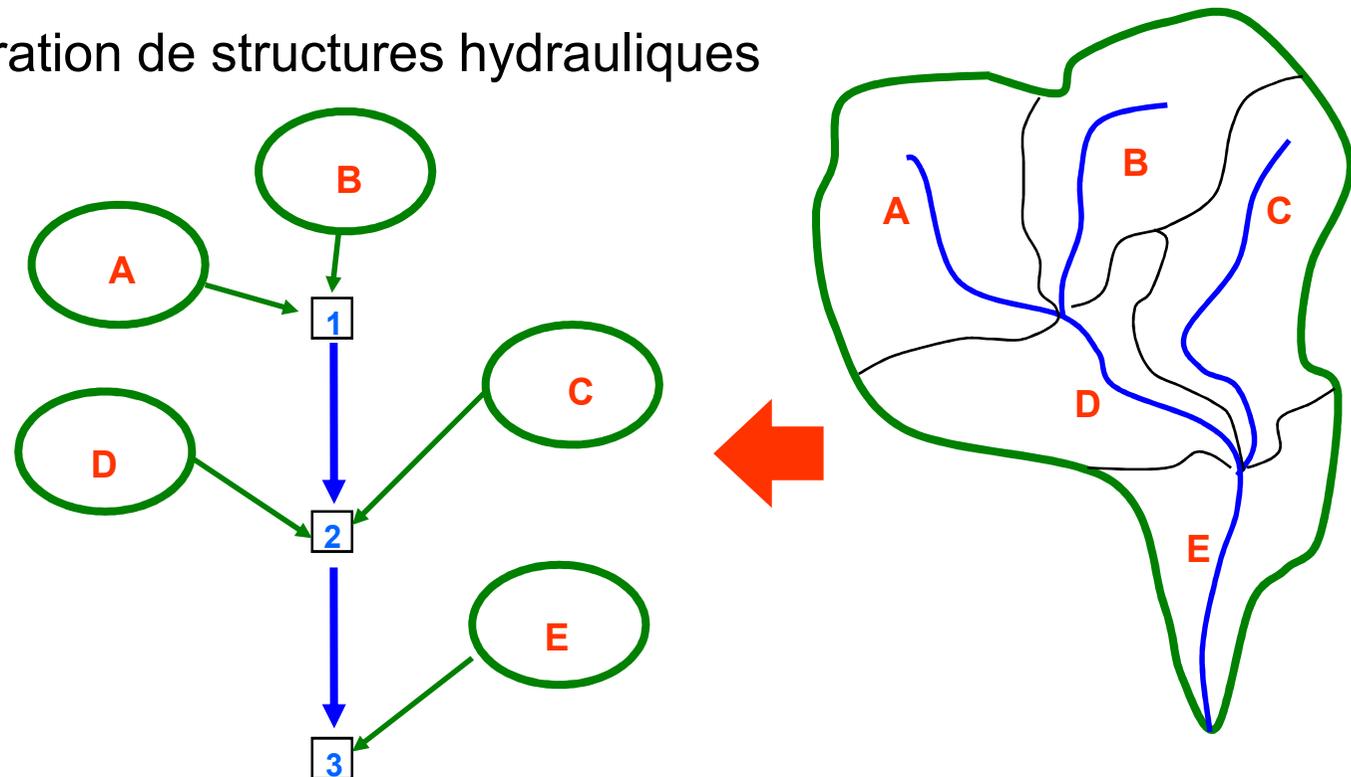
- Maillage de la surface
- Variabilité spatiale des paramètres et de la précipitation
- Interaction des processus hydrologiques entre cellules adjacentes
- Difficulté à incorporer des structures hydrauliques



1. Modélisation semi-distribuée

Modèle hydrologique semi-distribué

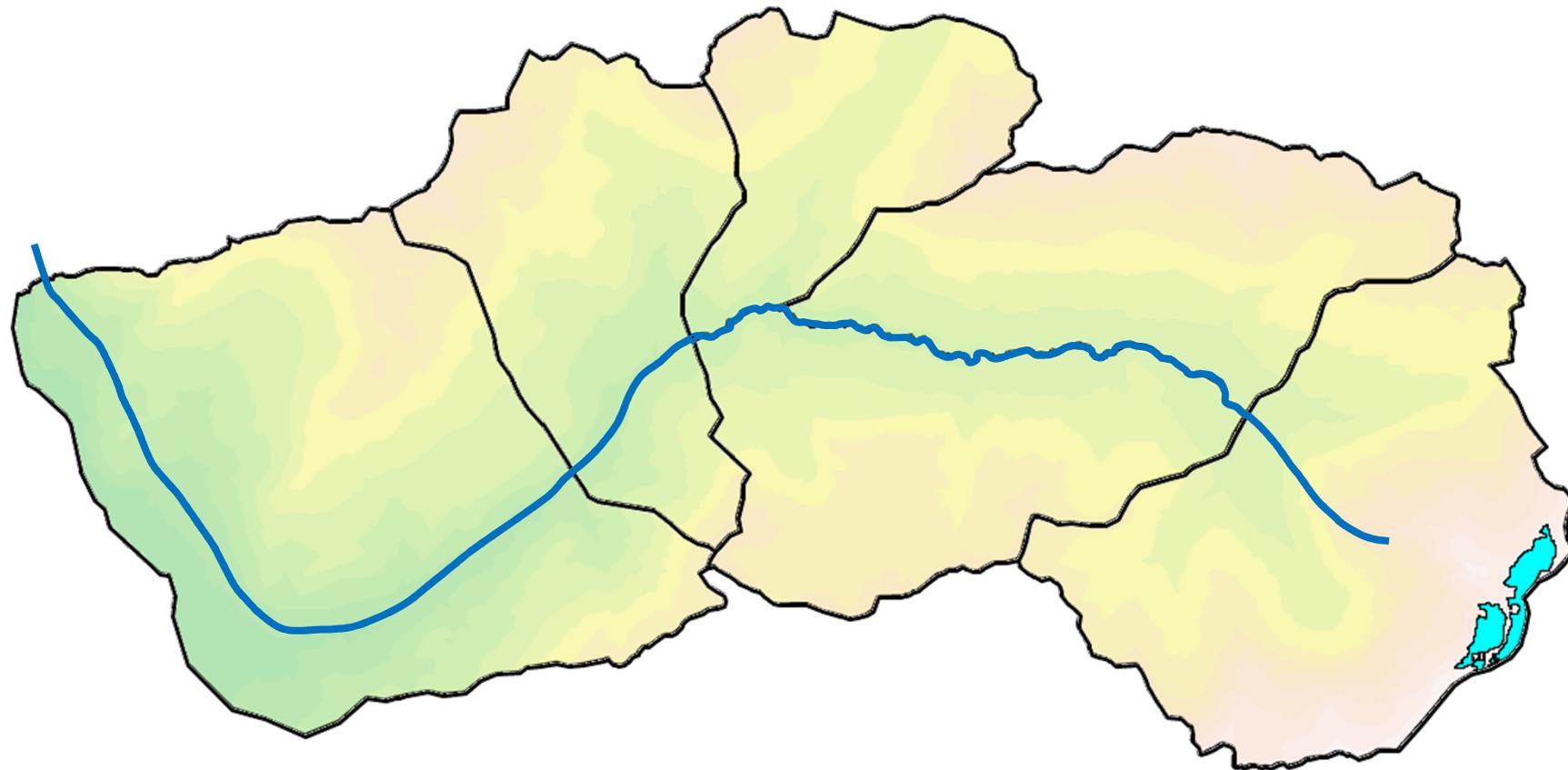
- Division en sous-bassins, cours d'eau et nœuds
- Variabilité spatiale des paramètres et de la précipitation pour chaque sous-bassin
- Calcul des processus hydrologiques au niveau du sous-bassin
- Permet l'incorporation de structures hydrauliques



