

VULNÉRABILITÉ DES BASSINS VERSANTS SUISSES AUX SÉCHERESSES : APPROCHE HYDROGÉOLOGIQUE

Claire Carlier, Prof. Philip Brunner, Prof. Daniel Hunkeler, CHYN
Rencontres de l'Eau 2015, Lausanne



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Office fédéral de l'environnement OFEV



Universität
Zürich^{UZH}



uni^{ne}
UNI
FREIBURG
UNIVERSITÉ DE
NEUCHÂTEL

PÉNURIES D'EAU EN SUISSE?

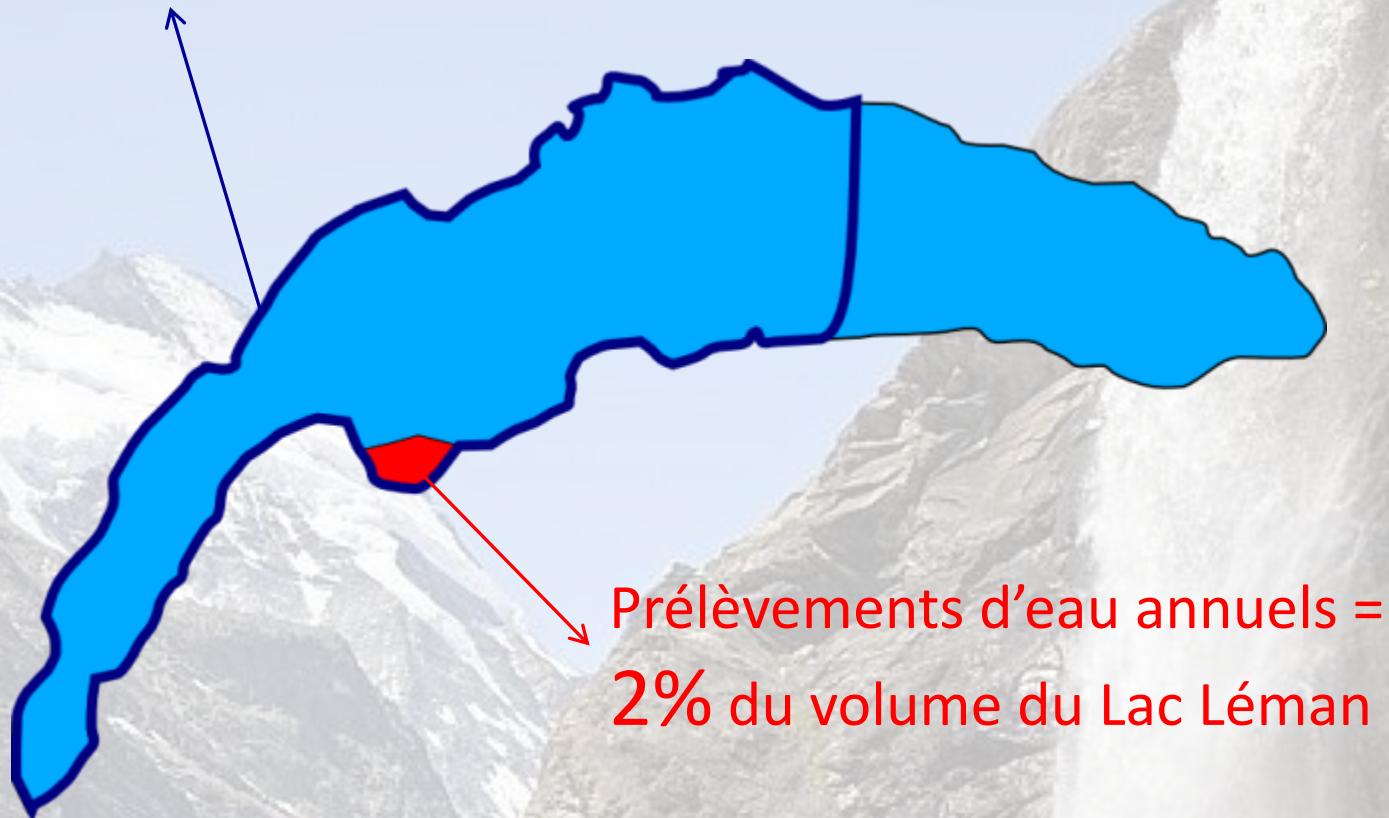
Le château d'eau de l'Europe est-il à sec?



image: letemps.ch

PÉNURIES D'EAU EN SUISSE?

Précipitations annuelles=
65% du volume du Lac Léman



chiffres: trinkwasser.ch

image: letemps.ch

PÉNURIES D'EAU EN SUISSE?



Image:rts.ch



Image:rts.ch

LE TEMPS

SUISSE & RÉGION

ACTUALITÉ | EN CONTINU | ÉCONOMIE | CULTURE | LIFESTYLE | OPINION
Monde | Genève Internationale | Suisse | Sciences & Environnement | Sports | Multimédia

Texte □ +

SÉCHERESSE Jeudi 22 juillet 2010

La Venoge, fleuve des Vaudois, est à sec

Mathieu Signorelli

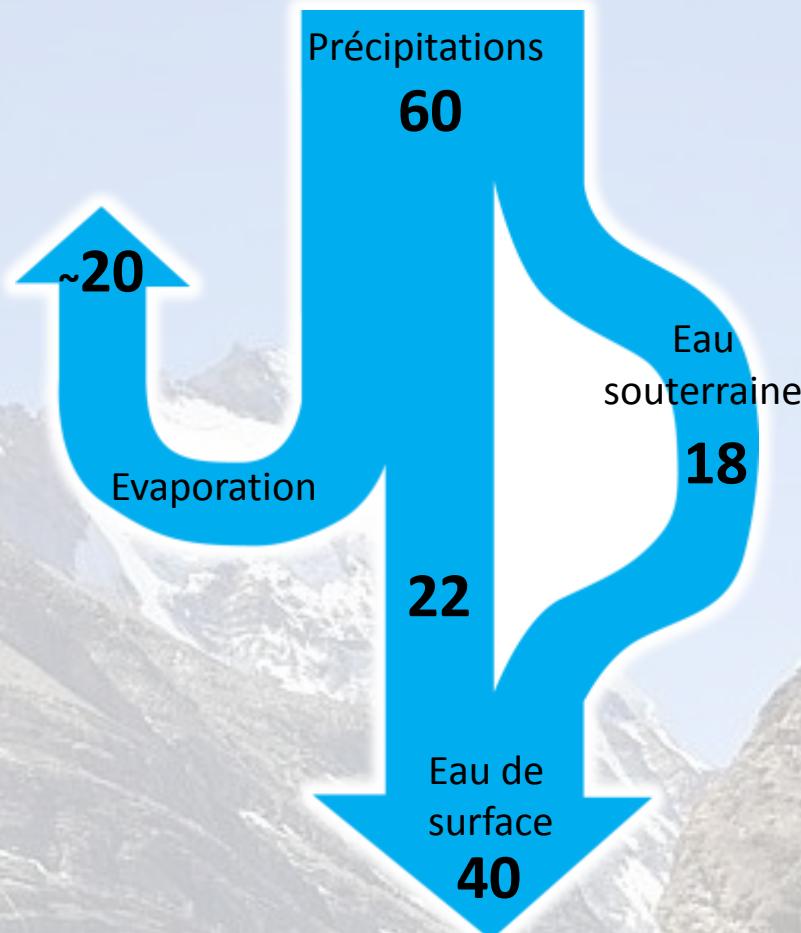


La source principale de la célèbre rivière vaudoise devrait bientôt se tarir. En cause: les fortes chaleurs. Entourés par les captages d'eau, certains affluents de la Venoge sont déjà à sec et l'eau potable vient à manquer

image: letemps.ch

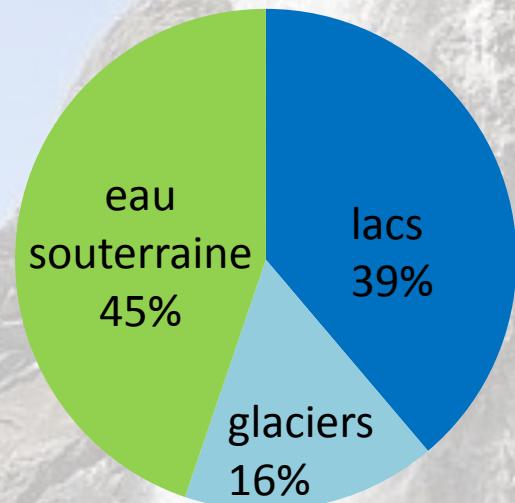
L'EAU SOUTERRAINE EN SUISSE

Bilan annuel (km³/an)



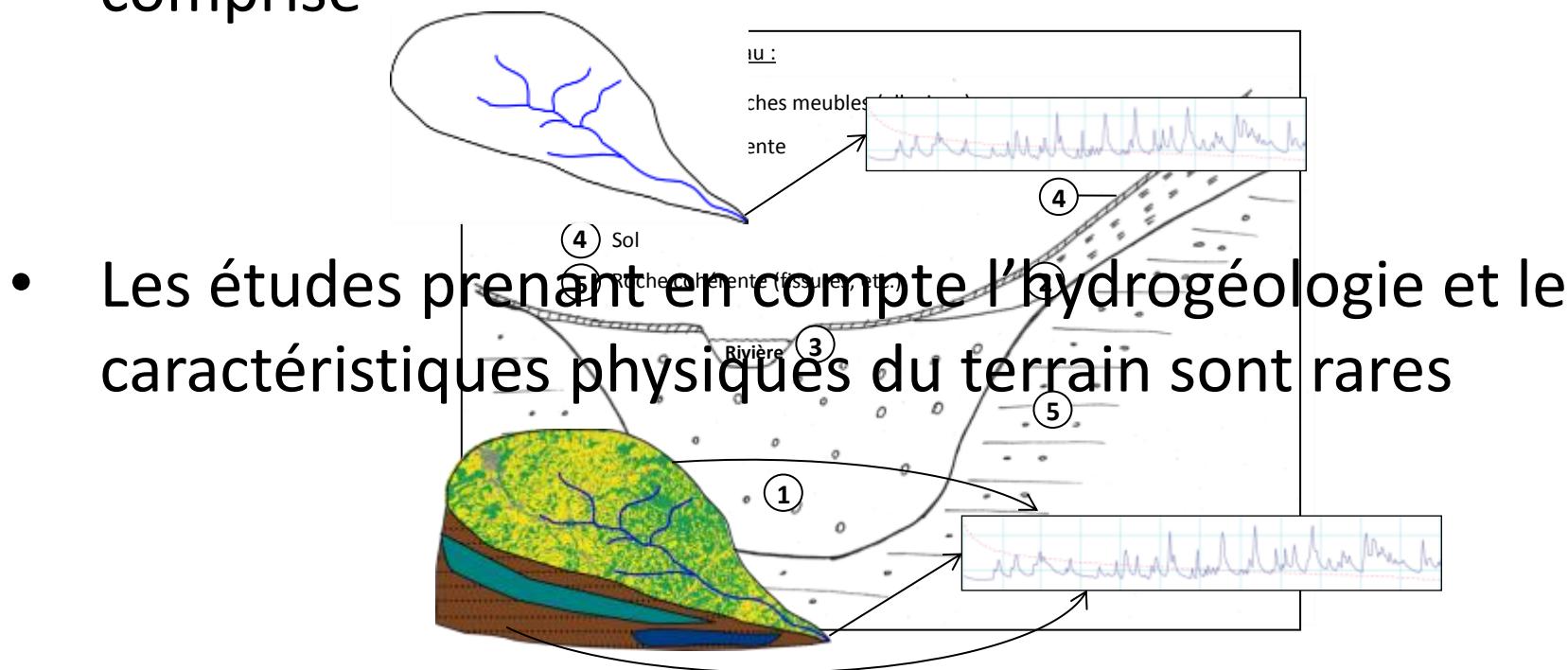
Source: Hubacher & Schädler 2010

Réserves en eau



Source: Accadémies suisses des sciences

- Nombreuses études consacrées à l'hydrologie des bas débits
- Dynamique de basses eaux des rivières encore mal comprise

