

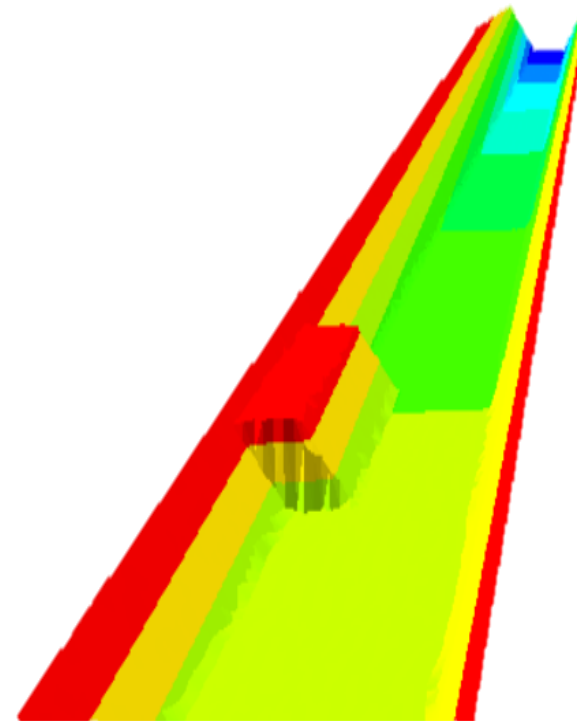
Etude des réinjections sédimentaires dans les rivières à graviers par modélisation numérique morphodynamique 2D

Guillaume BROUSSE (2),

Magali JODEAU (1,2),

Florian CORDIER (2),

Nicolas CLAUDE, Matthieu SECHER, Rémi LOIRE (2)



Sommaire

- Contexte et objectifs
- Retour sur un cas simple
- Le cas du Buëch : modélisation complexe
- Conclusions et perspectives

Contexte et objectifs

La réinjection sédimentaire en aval des barrages

- ✓ Limite la perte de capacité des réservoirs
- ✓ Réduction du risque d'inondation en amont
- ✓ Restauration des milieux en aval

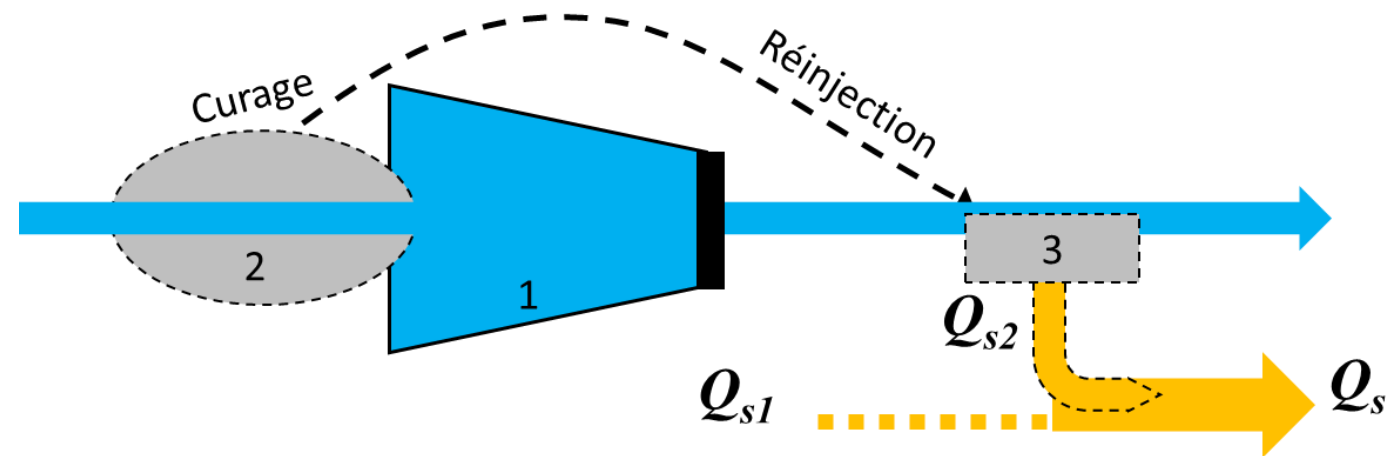
Processus

- Erosion des remblais pendant les crues = augmentation de la fourniture sédimentaire
- Diffusion des sédiments sous forme de **vague sédimentaire**
- Affinement granulométrique

Des questions pour les gestionnaires

- ✓ **Extension de la vague**
- ✓ **Conséquence sur les habitats**

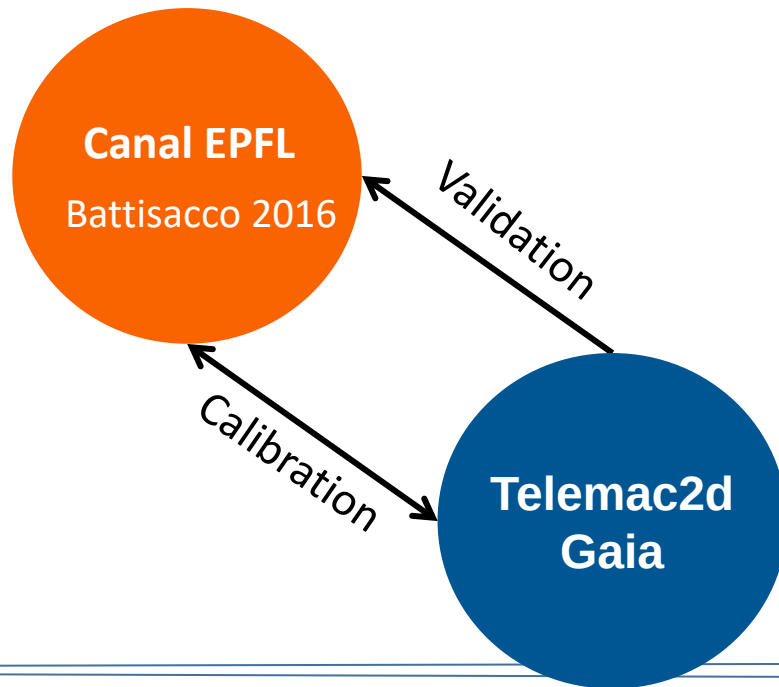
Peut-on répondre à ces questions grâce à la modélisation numérique ?



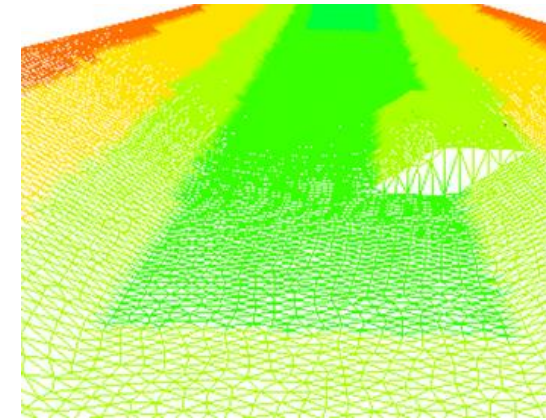
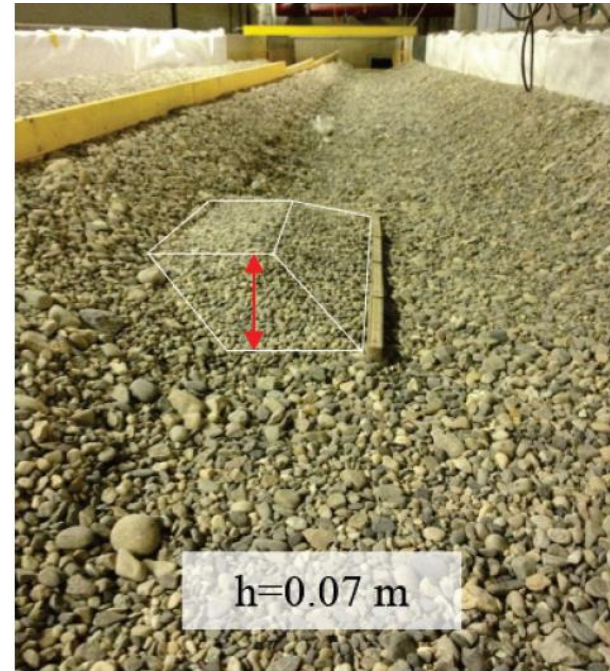
Retour sur un cas simple