1. Modélisation semi-distribuée

Concept semi-distribué

Division en sous-bassins

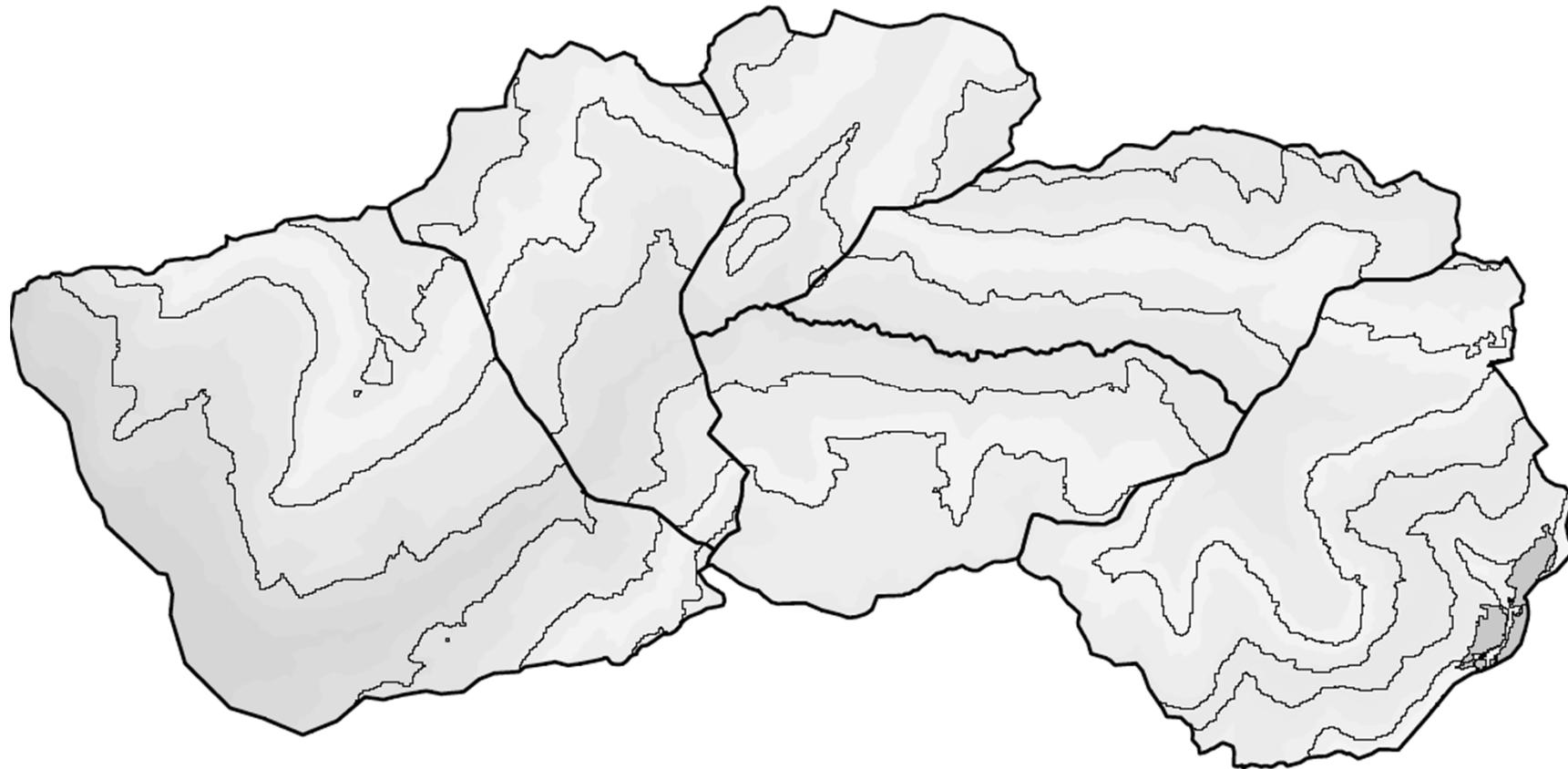


0 50 km

1. Modélisation semi-distribuée

Concept semi-distribué

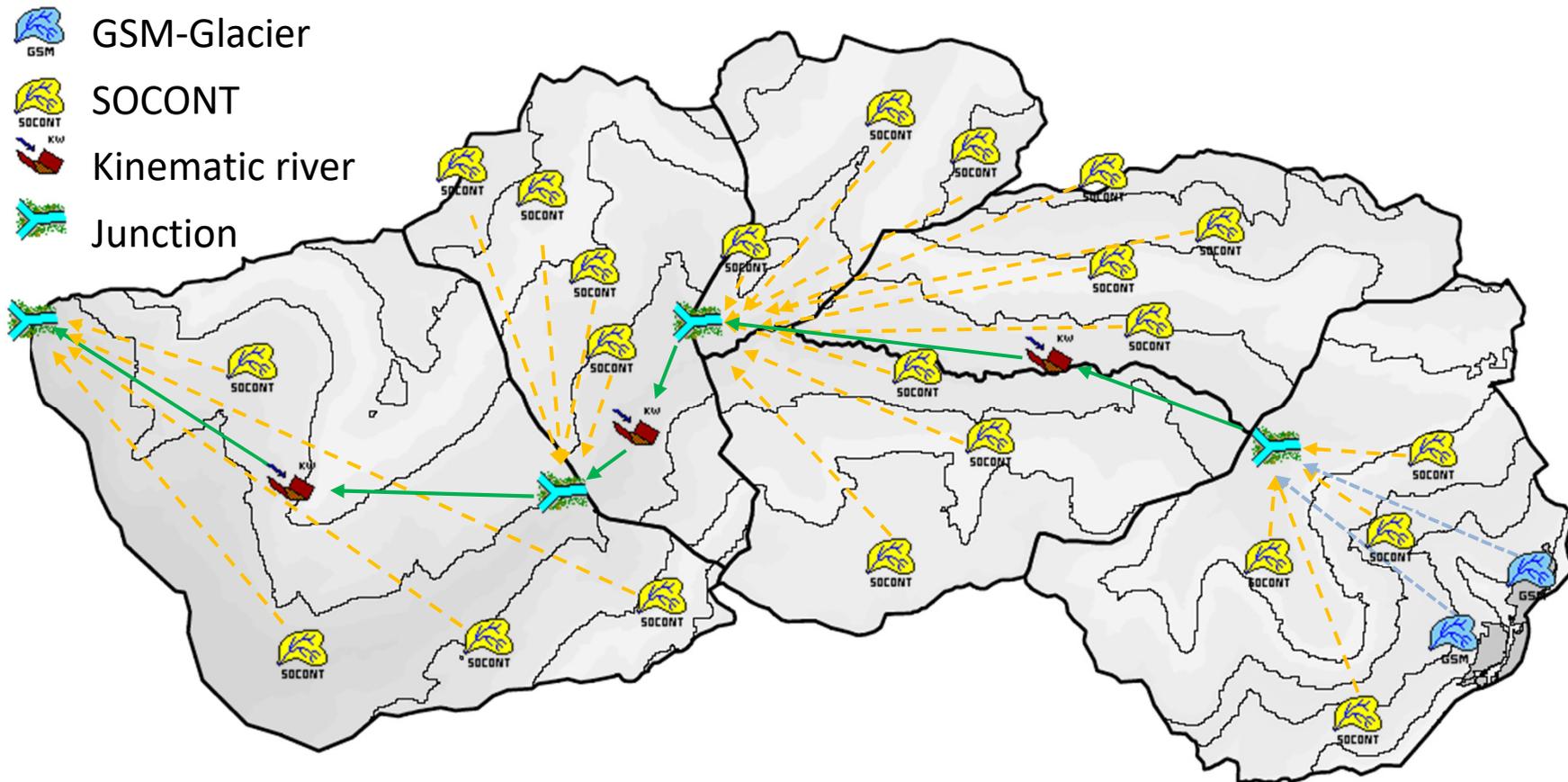