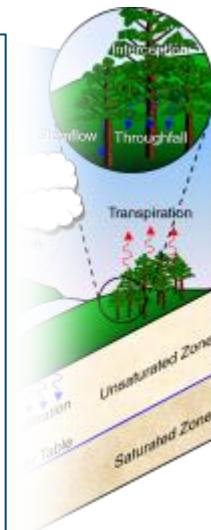
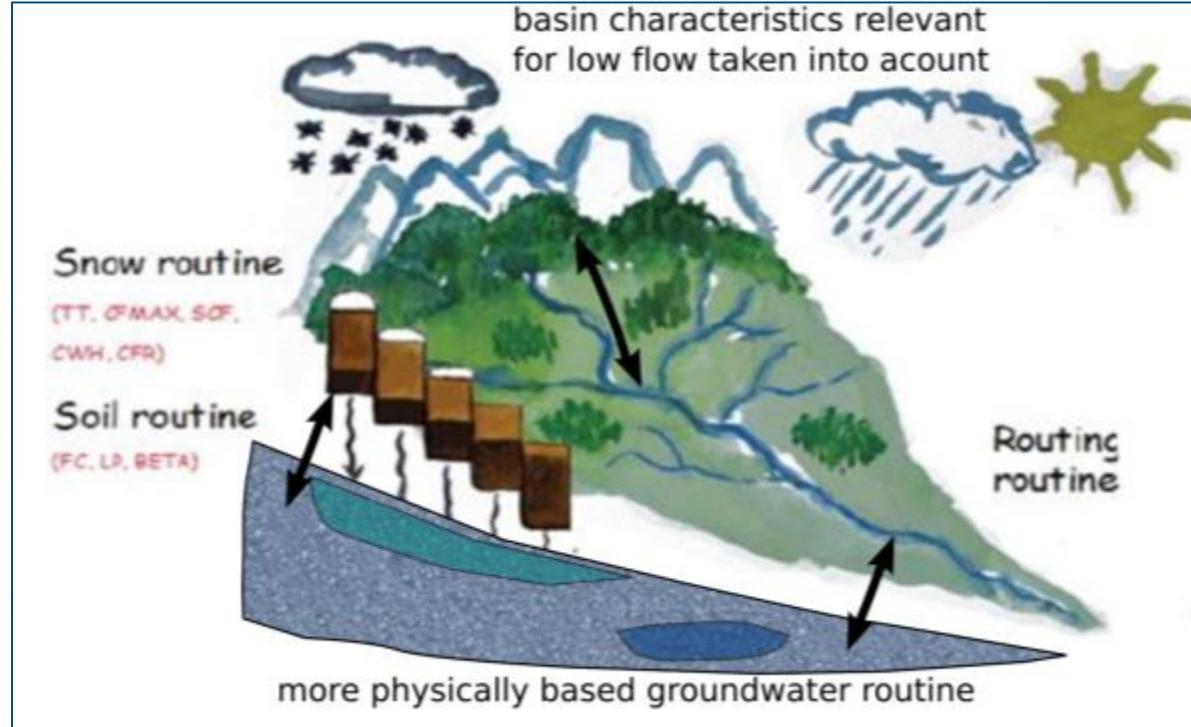


Modèles en hydrologie

Conceptuels: HBV

Modèle « hybride »

physique: HGS



- ✓ Elaboration rapides
- ✓ Bonnes performances moyens à hauts coûts
- Mauvaise reproduction des bas débits

- Caractéristiques détaillées
d'un modèle plus complexe
- Longs temps de simulation

POUR RÉSUMER: POURQUOI CE PROJET?

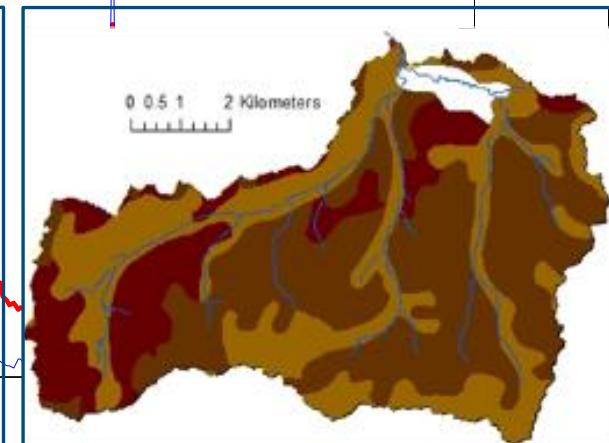
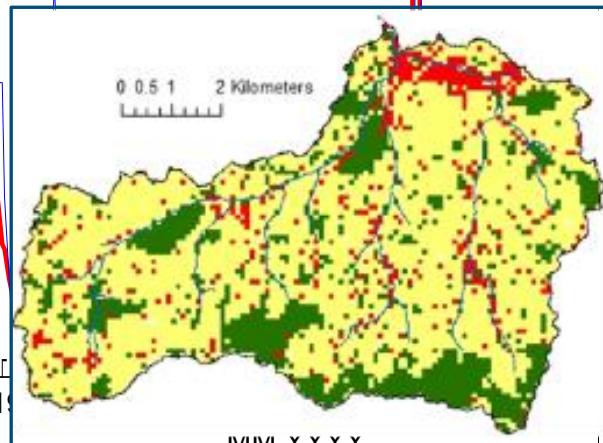
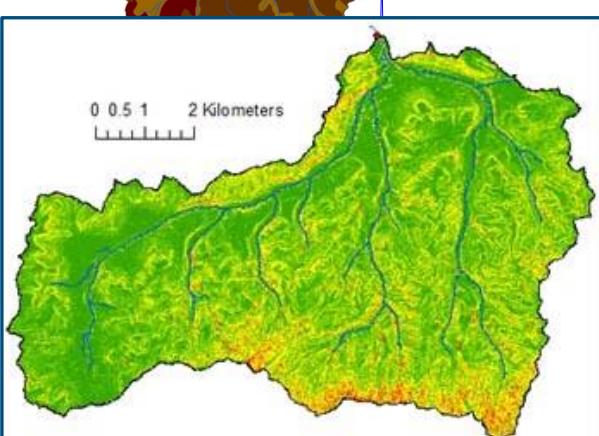
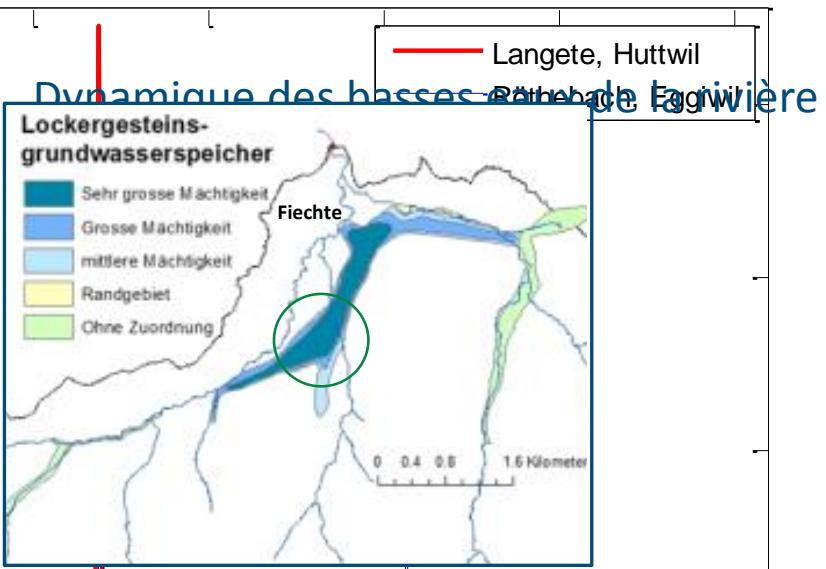
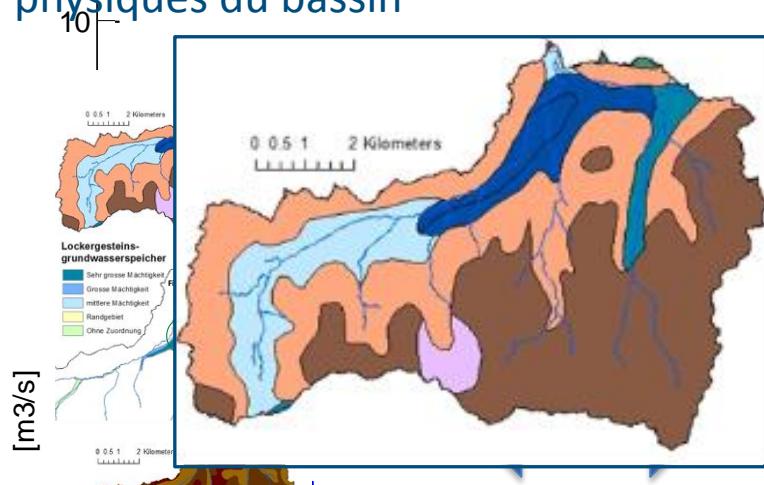
- La Suisse est sujette à des pénuries d'eau à échelle locale et saisonnière
- L'eau souterraine est un réservoir essentiel, particulièrement en cas de sécheresse
- La dynamique de basses eaux des rivières est encore mal comprise
- Peu d'études ont été consacrées au rôle de l'eau souterraine et des caractéristiques physiques du bassin versant en cas de sécheresse



OBJECTIFS

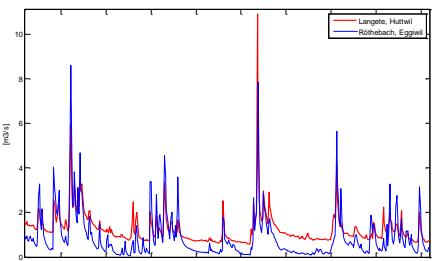
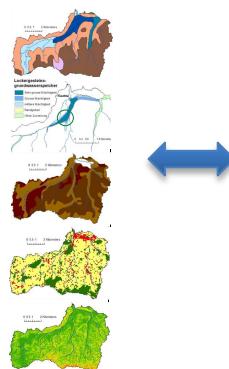
OBJECTIFS

Caractéristiques physiques du bassin

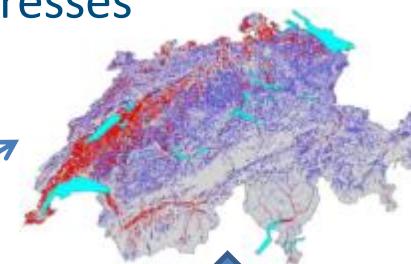


OBJECTIFS

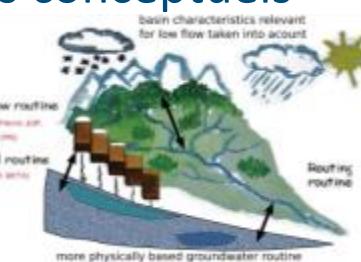
Identifier les caractéristiques du bassin versant qui déterminent la dynamique de basses eaux



Identifier les rivières et bassins versants suisses vulnérables aux sécheresses



Meilleure implémentation de l'hydrogéologie et des caractéristiques physiques dans les modèles conceptuels



METHODE

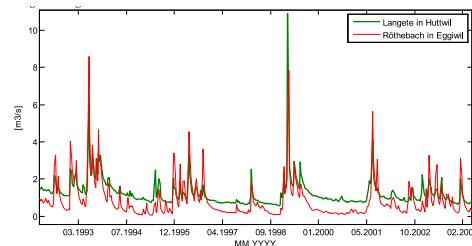
COMMENT?