LE MODELE DE LABORATOIRE

- 16 m de long 1 m de large à pleins bords et 0,4 m de large au fond du canal
- pente 1,5 % ; Berge 2H/3L
- maillage triangulaire non structuré : 0,02 m
- 42604 nœuds et 83383 mailles
- TS par charriage uniquement (MPM)



Batisacco 2016



Conditions limites :

Amont => $Q = 0,019 \text{ m}^3/\text{s}$; $Q_s = 0$

Aval => Hauteur d'eau = 0,07 m

Spécificités :

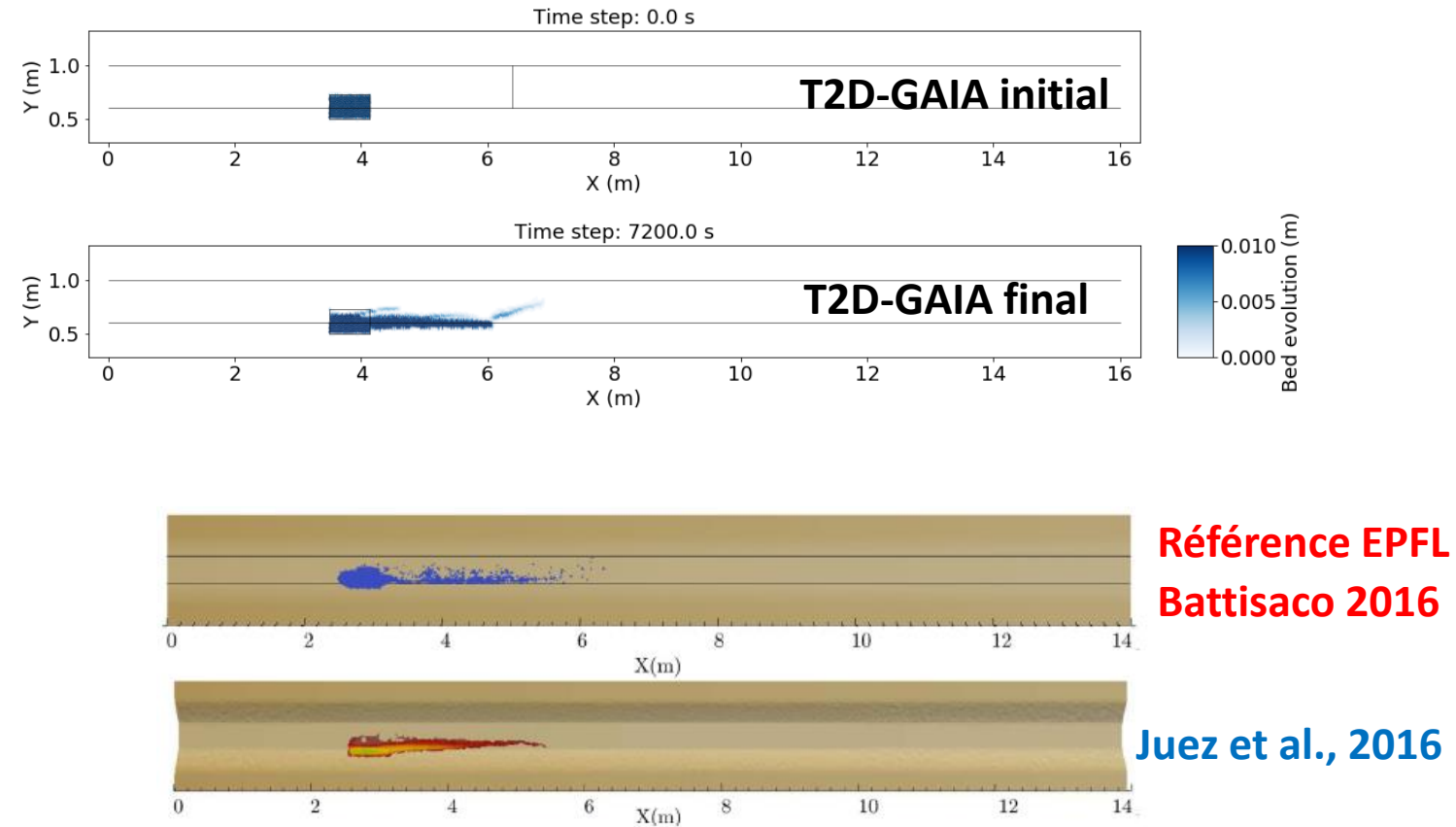
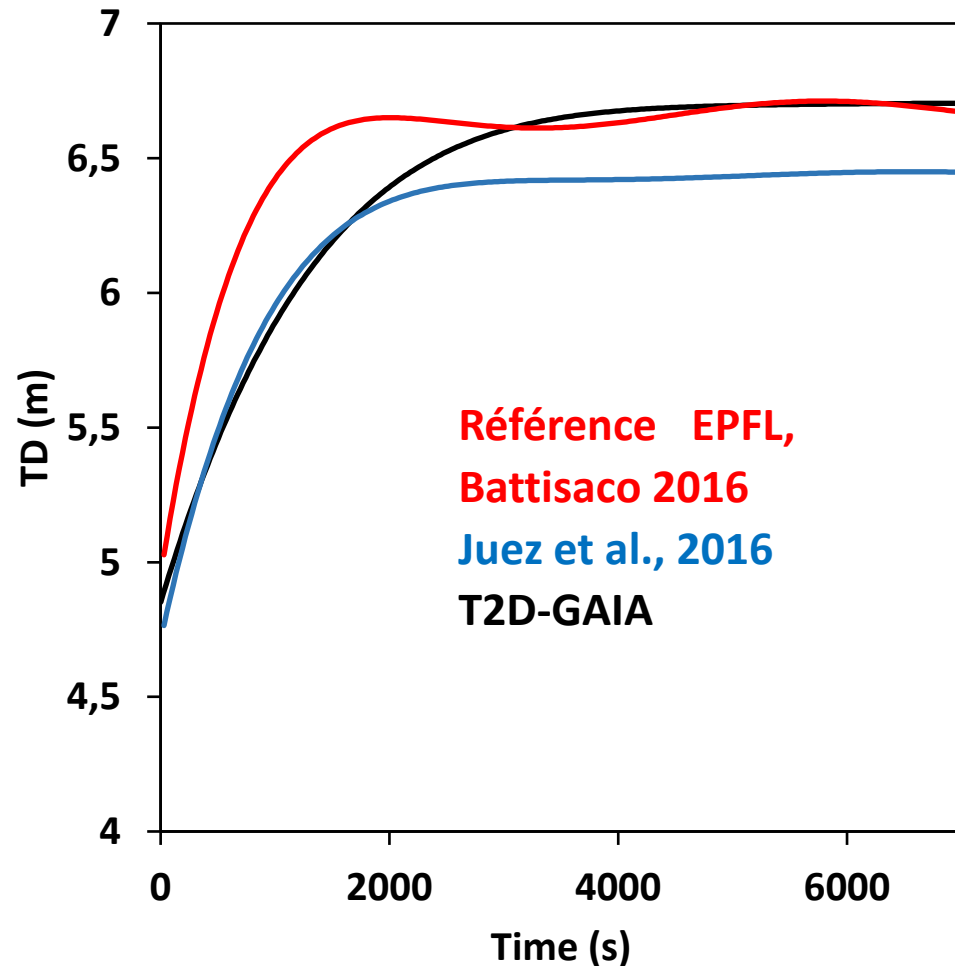
- Coefficient de frottement (Manning) dynamique