Division de chaque sous-bassin en bandes d'altitude



1. Modélisation semi-distribuée

Concept semi-distribué

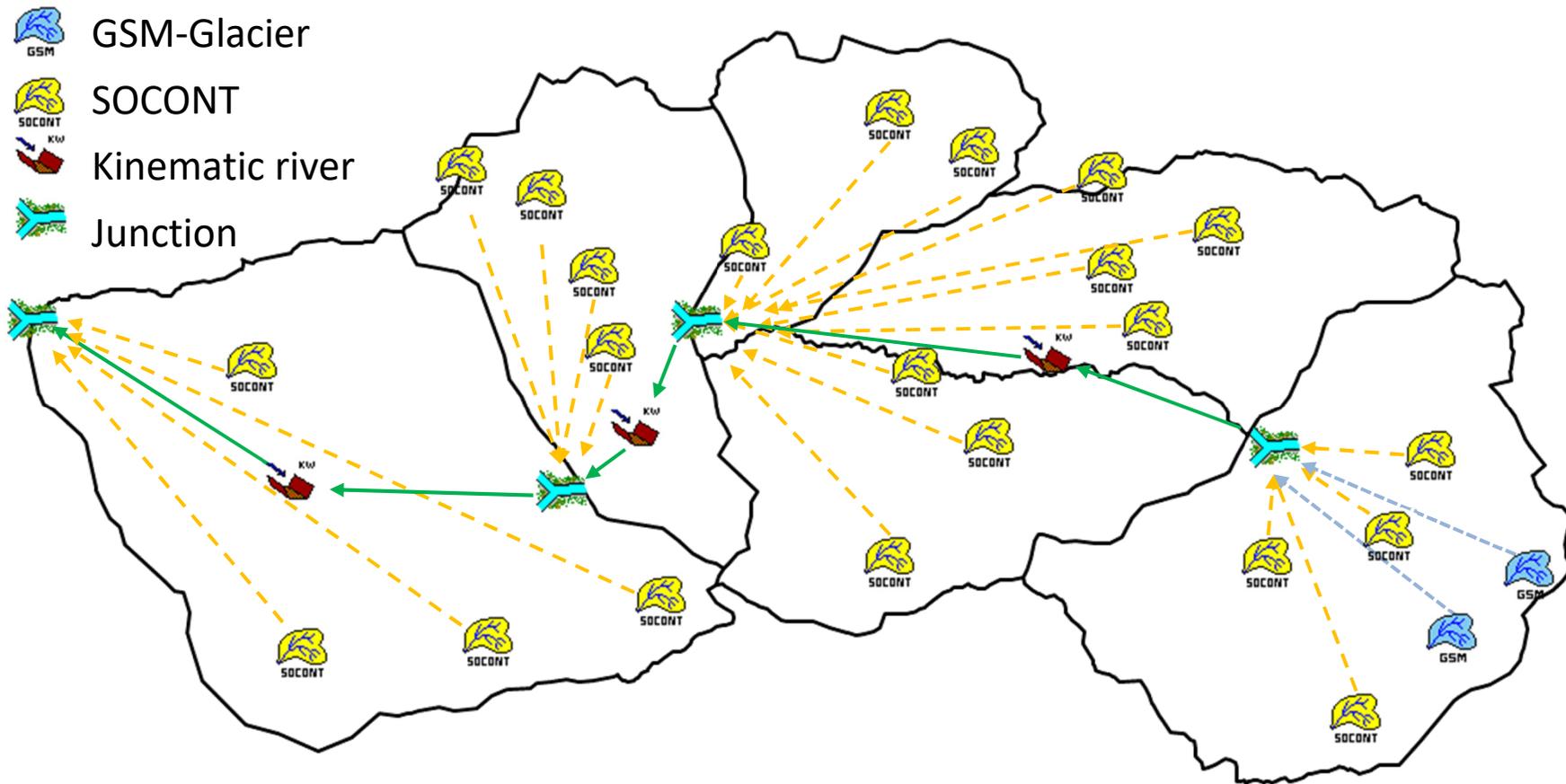
Calcul du centre de gravité (X, Y, Z) et de la surface de chaque bande d'altitude et des caractéristiques des rivières