OUTILS:

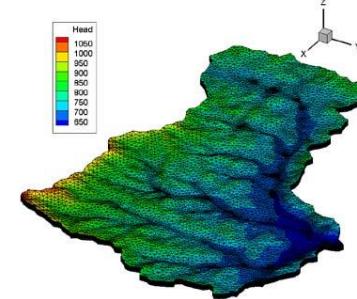
terrain



analyse de données

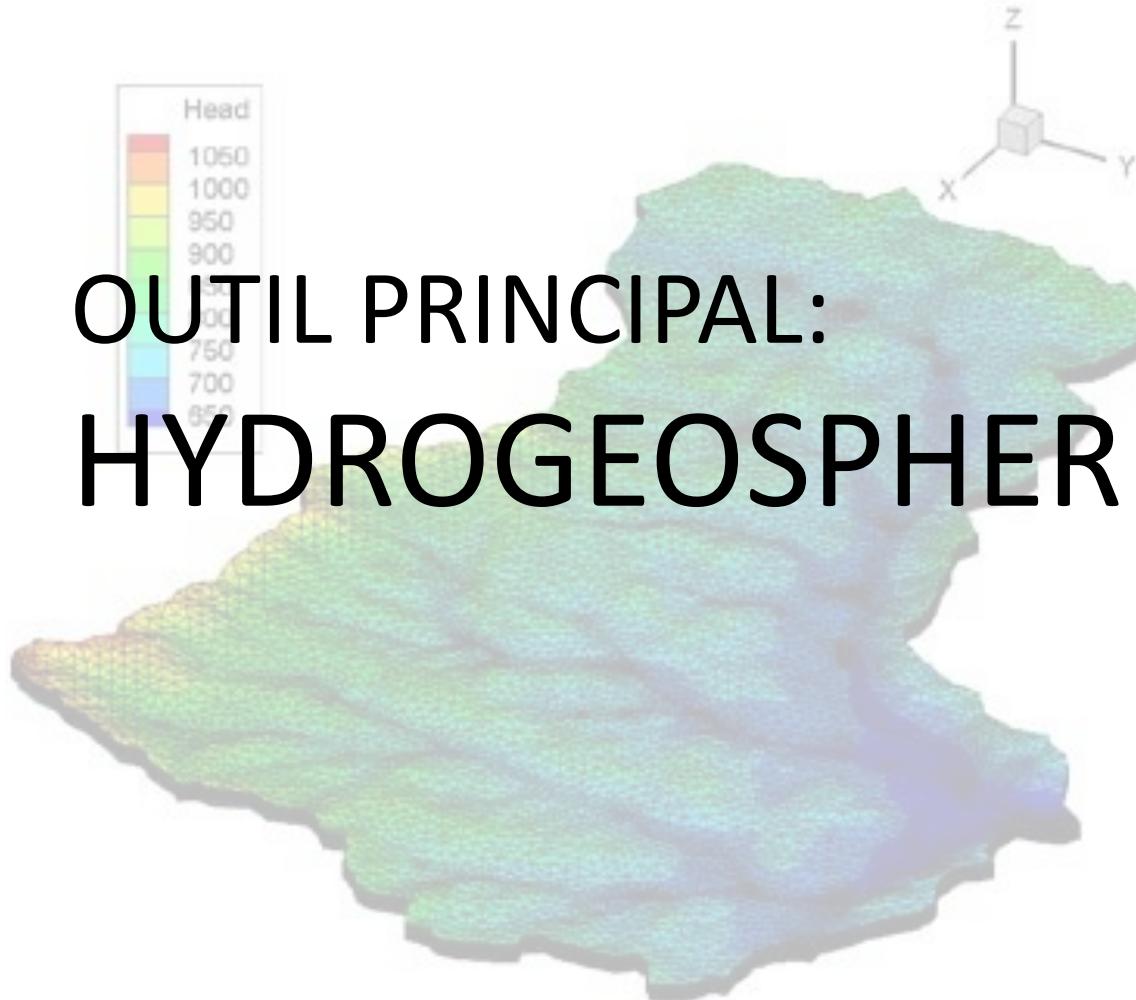


modèles (HGS)

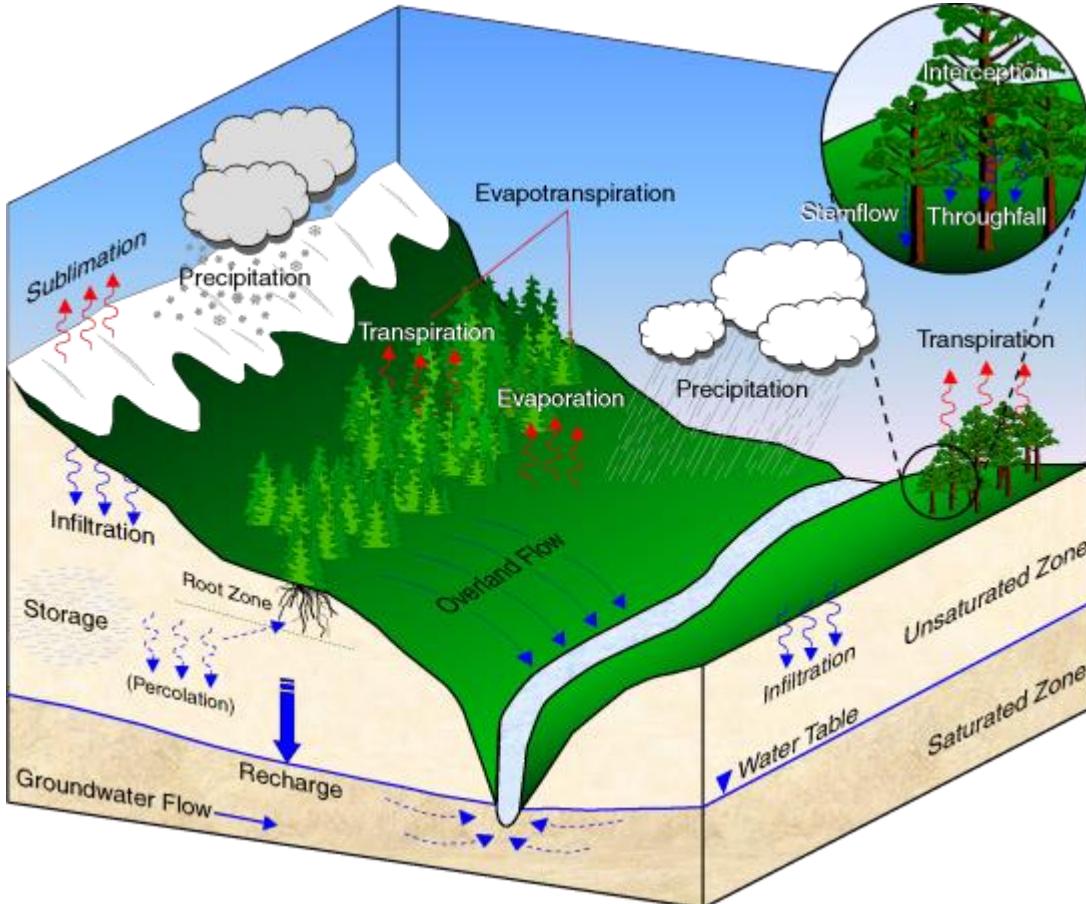


INVESTIGATIONS:

OUTIL PRINCIPAL: HYDROGEOSPHERE



MODÈLE HYDROGEOSPHERE “HGS”



Caractéristiques générales:

- Développé à l'Université de Laval (Québec)
- Modèle distribué, basé sur la physique
- Simulation du cycle hydrologique complet

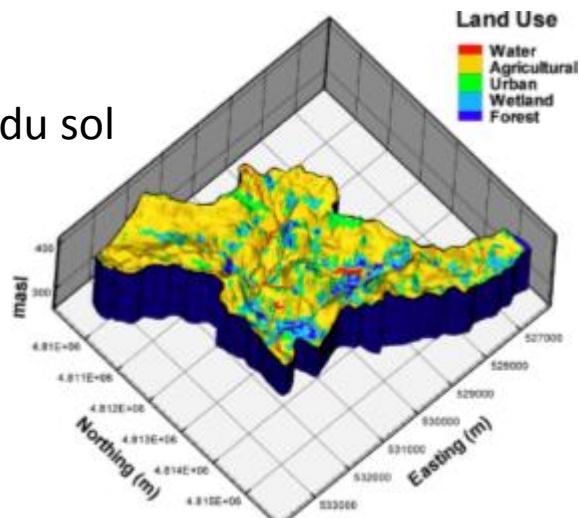
Fonctionnalités:

- **Prise en compte de toutes les interactions eaux de surface/ eaux souterraines**
- Résout simultanément les équations d'écoulement de surface, souterrains et de transport