$$n = \begin{cases} \frac{1}{26} d_{90}^c \frac{1}{6} & \text{si } DD \leq d_{90}^c + d_{90}^r \\ 0,035 & \text{dans les autres cas} \end{cases}$$

- Erosion dans l'emprise du remblai

Retour sur un cas simple

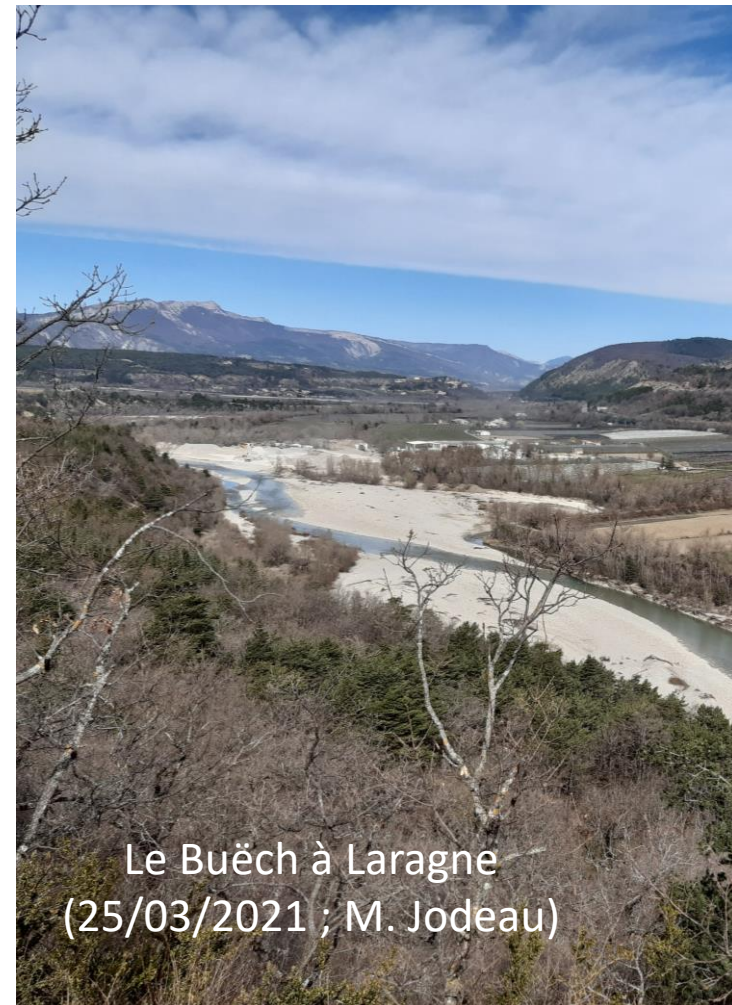
RESULTATS



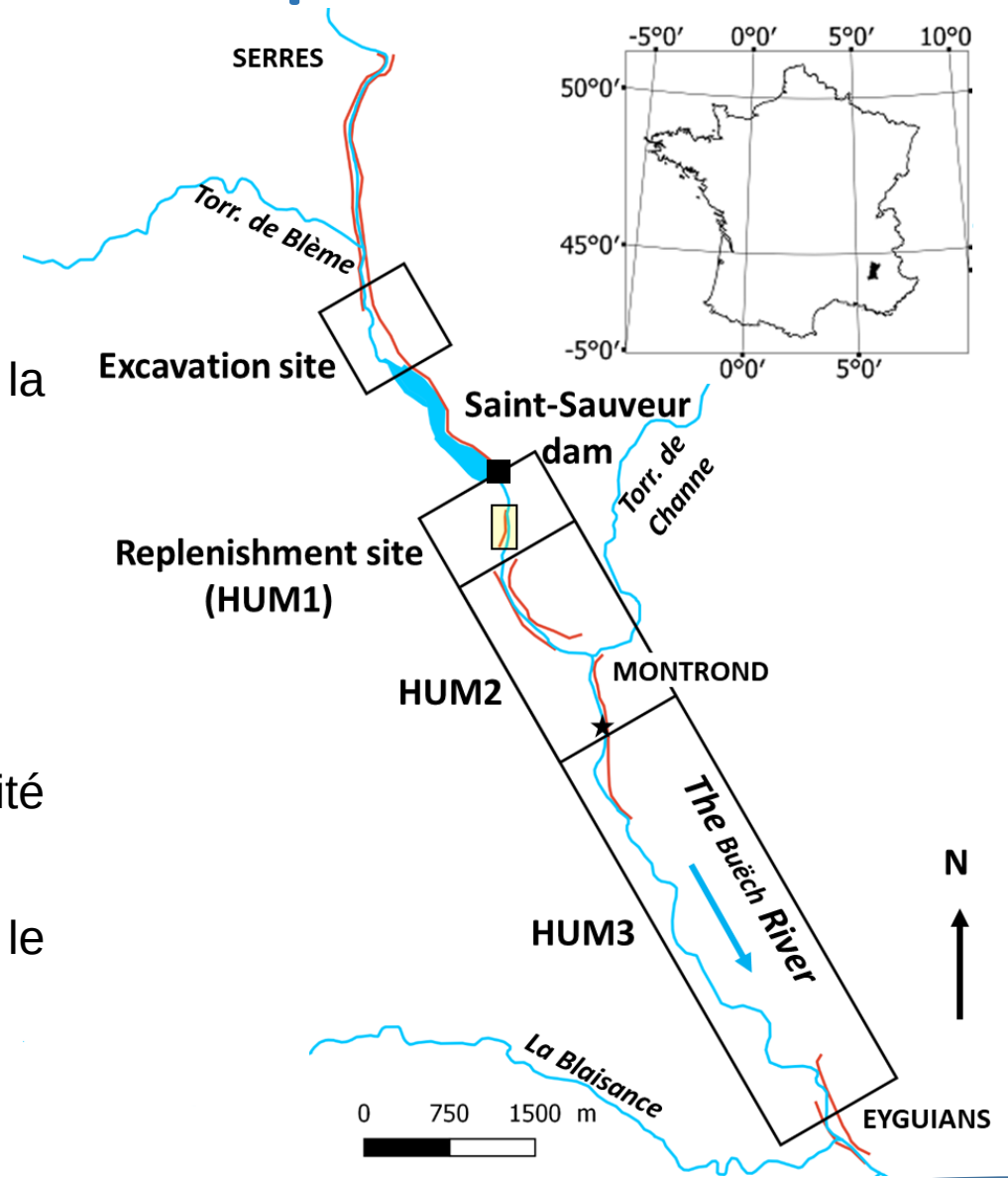
Peut on transposer ces résultats sur un cas complexe ?