1. Modélisation semi-distribuée

Concept semi-distribué

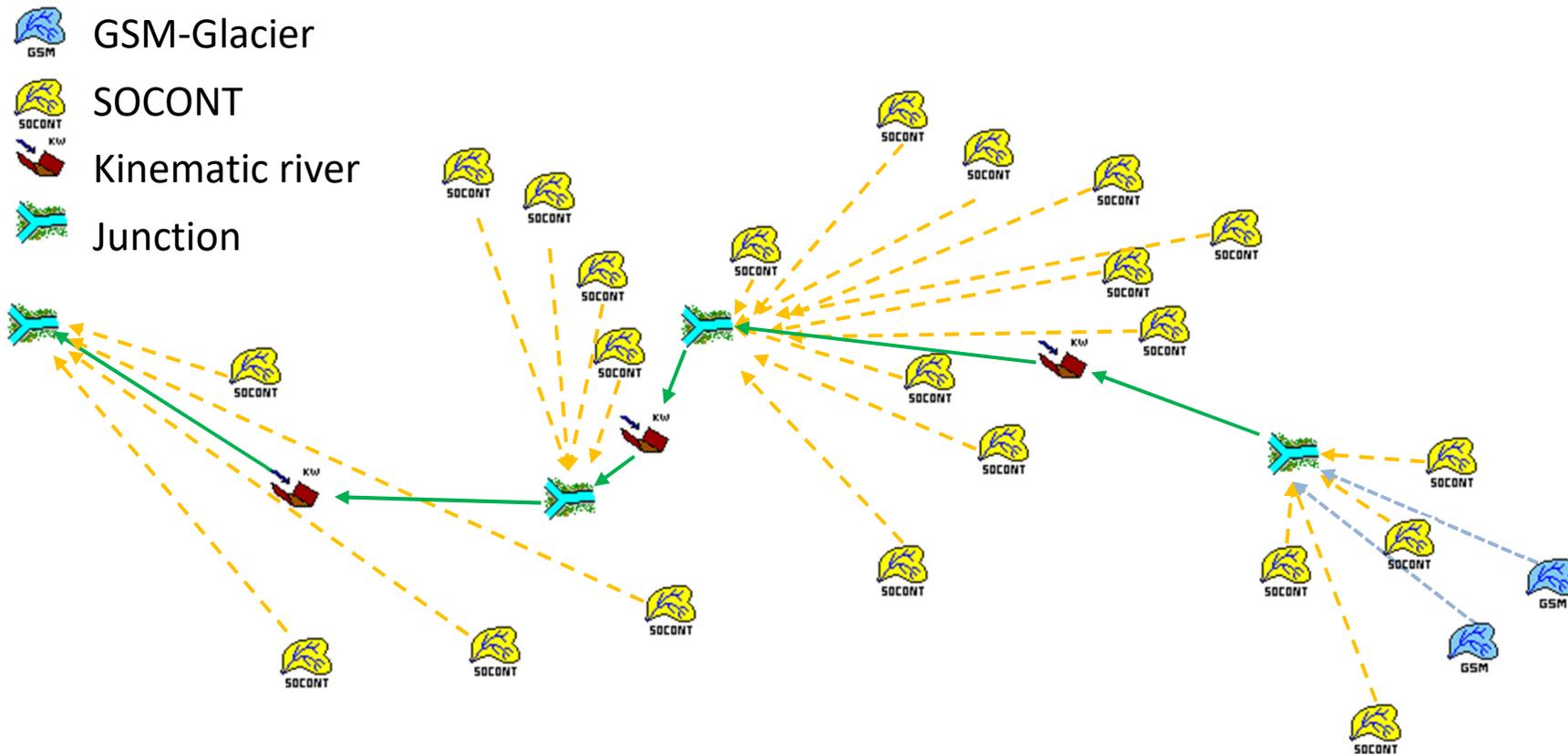
Calcul du centre de gravité (X, Y, Z) et de la surface de chaque bande d'altitude et des caractéristiques des rivières



1. Modélisation semi-distribuée

Concept semi-distribué

Modèle hydrologique prêt pour être implémenté dans le programme pour simulation



1. Modélisation semi-distribuée

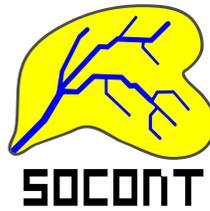
Variables et paramètres d'un modèle hydrologique

- **Variables d'entrée** (ou indépendantes): Les données d'entrée du modèle. En général, il s'agit des données de précipitation, de température et d'évapotranspiration potentielle. Ces données comportent une variation spatio-temporelle.
- **Variables de sortie** (ou dépendantes): Les données de sortie du modèle, constituées en général des données de débit, mais pouvant par exemple aussi être la hauteur de neige.
- **Variables d'état**: Les variables qui permettent la caractérisation de l'état du système modélisé et qui peuvent évoluer avec le temps. Il s'agit, par exemple, du niveau de saturation des réservoirs d'infiltration ou de la hauteur de neige.
- **Paramètres**: Valeurs constantes, à sens physique ou non, mesurées ou calées, permettant de faire correspondre au mieux le modèle hydrologique avec la réalité physique.