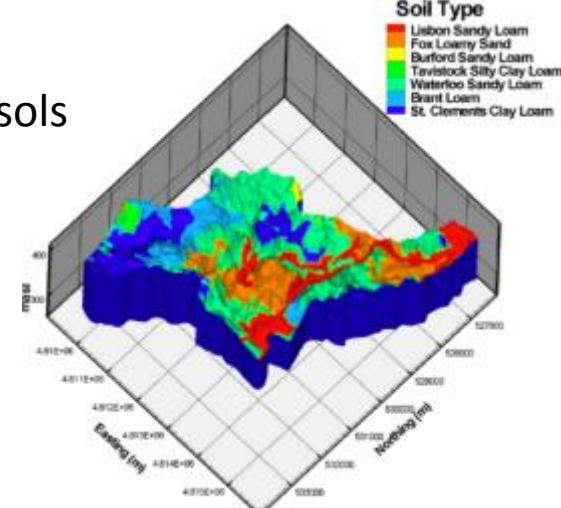
Source: Therrien, 2008

HYDROGEOSPHERE

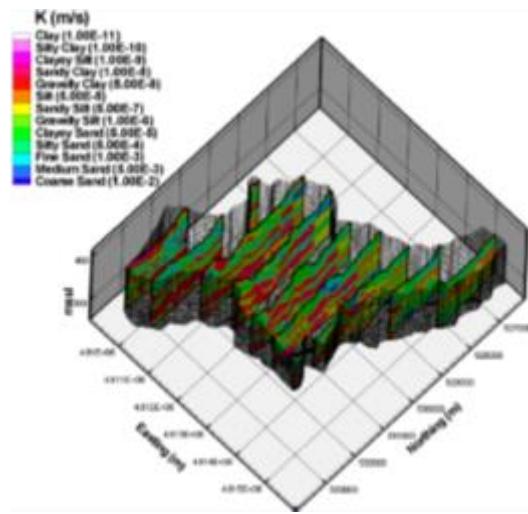
Utilisation du sol



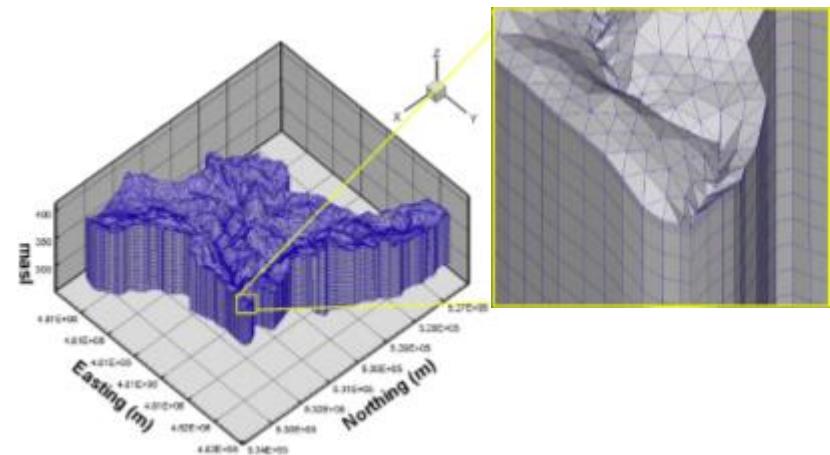
Types de sols



(Hydro)géologie

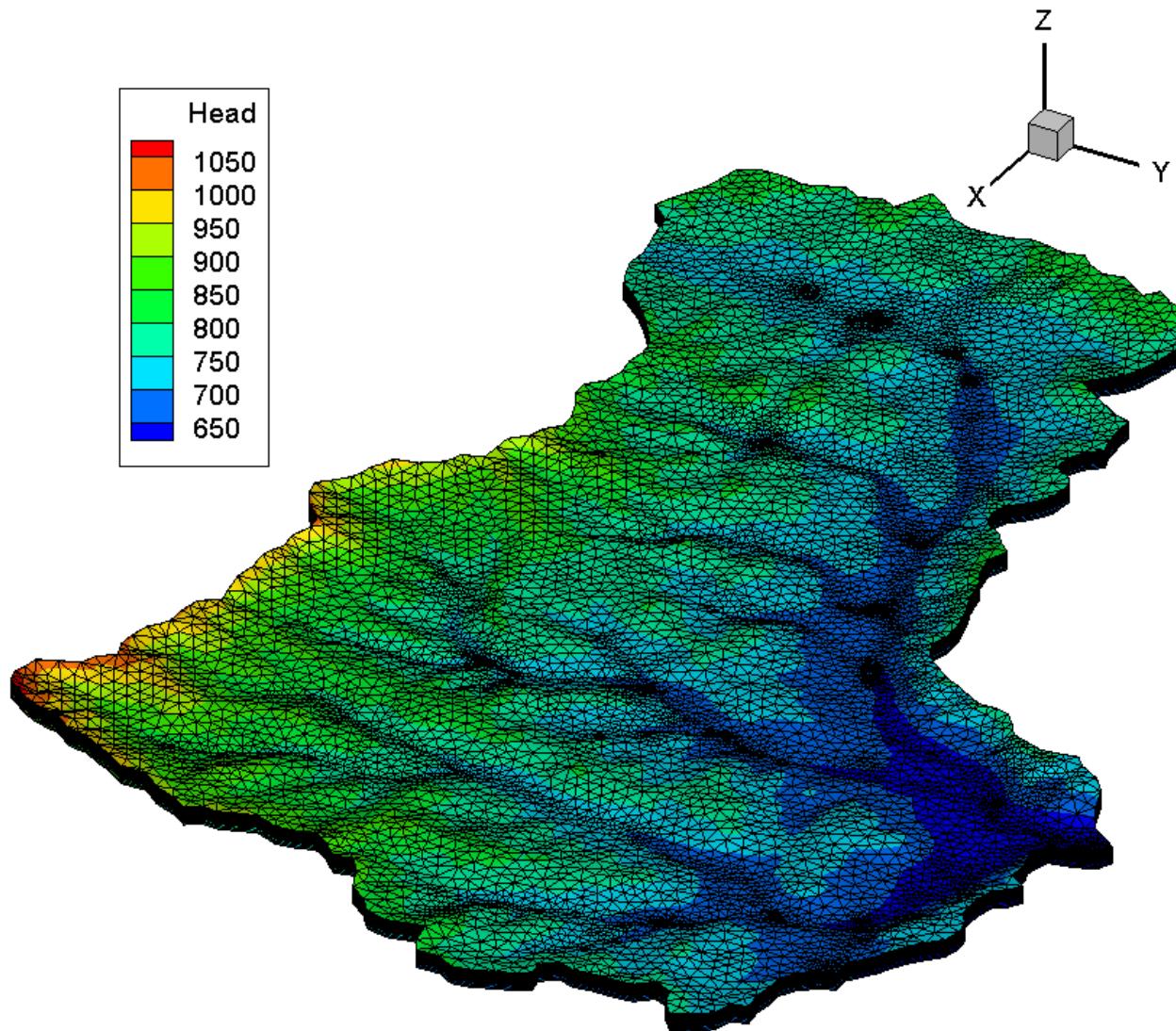


Topographie



(Therrien, 2008)

HYDROGEOSPHERE: APERÇU LANGETE



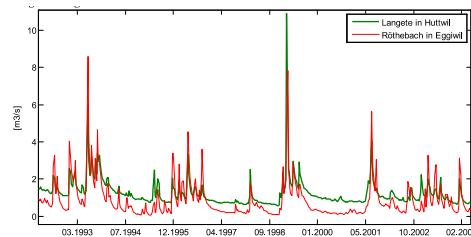
COMMENT?

OUTILS:

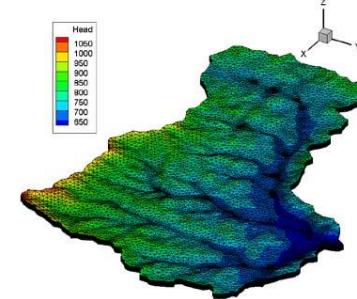
terrain



analyse de données

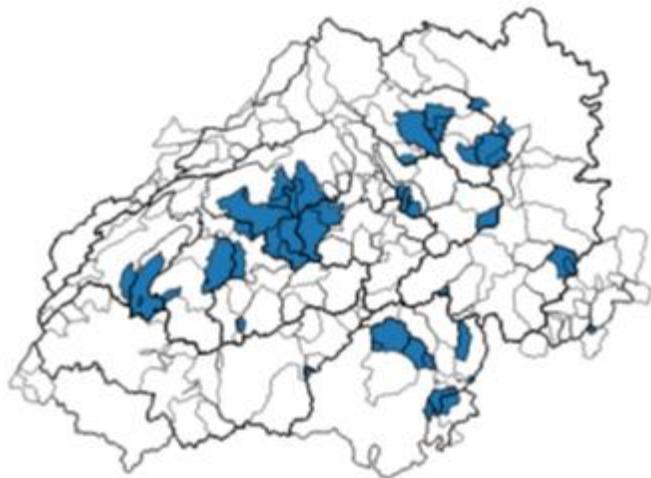


modèles (HGS)

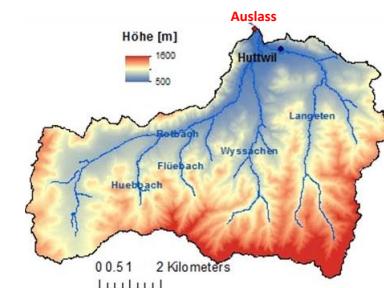
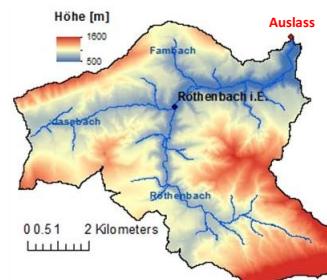


INVESTIGATIONS:

à large échelle (59 bassins versants suisses)



détaillée de 2 bassins versants



COMMENT?

INVESTIGATIONS:

à large échelle ($> 50 \text{ km}$)

géomorph

Taille

largeur fon

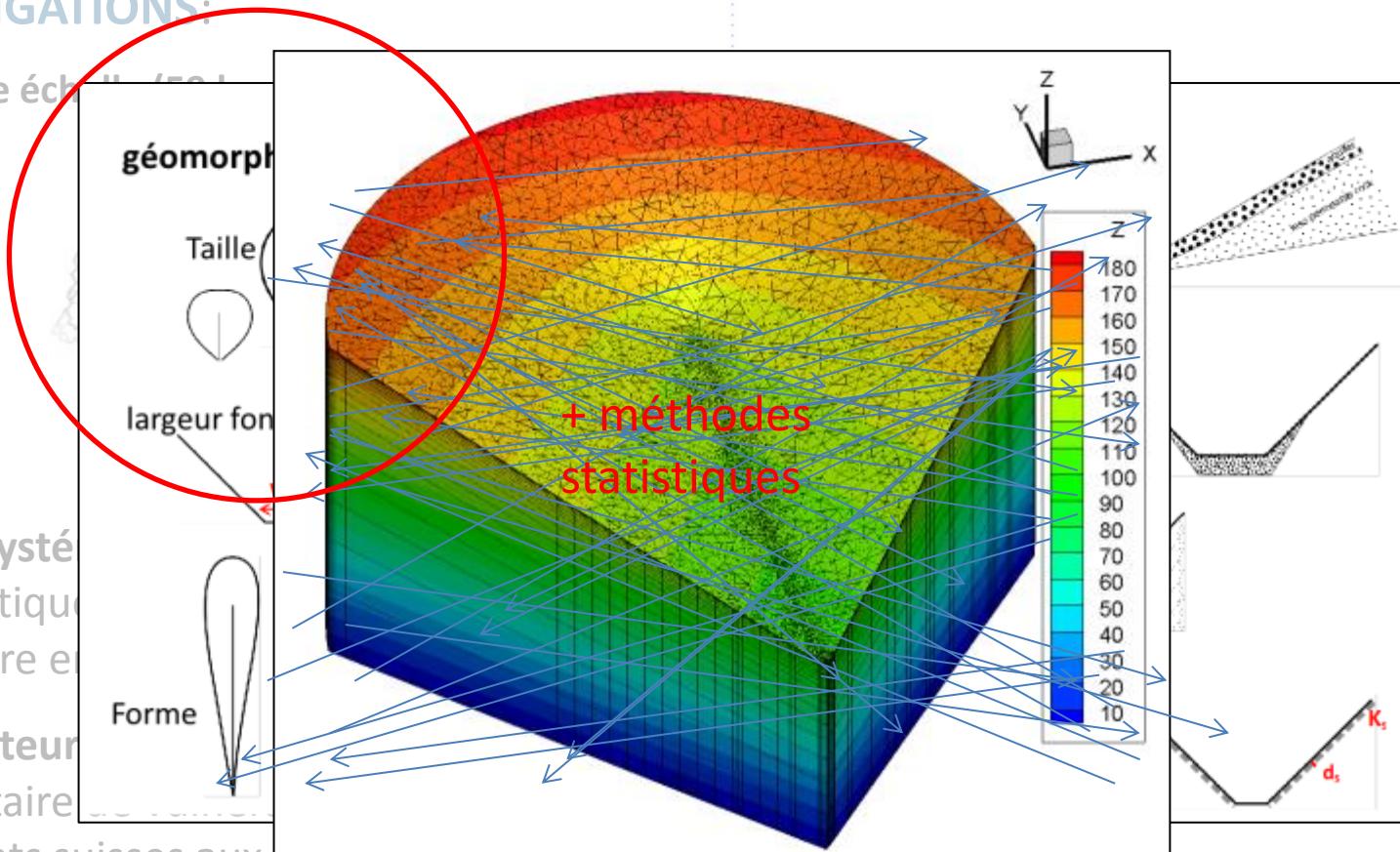
Forme

+ méthodes
statistiques

BUT:

Analyse systématique des caractéristiques de la rivière et

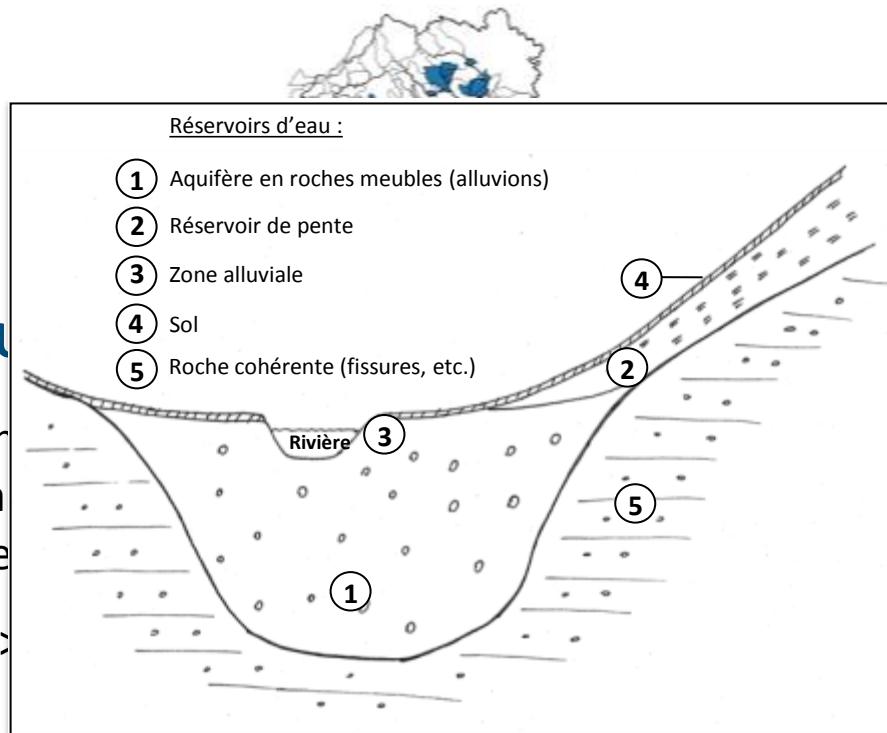
=> Indicateurs d'inventaire des versants suisses aux sécheresses



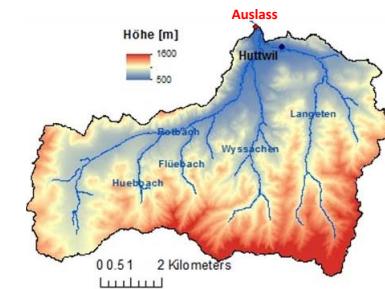
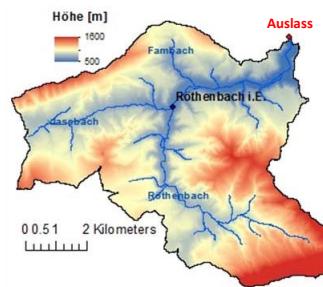
COMMENT?