Le cas du Buëch : modélisation complexe

SITE D'ETUDE

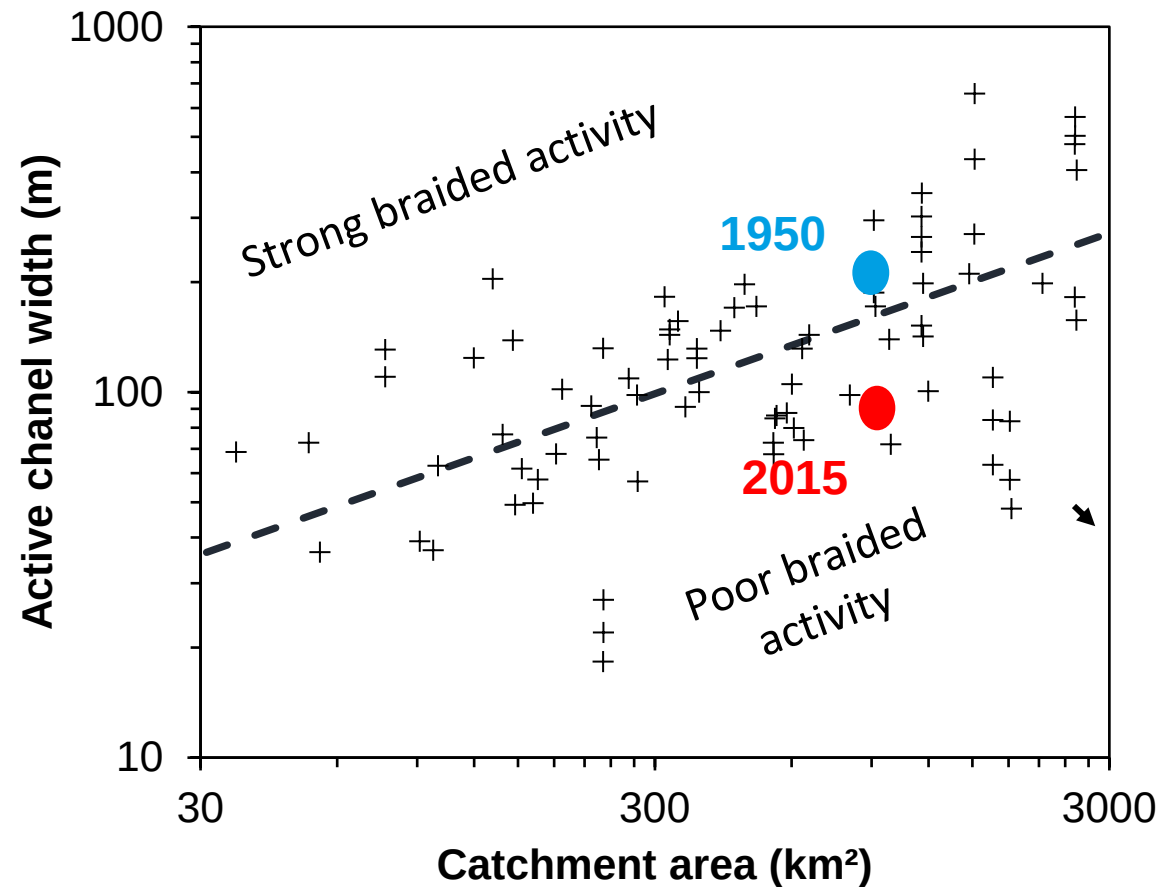


- **Bassin du Rhône**
- Affluent de rive droite de la Durance
- **Rivière en tresses**
- **836 km²**
- **Roches sédimentaires**
- Hot spot de la biodiversité alpine
- Des pressions sur le transport solide



Le cas du Buëch : modélisation complexe

SITE D'ETUDE



Le Buëch en aval du barrage de Saint-Sauveur comparé aux données régionales (Piégay et al., 2009)



Le cas du Buëch : modélisation complexe

LE BARRAGE

Mise en transparence pendant une crue



Ecoulement libre dans le réservoir pendant une mise en transparence

Le cas du Buëch : modélisation complexe

LA REINJECTION

Exploitant

- Garantir la capacité de stockage
- Limiter le risque inondation
- Respecter un transport solide suffisant

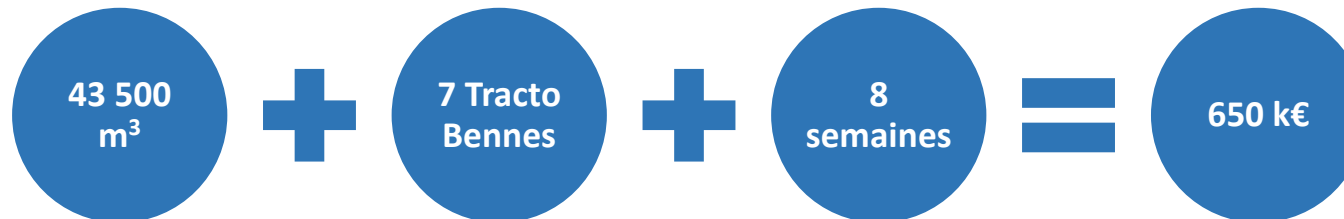


Syndicat de rivière

- Limiter l'incision du Buëch
- Préserver le tressage
- Qualité de l'eau et des habitats

EDF	Rive droite	Rive gauche
Volume (m ³)	12 300	31 200
Pente	1/7	2/3
Longueur (m)	190	350
Largeur (m)	31	46
Hauteur (m)	1.3 – 2.8	

- Septembre 2016
- Curage de la queue de retenue
- Remblais x 2 avec chenal secondaire