2. Le modèle SOCONT

Modèle SOCONT

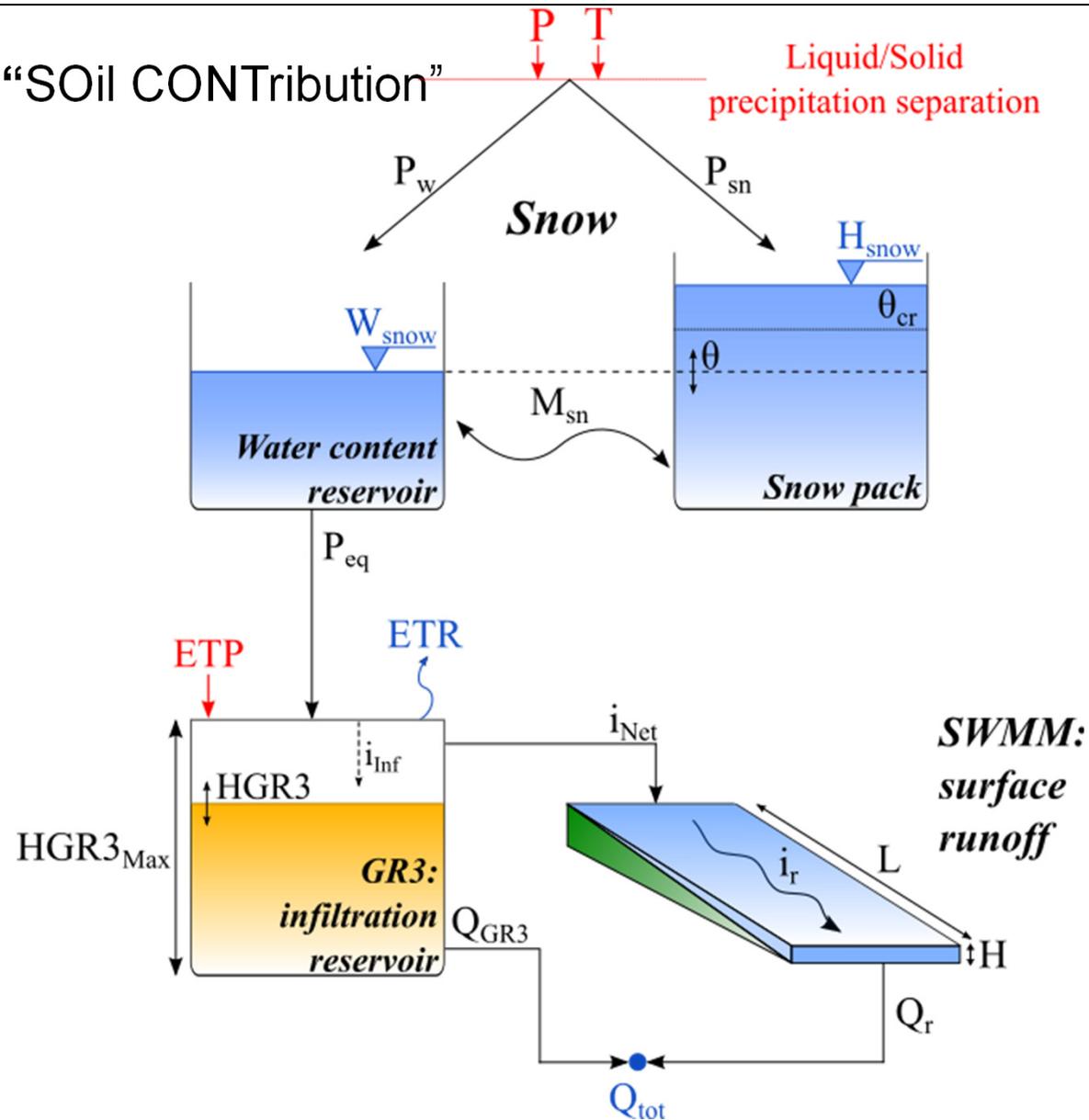
- Précipitation
- Température
- ETP



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

2. Le modèle SOCONT

SOCONT: "SOil CONTRibution"