INVESTIGATIONS:

à large échelle (59 bassins versants suisses)



détaillée de 2 bassins versants



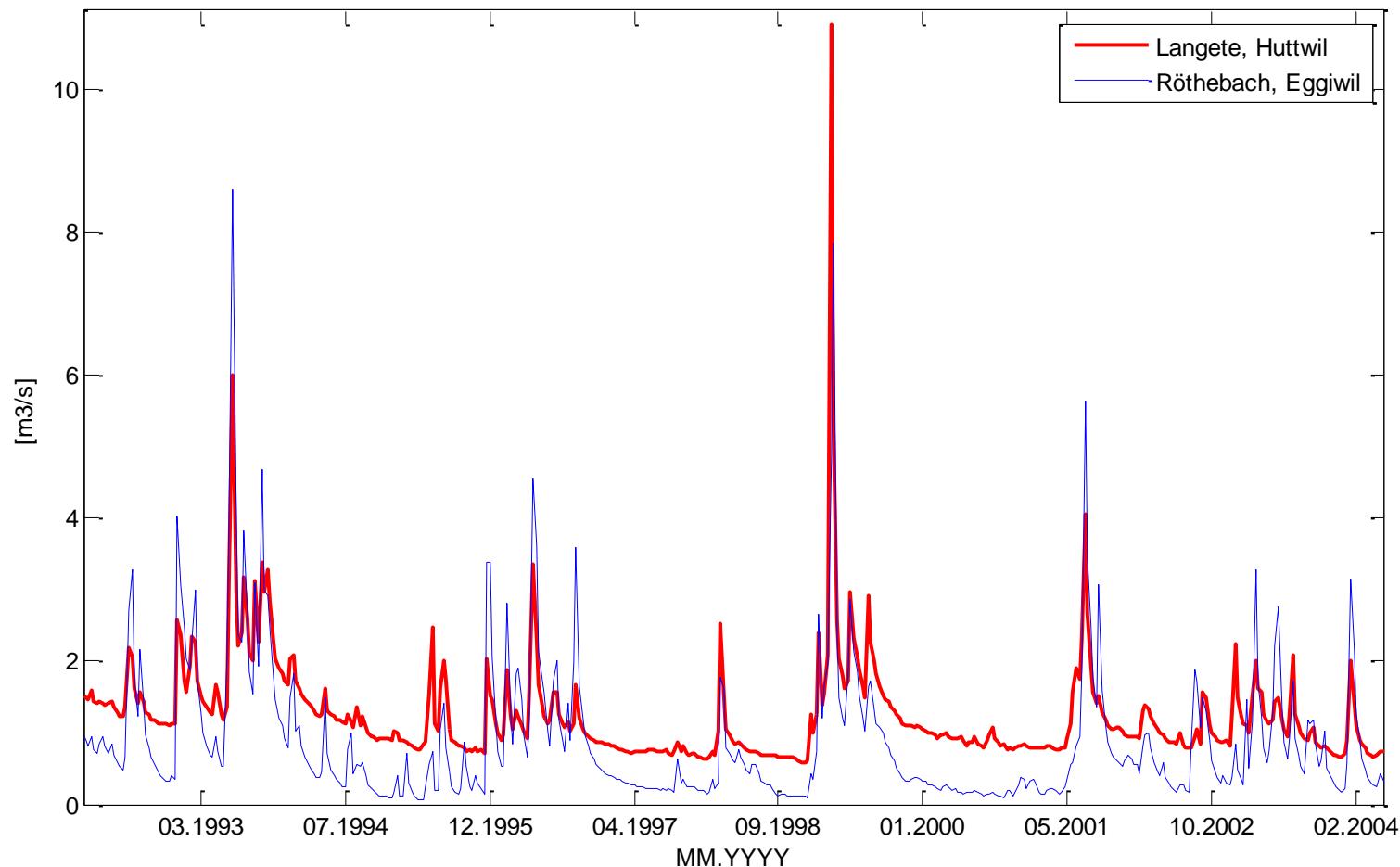
BUT:

Identifier les unités hydro(géo)logiques importantes en cas de sécheresse et quantifier leur contribution à la rivière

=> D'où vient l'eau de la rivière quand il ne pleut pas, à l'échelle du bassin versant?

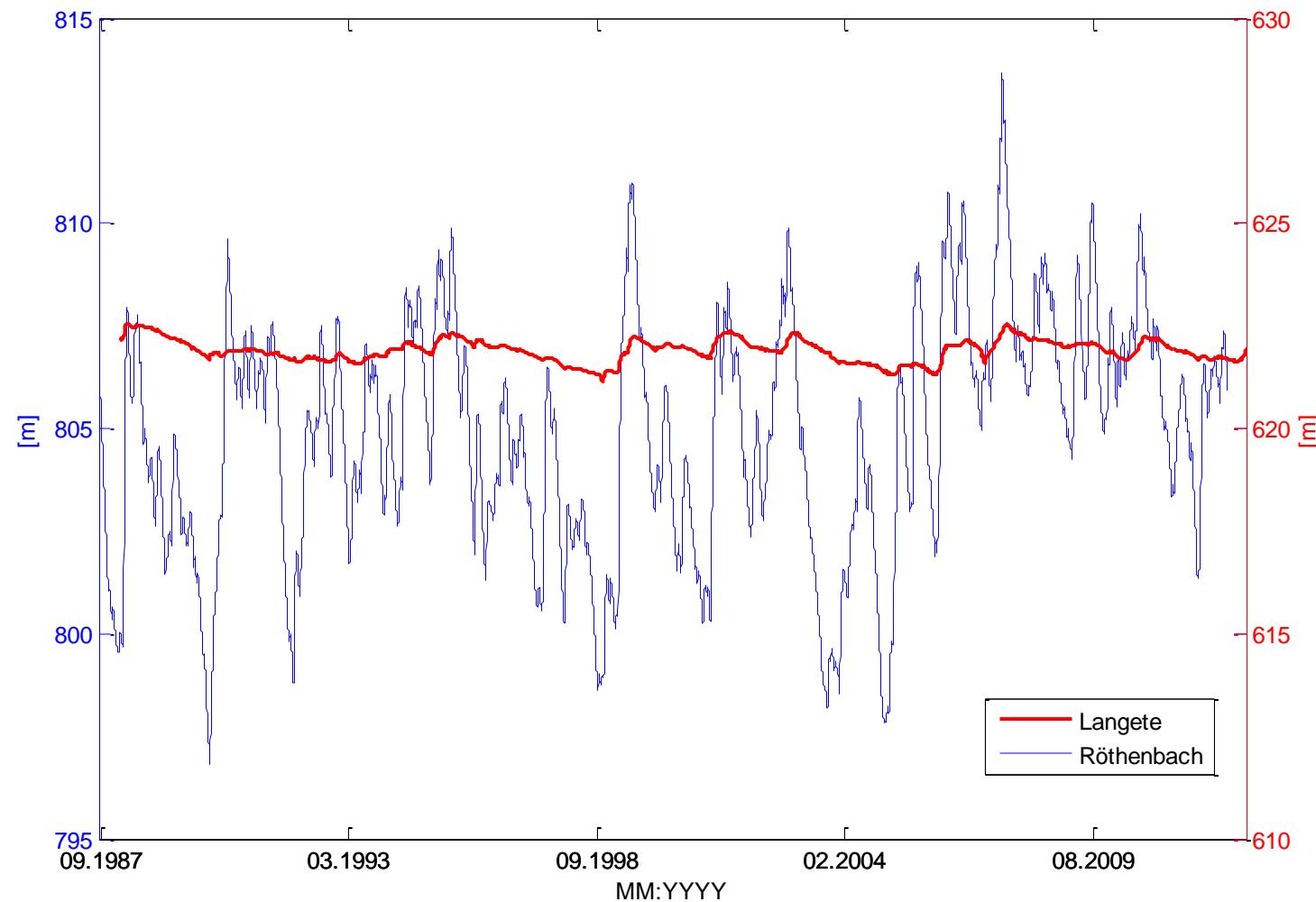
SENSIBILITÉ AUX SÉCHERESSES: DÉBITS

Débits mesurés



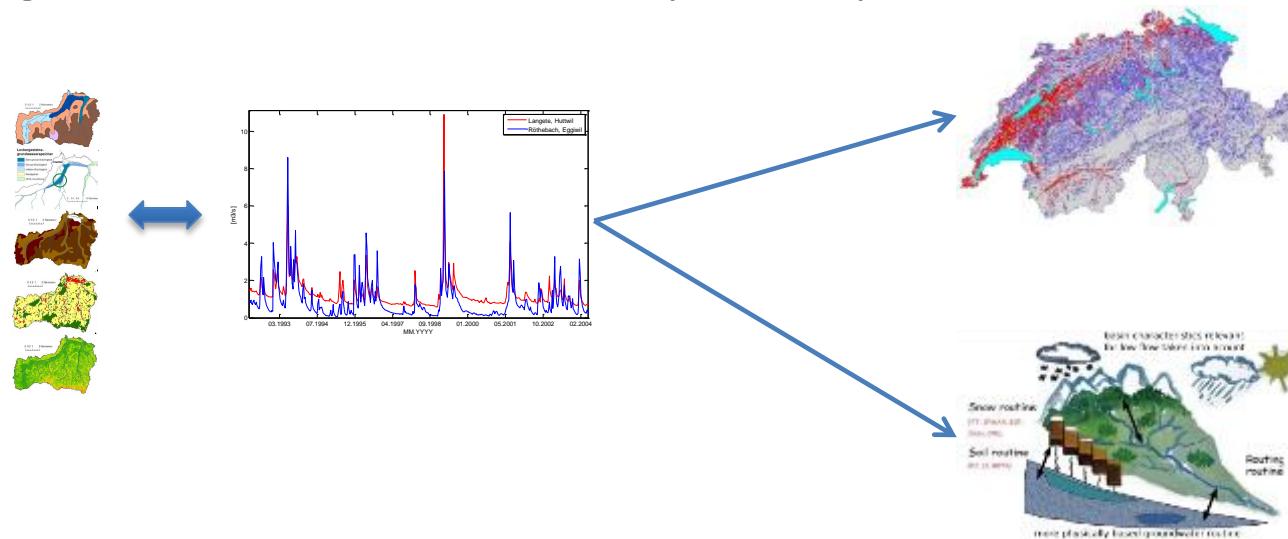
DYNAMIQUE DES AQUIFÈRES

Hauteur de la nappe phréatique



CONCLUSIONS

- Les pénuries d'eau en Suisse sont une réalité et risquent de devenir plus fréquentes à cause du réchauffement climatique.
- Le rôle de l'eau souterraine est capital, particulièrement en cas de sécheresse. L'importance de l'hydrogéologie est pourtant souvent sous-estimée en hydrologie classique.
- Le lien entre les caractéristiques physiques des bassins versants et leur hydrologie de basses eaux est encore peu compris.



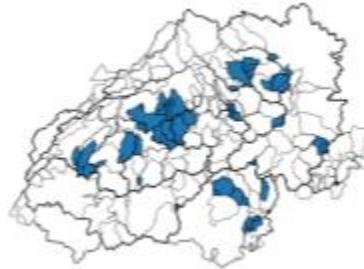
MERCI DE VOTRE ATTENTION!