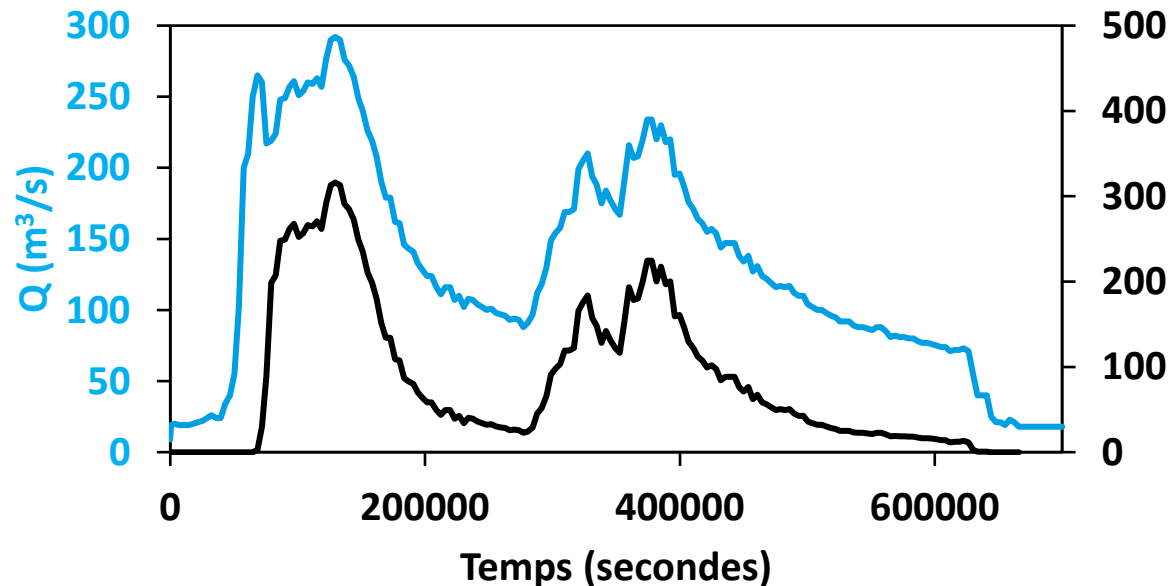
Le cas du Buëch : modélisation complexe

TELEMAC 2D - GAIA

Equation d'Exner avec la formule de Meyer-Peter

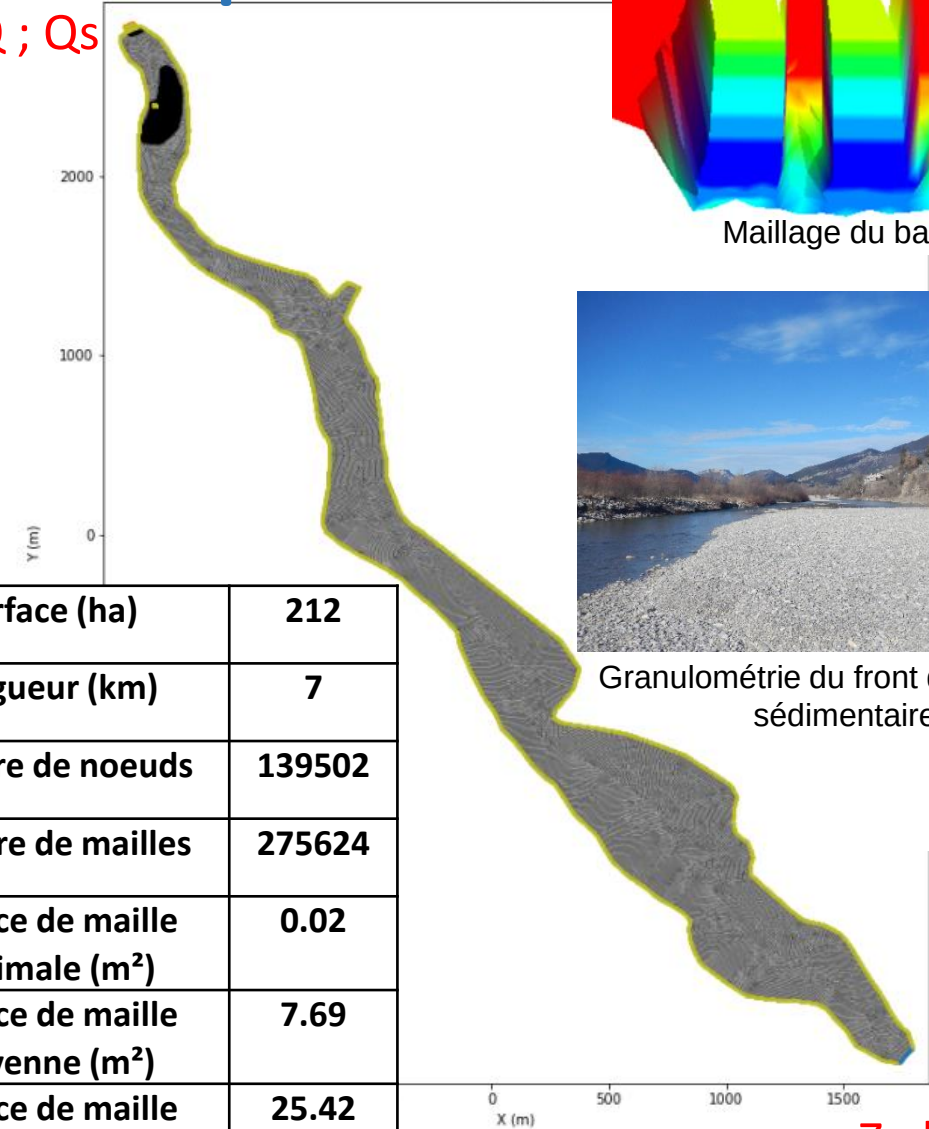
$$Q_{b0} = \begin{cases} 0 & \text{if } \theta < \theta_{cr} \\ \alpha_{mpm}(\theta - \theta_{cr})^{3/2} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Charriage → 1 classe de sédiments non cohésifs ($D_{50} = 20.8$ mm)



Surface (ha)	212
Longueur (km)	7
Nombre de noeuds	139502
Nombre de mailles	275624
Surface de maille minimale (m^2)	0.02
Surface de maille moyenne (m^2)	7.69
Surface de maille maximale (m^2)	25.42

$Q ; Q_s$



Global

Maillage du barrage

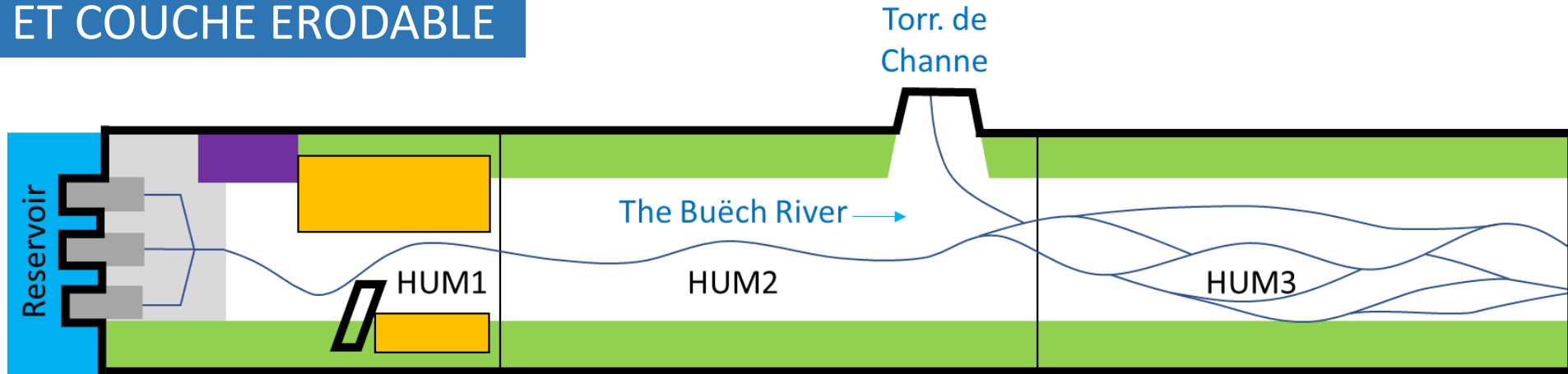


Granulométrie du front de la vague sédimentaire

Z ; libre

Le cas du Buëch : modélisation complexe

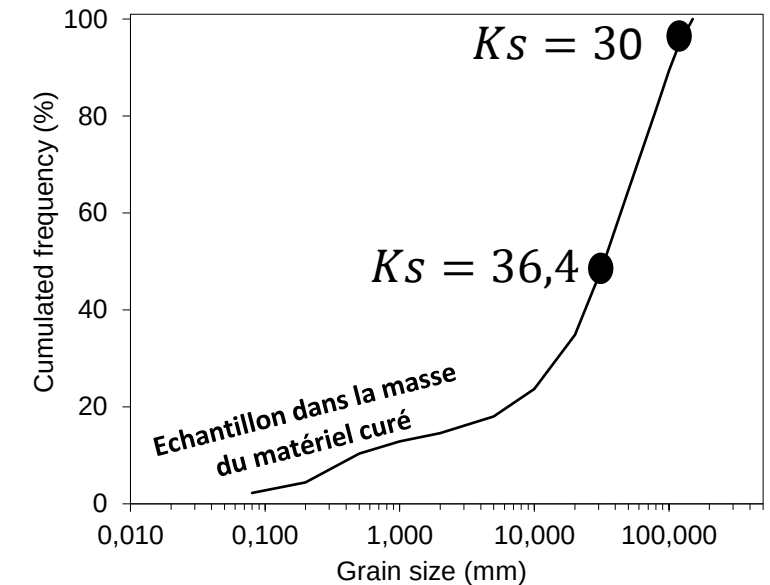
RUGOSITE ET COUCHE ERODABLE



	$Ks \text{ (m}^{\frac{1}{3}}/\text{s)}$	$d \text{ (m)}$
Vanne	40	0
Remblais	36.4	5
Bande active	30	1.5
Fosse de dissipation	25	5
Forêt alluviale	10	-
Rochers	-	-
Domaine de calcul	-	-