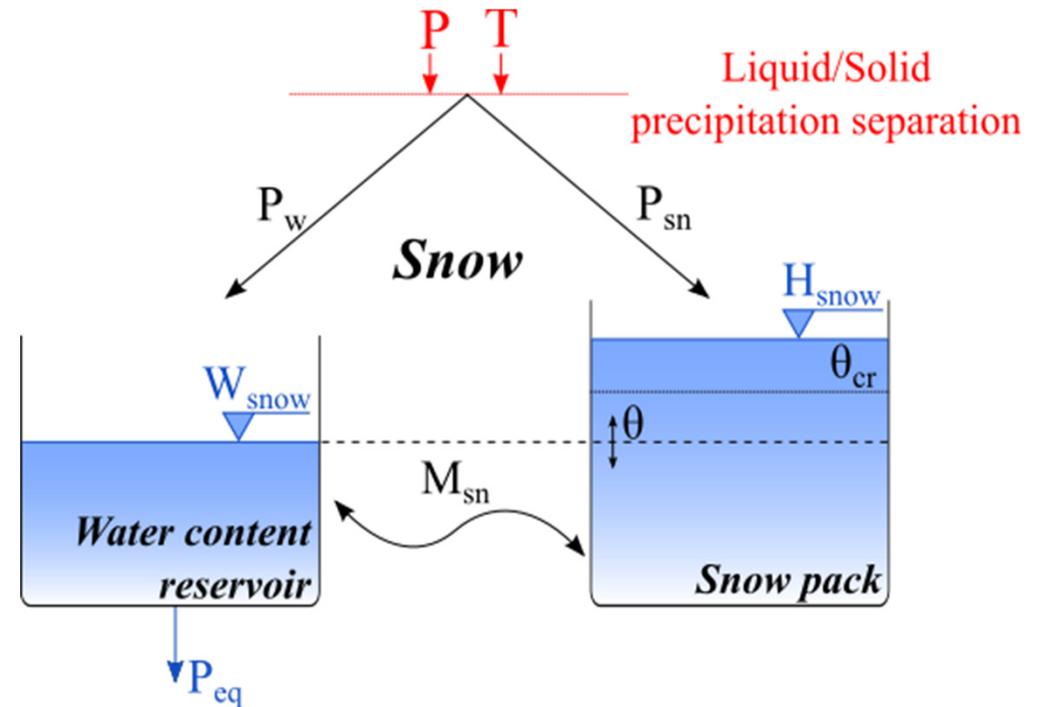
2. Le modèle SOCONT

Snow: "Snow model"

- Précipitation
- Température

- Précipitation équivalente
- Hauteur de neige
- Theta

- 6 paramètres
- 2 variables d'état



2. Le modèle SOCONT

Object	Name	Units	Description	Regular Range
Snow	Asn	mm/°C/day	Degree-day snowmelt coefficient	0.5 to 20
	ThetaCri	-	Critical relative water content of the snow pack	0.1
	bp	s/m	Melt coefficient due to liquid precipitation	0.0125
	T _{cp1}	°C	Minimum critical temperature for liquid precipitation	0
	T _{cp2}	°C	Maximum critical temperature for solid precipitation	4
	T _{cf}	°C	Critical snowmelt temperature	0
	HsnowIni	m	Initial snow height	-
	ThetaIni	-	Initial relative water content in the snow pack	-

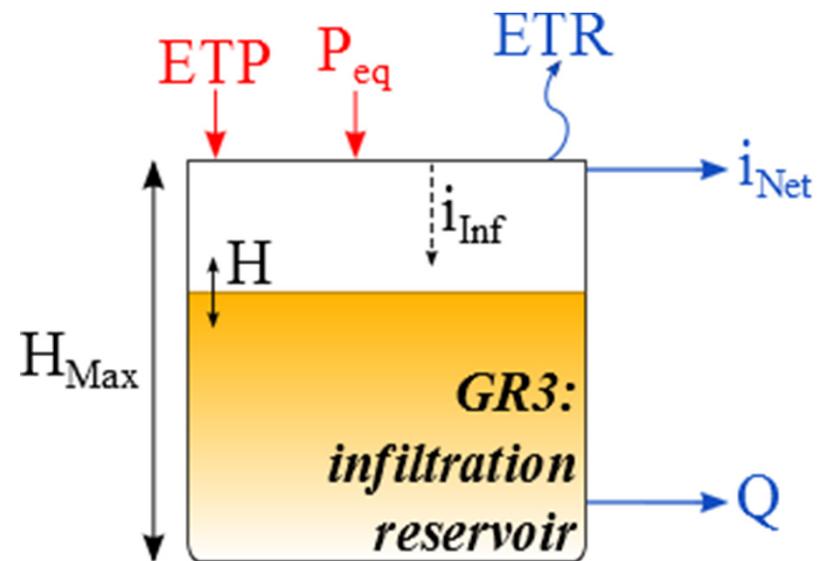
2. Le modèle SOCONT

GR3: "Infiltration model"

- Précipitation
- ETP

- Intensité nette
- Débit de base
- ETR
- Saturation

- 3 paramètres
- 2 variables d'état



2. Le modèle SOCONT

Object	Name	Units	Description	Regular Range
GR3	A	m ²	Surface of infiltration	>0
	HGR3Max	m	Maximum height of infiltration reservoir	0 to 2
	KGR3	1/s	Release coefficient of infiltration reservoir	0.00025 to 0.1
	HGR3Ini	m	Initial level in infiltration reservoir	-

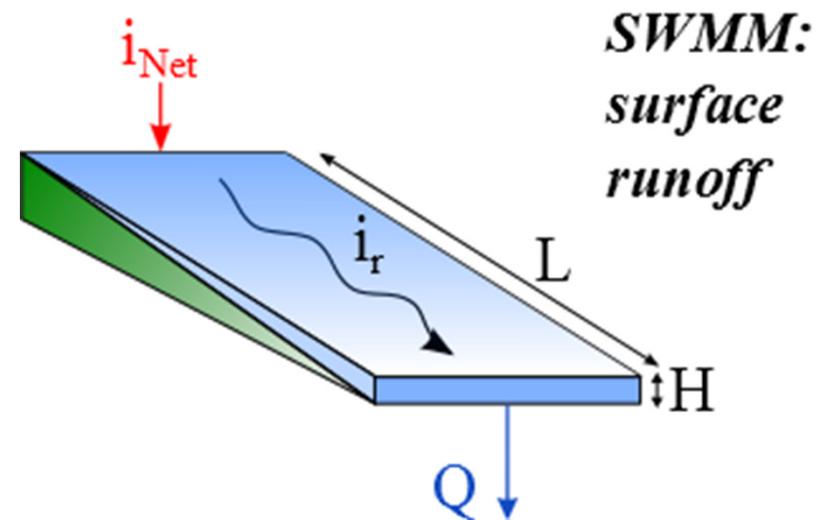
2. Le modèle SOCONT

SWMM: “Storm Water Management Model”