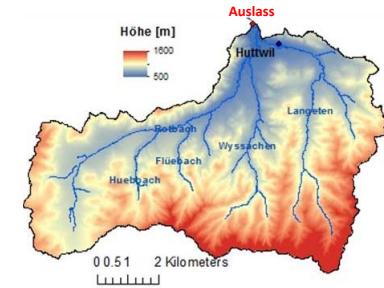
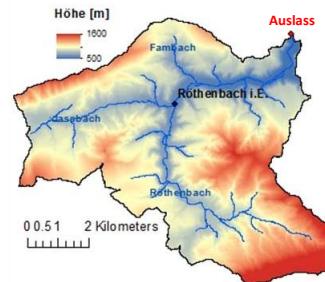
COMMENT?

INVESTIGATIONS:

à large échelle (59 bassins versants suisses)



détaillée de 2 bassins versants



BUT:

Analyse systématique de l'influence des caractéristiques du bassin versant sur le débit de la rivière en période d'étiage

=> Indicateurs pour l'élaboration d'un inventaire de vulnérabilité des bassins versants suisses aux sécheresses

ÉTUDE À ÉCHELLE SUISSE

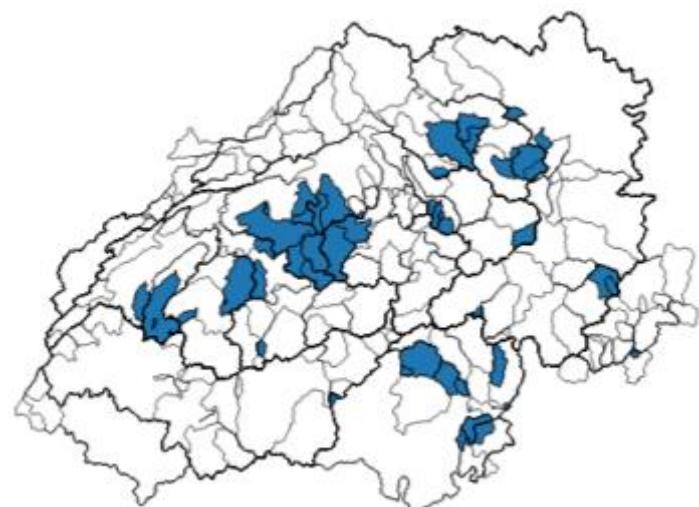
ETUDE À LARGE ÉCHELLE

But principal: analyse systématique de l'influence des caractéristiques du bassin versant sur le débit de la rivière en période d'étiage

=> Indicateurs pour l'élaboration d'un inventaire de vulnérabilité des bassins versants suisses aux sécheresses

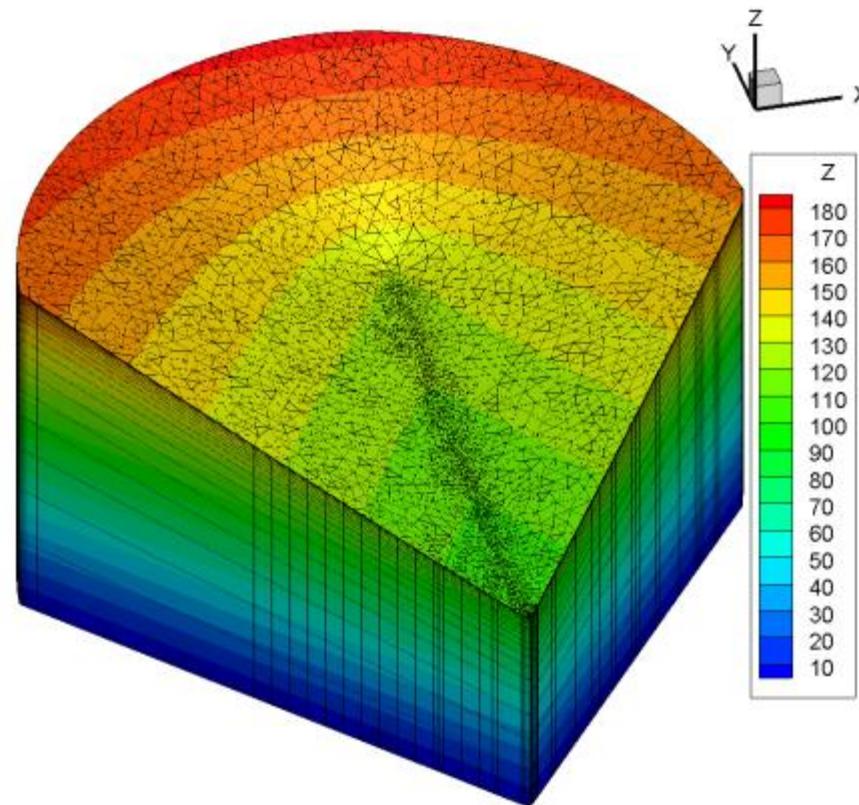
Méthode:

- 59 bassins versants sélectionnés pour servir de base à des modèles synthétiques (HGS)
- Variation systématiques de diverses caractéristiques du bassin et analyse de l'impacte sur le débit simulé



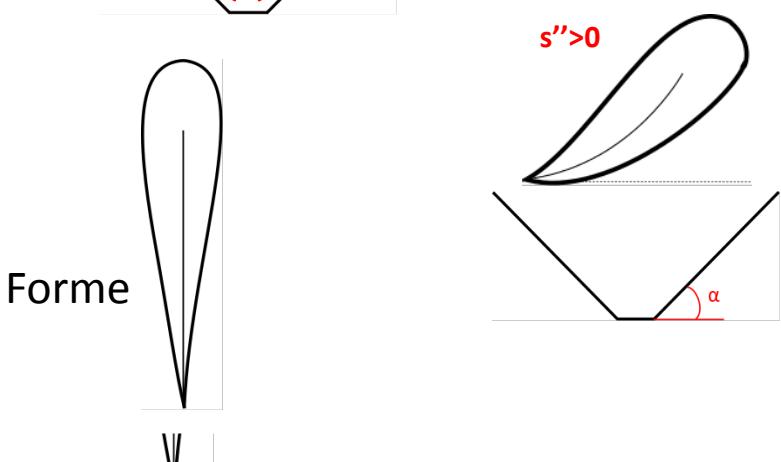
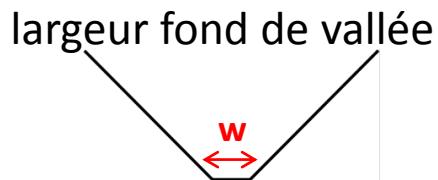
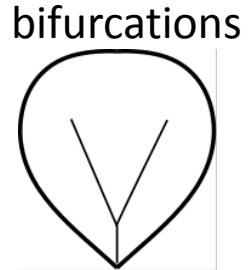
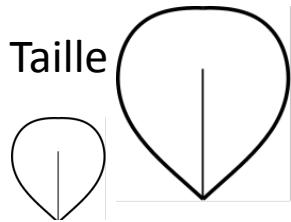
ÉTUDE À LARGE ÉCHELLE

Exemple de modèle synthétique



ÉTUDE À LARGE ÉCHELLE

géomorphologie

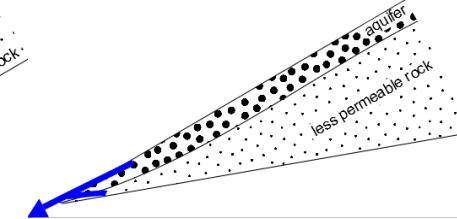
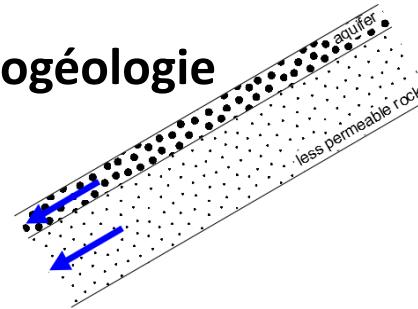


pente

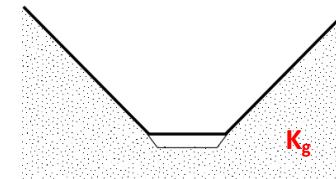
$$s'' > 0$$

$$\alpha$$

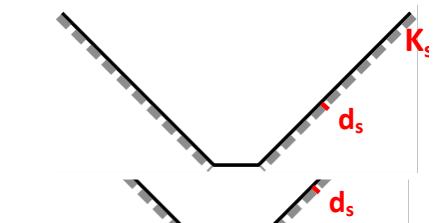
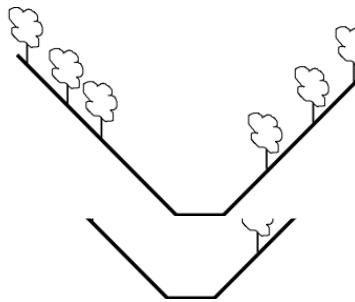
hydrogéologie



géologie



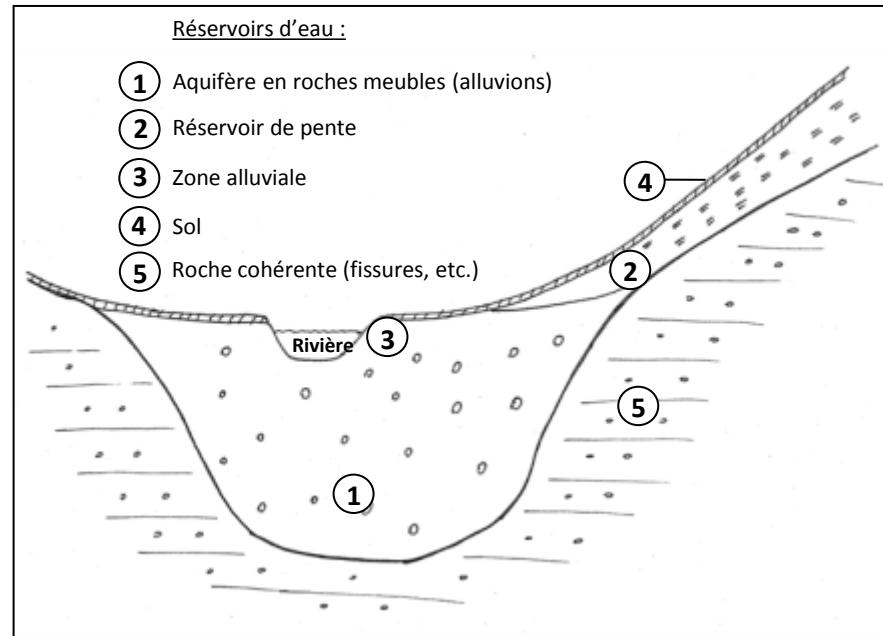
sol



ÉTUDE DÉTAILLÉE DE 2 BASSINS VERSANTS

ETUDE DÉTAILLÉE DE 2 BASSINS VERSANTS

But principal: identifier les unités hydro(géo)logiques importantes en cas de sécheresse et quantifier leur contribution à la rivière