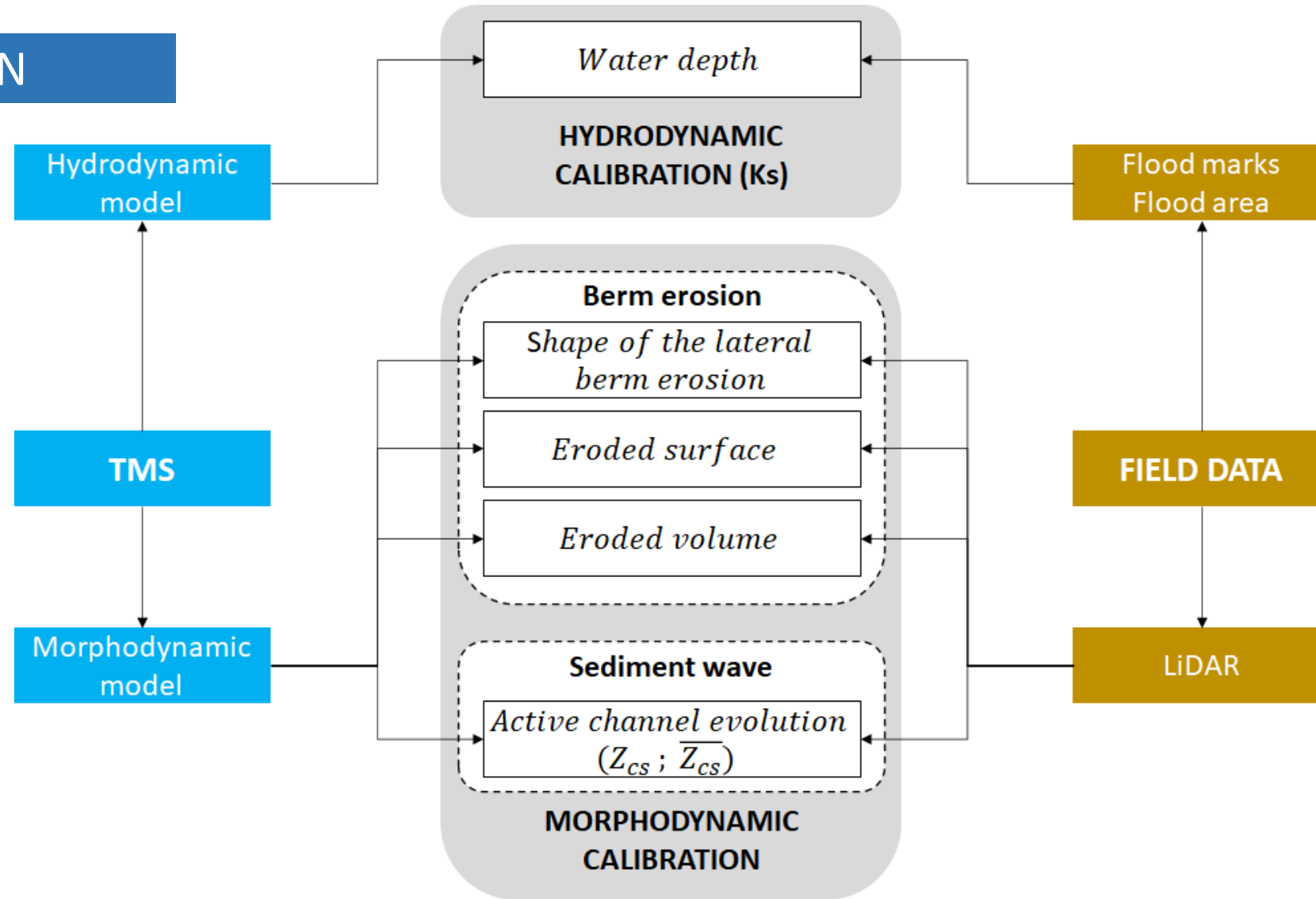
Manning-Strickler pour les lits pavés (Strickler, 1923)