- Précipitation

- Débit de ruissellement
- Hauteur de ruissellement

- 3 paramètres
- 1 variable d'état



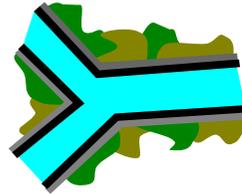
2. Le modèle SOCONT

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	-

3. Modélisation hydraulique

Jonction (addition de débits)

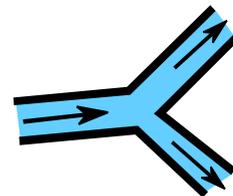
• Débit(s)
entrant(s)



• Débit sortant

Dérivation (séparation du débit)

• Débit entrant

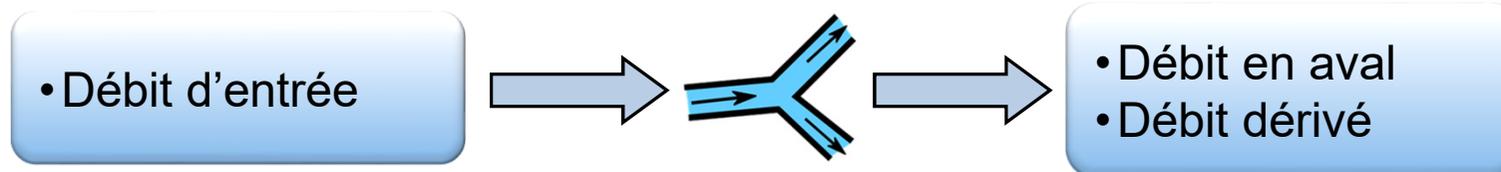


• Débit à l'aval
• Débit dérivé

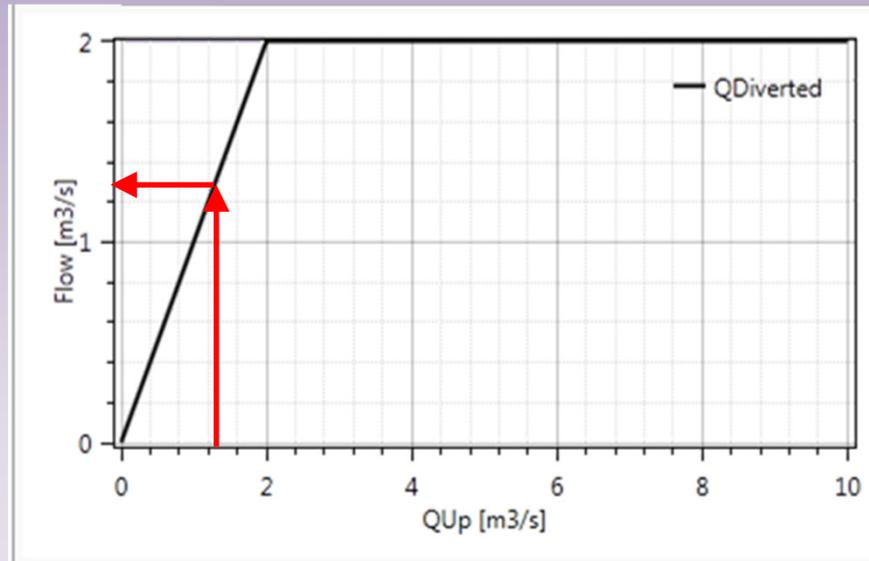
• Relation Débit entrant – Débit dérivé

3. Modélisation hydraulique

Dérivation

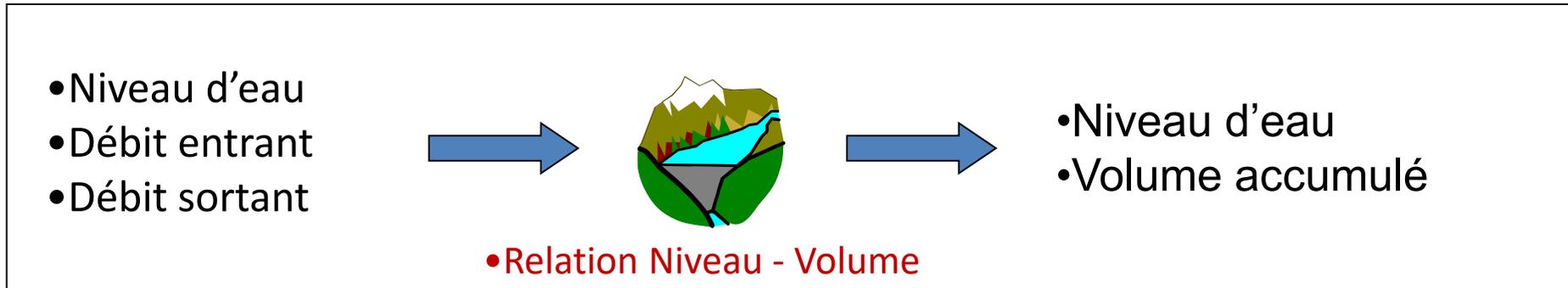


➤ Relation : Débit d'entrée – Débit dérivé

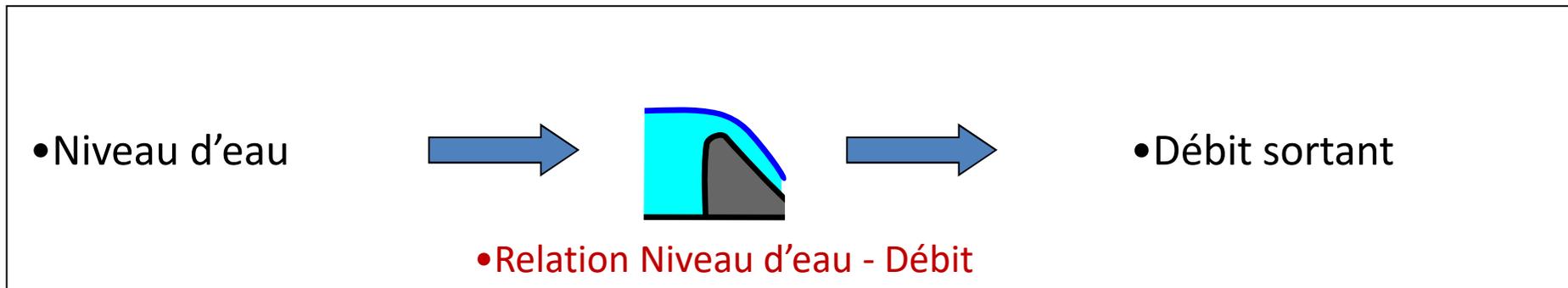


3. Modélisation hydraulique

Réservoir

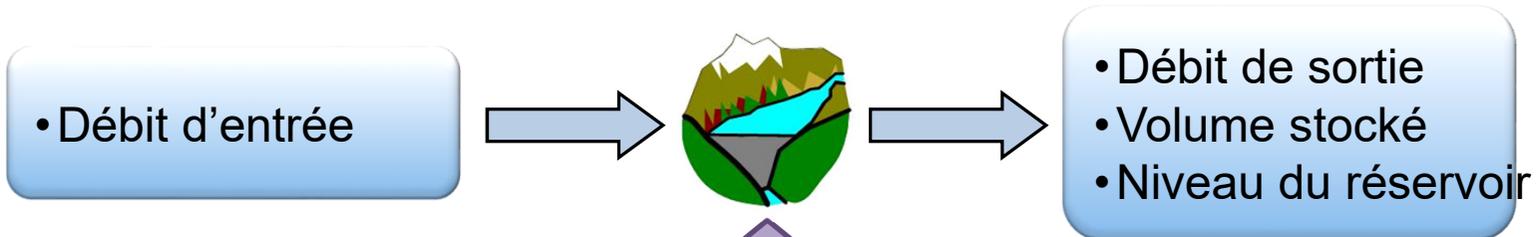


Relation Niveau-Débit



3. Modélisation hydraulique

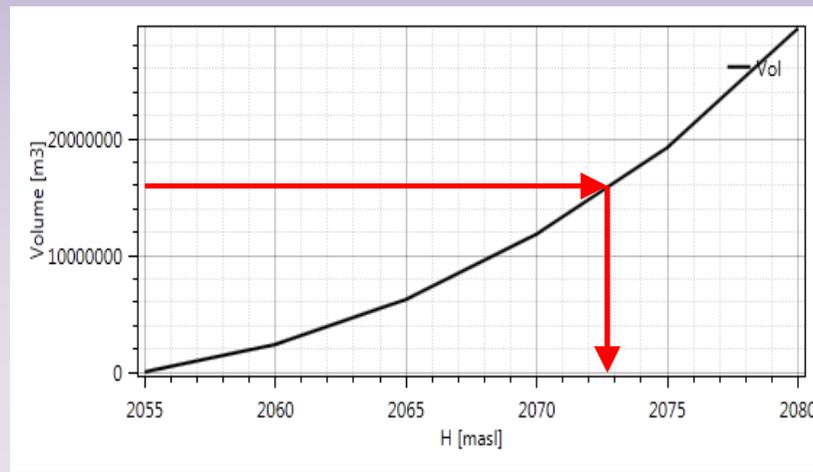
Réservoir



- Modèle de bilan de masse

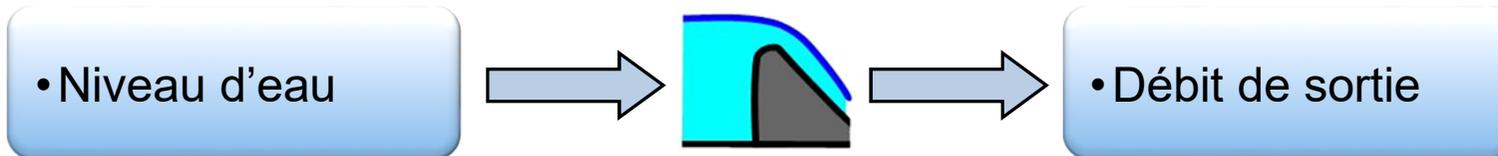
$$\frac{\Delta V_i}{\Delta t} = Q_e - Q_s$$

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