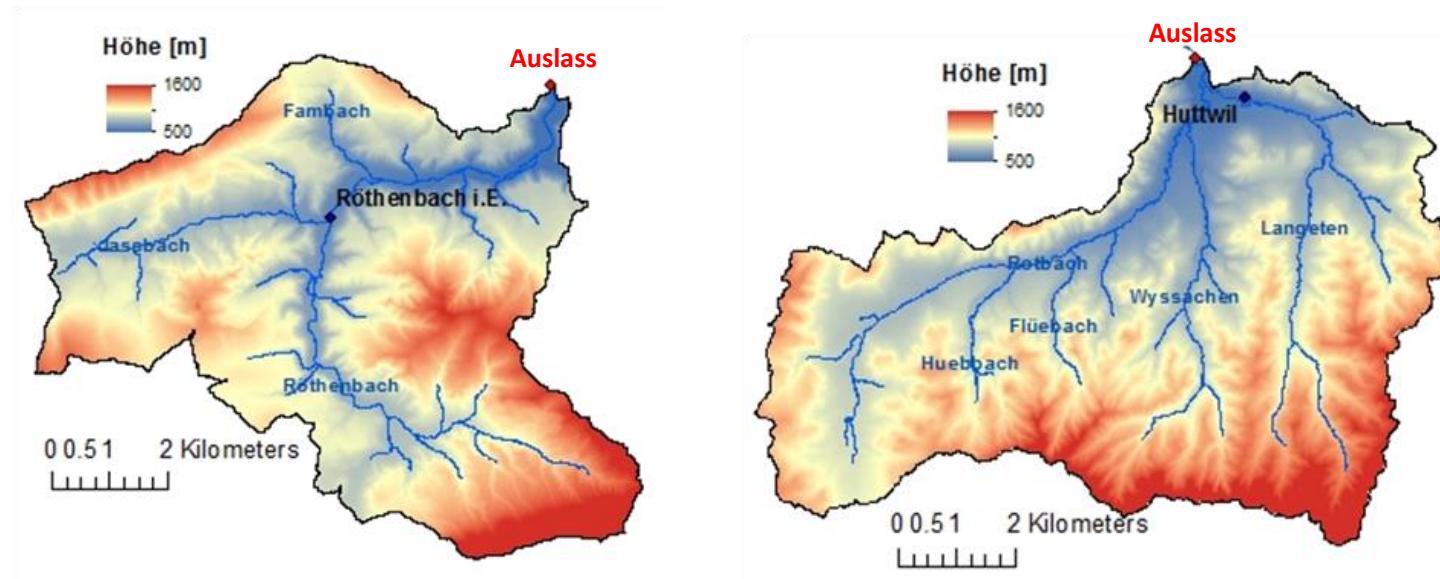


Méthode:

- Mesures sur le terrain
- Modèles HGS: test de scénarios climatiques, changement des caractéristiques du bassin (utilisation du sol, modifications du lit de la rivière, variations de la pente, etc)

ETUDE DETAILLEE DE 2 BASSINS VERSANTS

- **Critères de sélection:** dynamique de basses eaux, données existantes, taille, absence de lac, glacier, et réservoir karstique important
- **Choix:** Röthenbach (Emmental) et Langete (Langenthal)



Aperçu des fonctionnalités actuelles

- Ecoulement de surface
 - Ecoulement 1D (Diffusion-wave)
 - 2D overland/stream flow (Diffusion-wave), including stream/surface drainage network genesis
- Ecoulement souterrain
 - 3D variably-saturated flow (Richards' equation + ET) in porous medium
 - Macropores, fractures and karst conduits (dual-porosity, dual-permeability)
- Advective-dispersive, reactive solute/thermal transport in all continua, density variations
- Fully-coupled solution of surface/subsurface flow and transport

(Therrien, 2008)

HYDROGEOSPHERE: EQUATION DES FLUX

Porous Medium (3D): $-\nabla \cdot \omega_m \vec{q} + \sum \Gamma_{ex} \pm Q = \omega_m \frac{\partial \theta_s S_w}{\partial t}$

Richards' Equation

Darcy Equation:

$$\vec{q} = -\vec{K} \cdot k_r \nabla (\psi + z)$$

Surface Water Flow (2D):
 Diffusion Wave Equation

$$-\nabla \cdot d_o \vec{q}_o - d_o \Gamma_o \pm Q_o = \frac{\partial \phi_o h_o}{\partial t}$$

Manning Equation (2D):

$$\vec{q}_o = -\frac{d_o^{2/3}}{\bar{n} \vec{\Phi}^{1/2}} k_{ro} \nabla (d_o + z_o)$$

ψ = pressure head

d_o = water depth

z = elevation

S_w = saturation

θ_s = porosity

ω_m = pm volume fraction

\vec{K} = permeability

k_r, k_{ro} = rel. perm.

Q, Q_o = source/sink rate

Γ_{ex}, Γ_o = exchange fluxes

\bar{n} = roughness

$\vec{\Phi}$ = sw gradient

(Therrien, 2008)

MODÈLES SYNTHÉTIQUES

Exemple: nombre de combinaisons possibles (2 configurations par type de caractéristique du bassin)

par 1

C1

par 2

C1

C2

par 3

C1

C2

C1

C2

par 4

C1

C2

C1

C2

C1

C2

C1

C2

par 5

C1

C2

C1

C2

C1

C2

C1

C2

par 6

C1

C2

C1

C2

C1

C2

C1

C2

...

par n

■ ■ ■

■ ■ ■

...

Nombre de modèle: 2^n

MODÈLES SYNTHÉTIQUES

Réduction du nombre de combinaisons à tester: **caractéristiques des bassins réels**

par 1

C1

par 2

C1

C2

par 3

C1

C2

C1

C2

par 4

C1

C2

C1

C2

C1

C2

C1

C2

par 5

C1

C2

C1

C2

C1

C2

C1

C2

par 6

C1

C2

C1

...

par n



MODÈLES SYNTHÉTIQUES

Réduction du nombre de combinaisons à tester: **méthodes statistiques**
 échantillonnage par hypercube latin

par 1

C1

par 2

C1

C2

par 3

C1

C2

C1

C2

par 4

C1

C2

C1

C2

C1

C2

C1

C2

par 5

C1

C2

C1

C2

C1

C2

C1

C2

par 6

C1

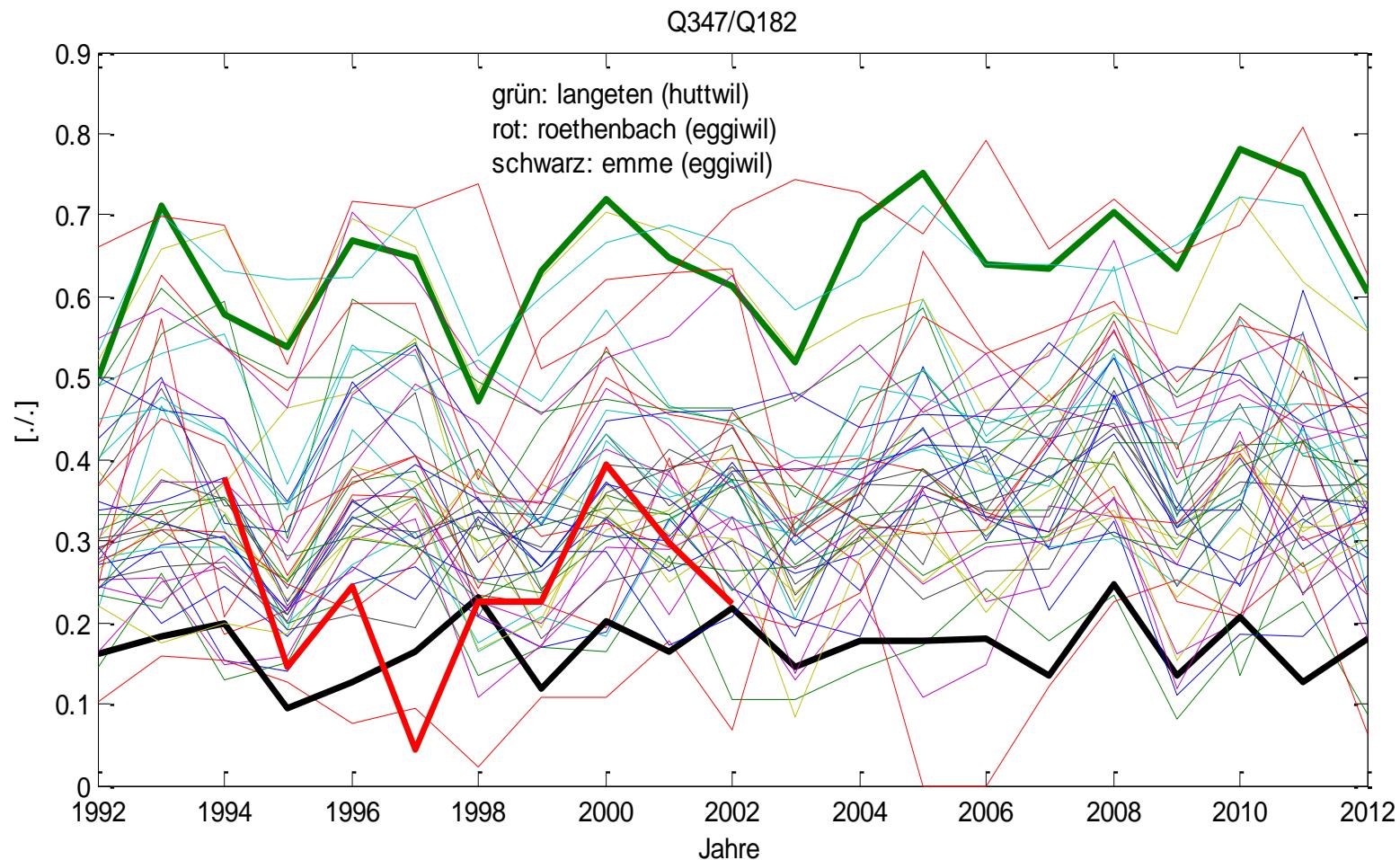
C2

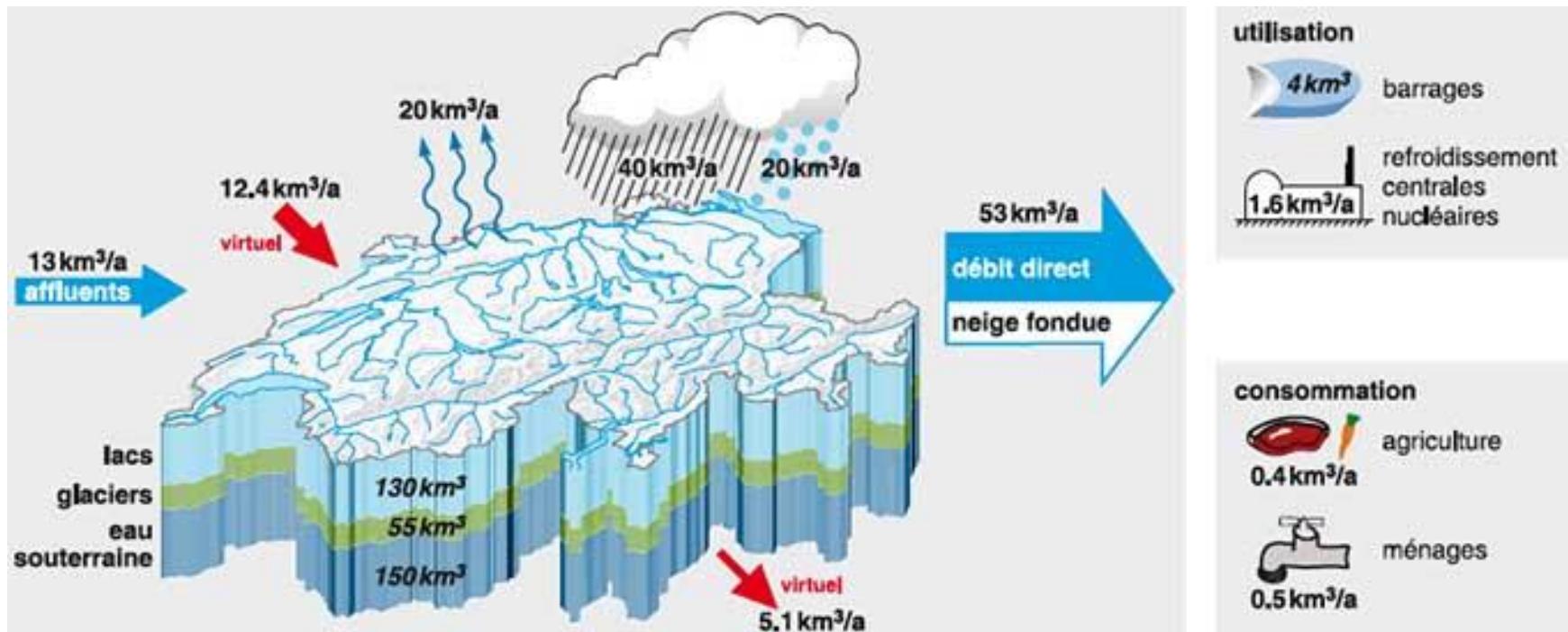
...

par n



SENSIBILITÉ AUX SÉCHERESSES





OBJECTIFS

Comment les caractéristiques du bassin versant influencent-elles la qualité de la rivière en bas de la rivière en bas