$$Ks = \frac{21}{(d_{50})^{1/6}}$$



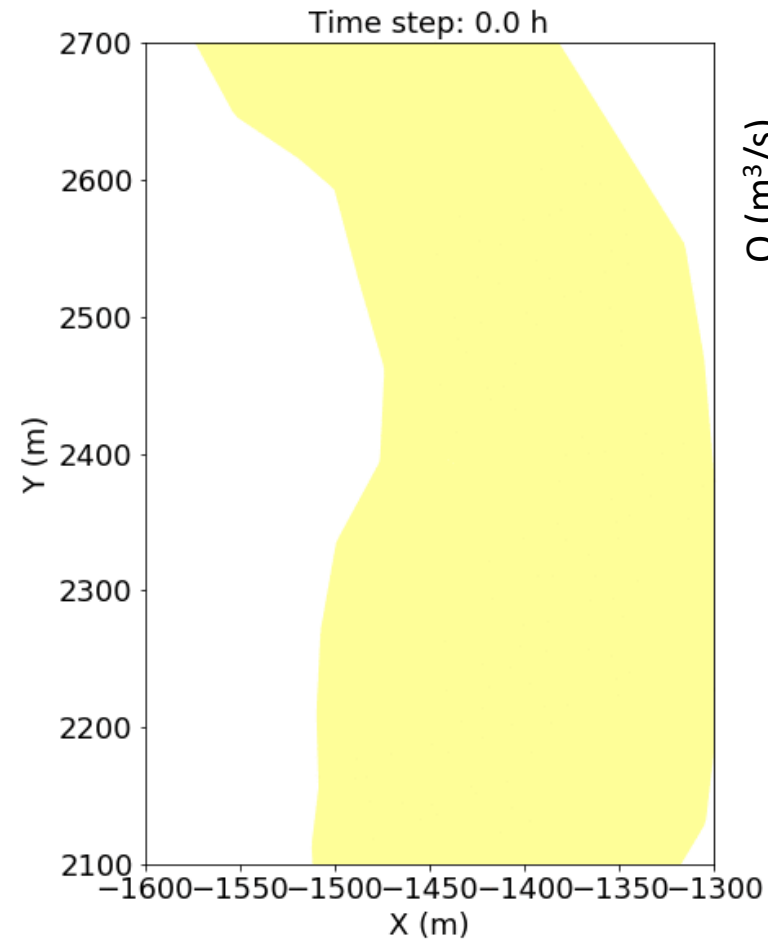
Le cas du Buëch : modélisation complexe

CALIBRATION

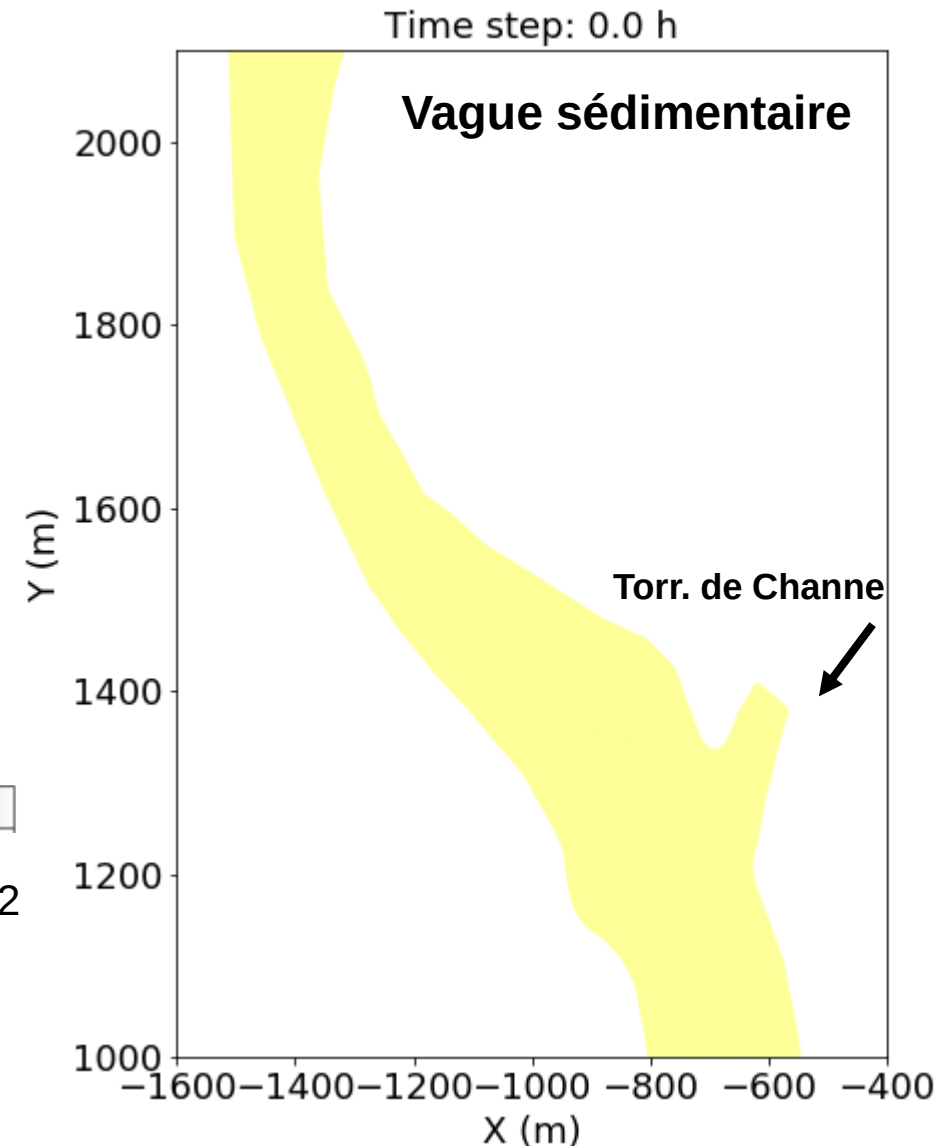
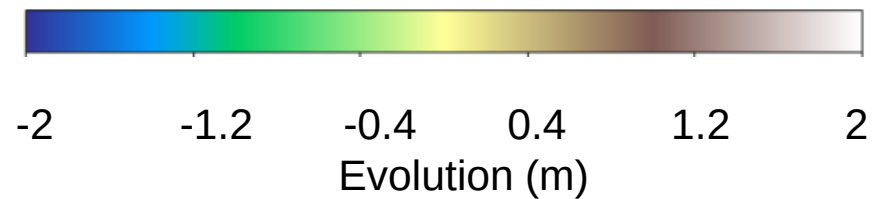
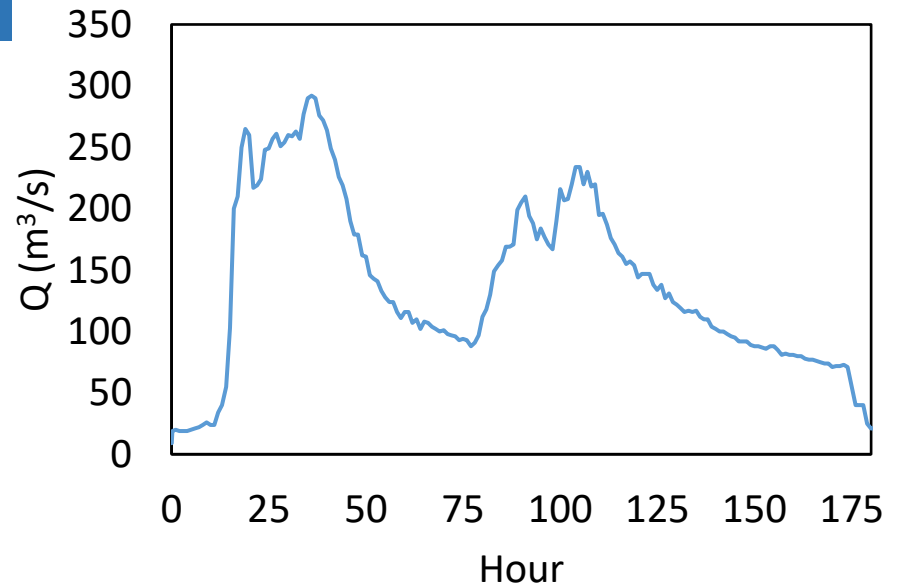