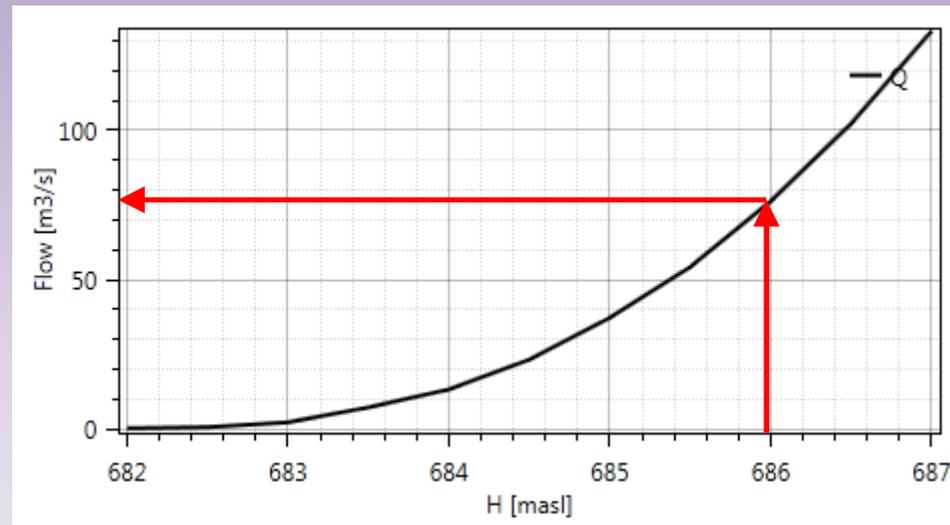


3. Modélisation hydraulique

Déversoir



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



4. Calage et Fonction objectif

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.

4. Calage et Fonction objectif

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 différentes séries de débit simulées et ainsi définir le jeu de paramètres optimal.

4. Calage et Fonction objectif

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.

4. Calage et Fonction objectif

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.

4. Calage et Fonction objectif

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 co-variabilité entre débits simulés et débits observés sans pénaliser le bias

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

4. Calage et Fonction objectif

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

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

4. Calage et Fonction objectif

Optimisation automatique: algorithmes

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