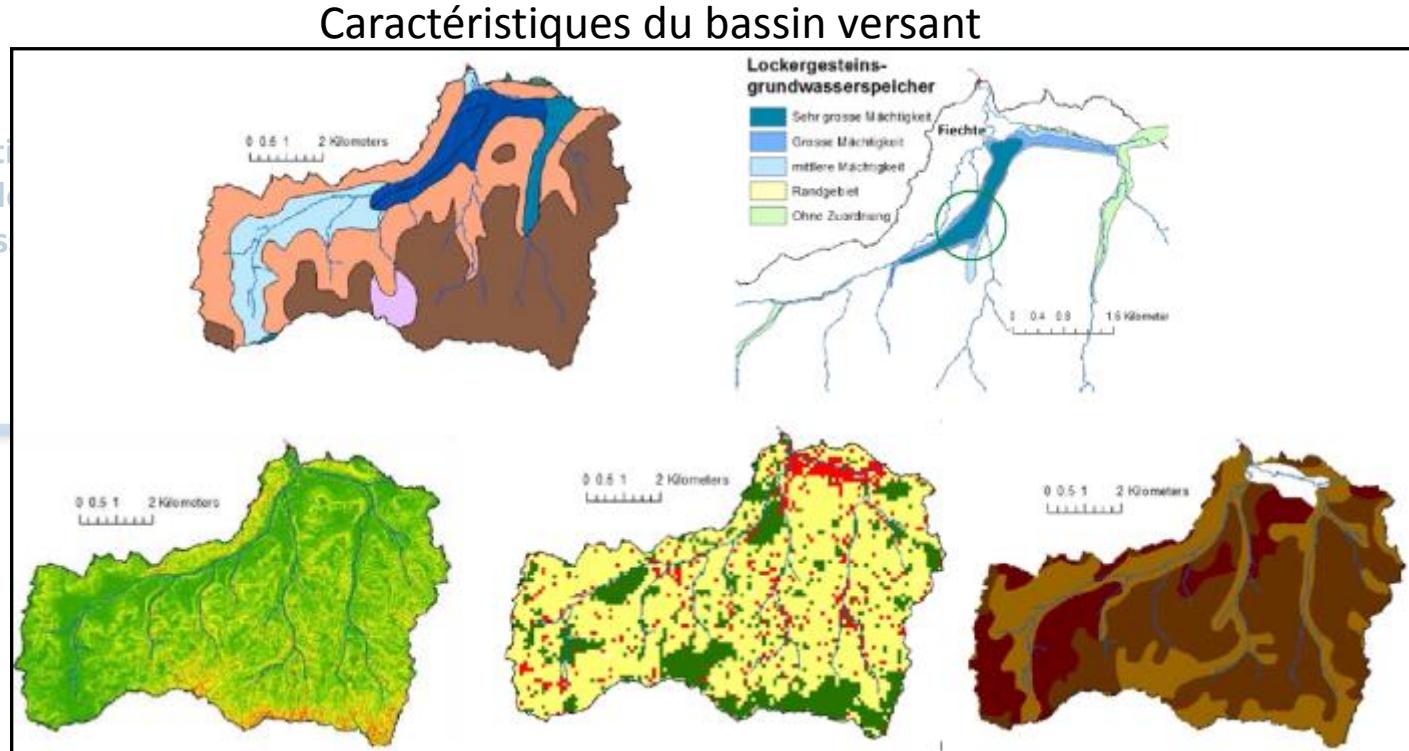
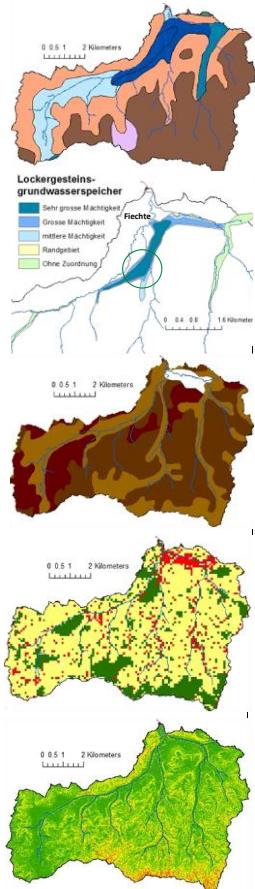


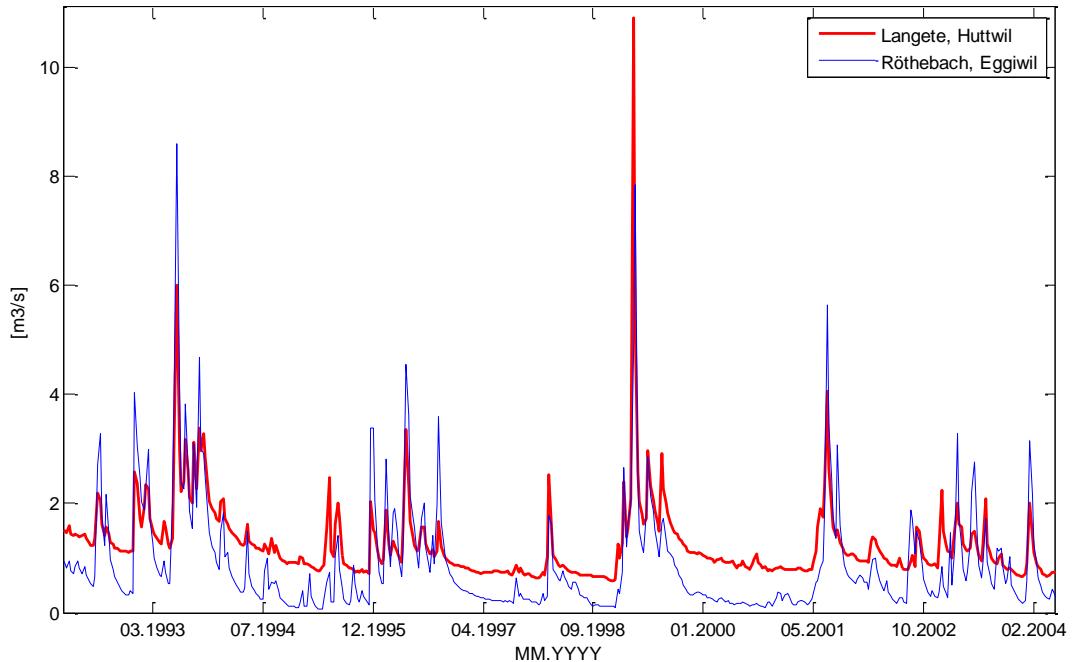
Schéma modèle
hybride

OBJECTIFS

Caractéristiques physiques du bassin



Dynamique des basses eaux de la rivière

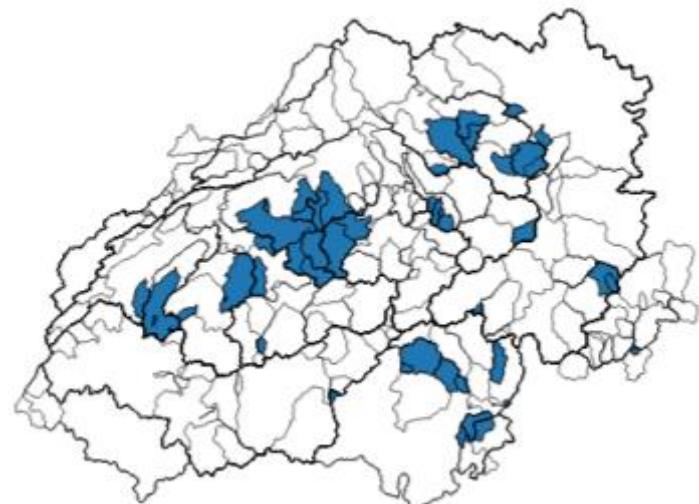


But principal: Identification des caractéristiques du bassin versant déterminantes pour les bas débits

=> Indicateurs pour l'élaboration d'un inventaire de vulnérabilité des bassins versants suisses aux sécheresses

Méthode:

- 59 bassins versants jaugés sélectionnés
- Analyse du comportement hydrologique sous conditions sèches de ces bassins ->lien avec leurs caractéristiques physiques
- Modèles synthétiques: vérifier et quantifier l'influence de ces paramètres sur les bas débits simulés => variations systématiques

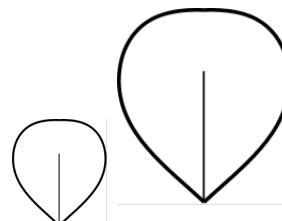


ÉTUDE À LARGE ÉCHELLE

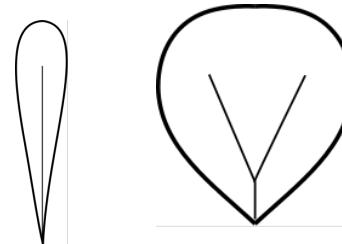
Propriétés des bassins versants à tester

Géomorphologie

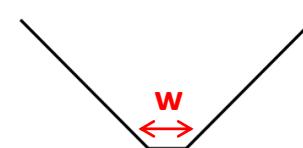
- Taille:



- Forme, bifurcations:



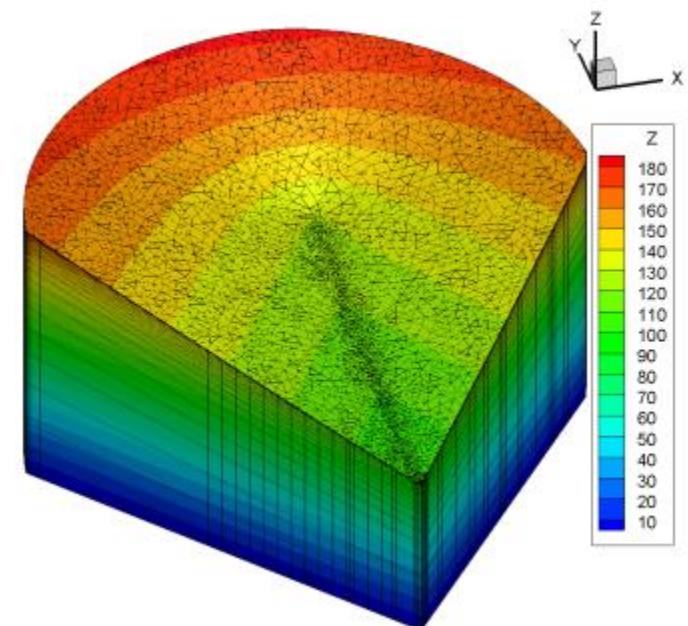
- Largeur du fond de vallée:



- Pentes:



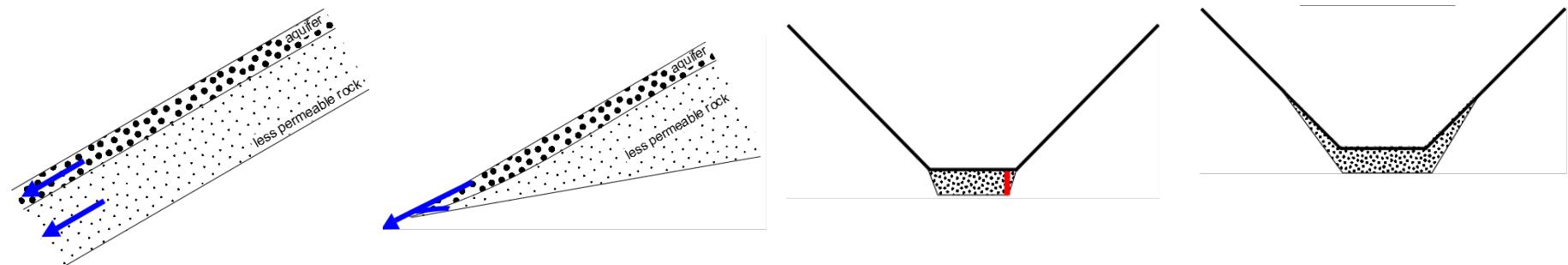
Exemple de modèle synthétique



ÉTUDE À LARGE ÉCHELLE

Propriétés des bassins versants à tester

hydrogéologie



géologie, sol