Le cas du Buëch : modélisation complexe

SIMULATION DE CRUE



Zone de réinjection

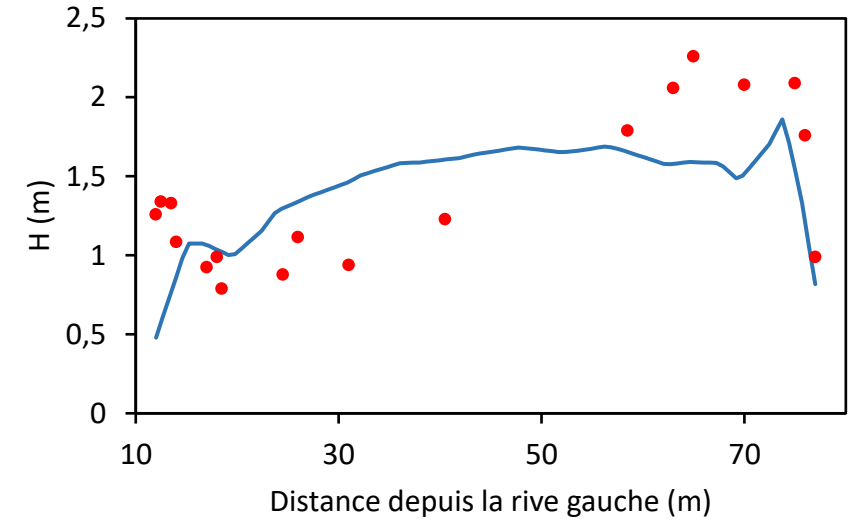
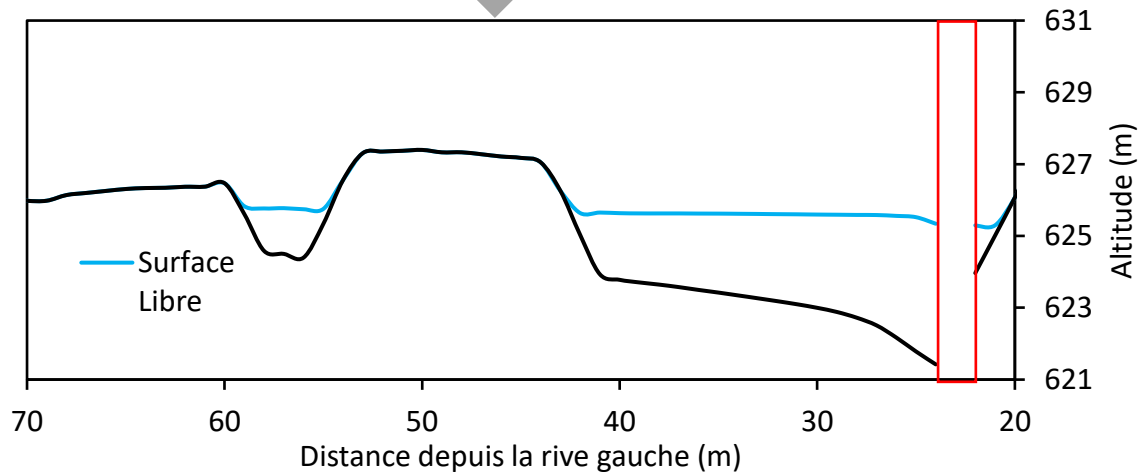


Le cas du Buëch : modélisation complexe

HAUTEUR D'EAU



Pic de crue

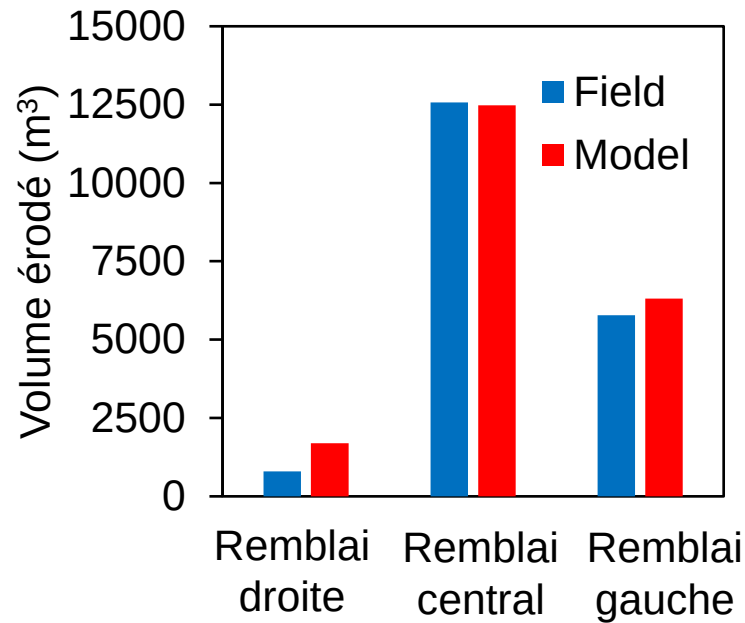


Moyenne modèle= 1.29 m

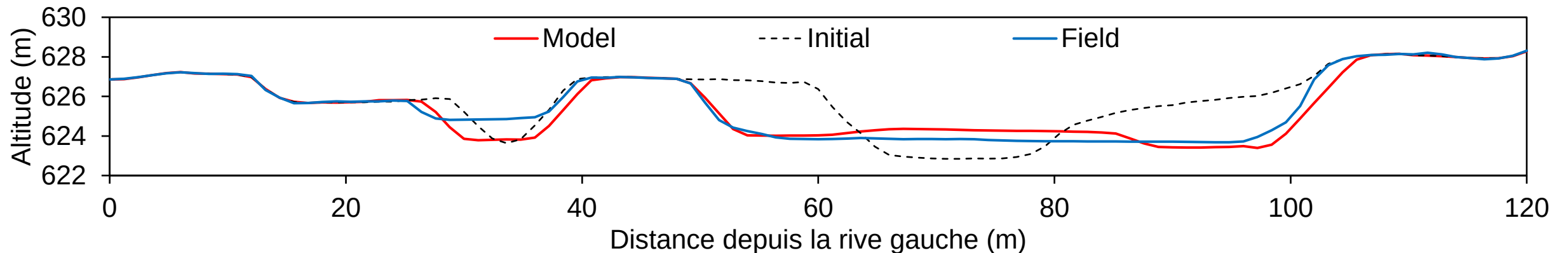
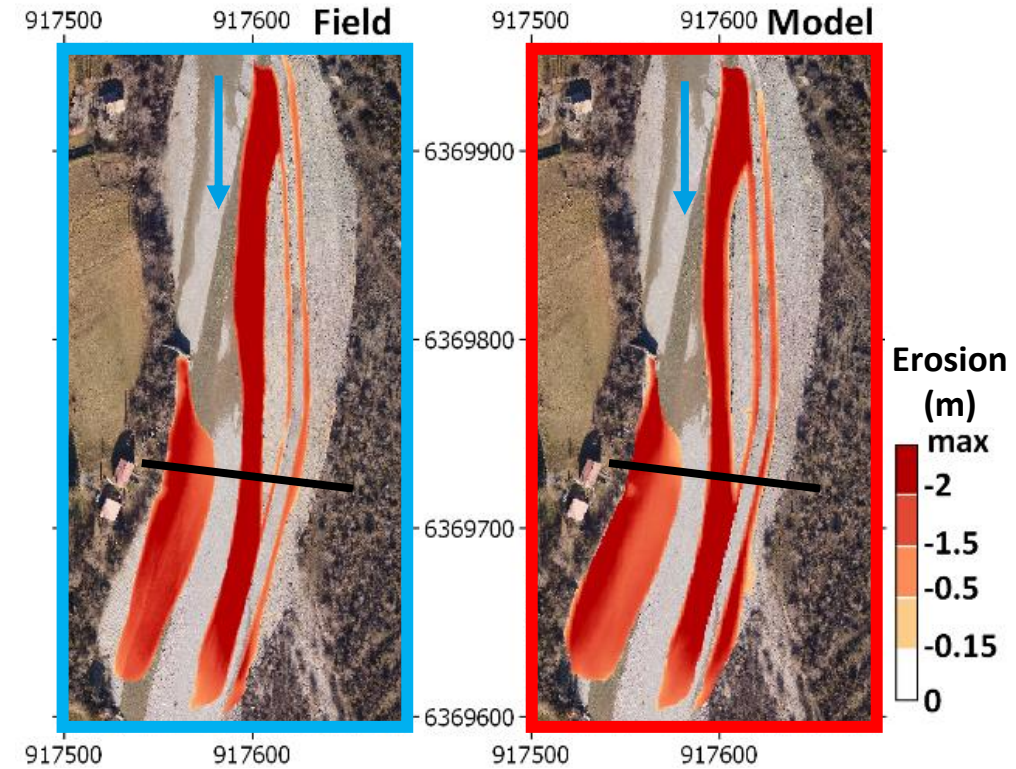
Terrain = 1.23 m (Brousse *et al.*, 2019)

Le cas du Buëch : modélisation complexe

EROSION DES REMBLAIS

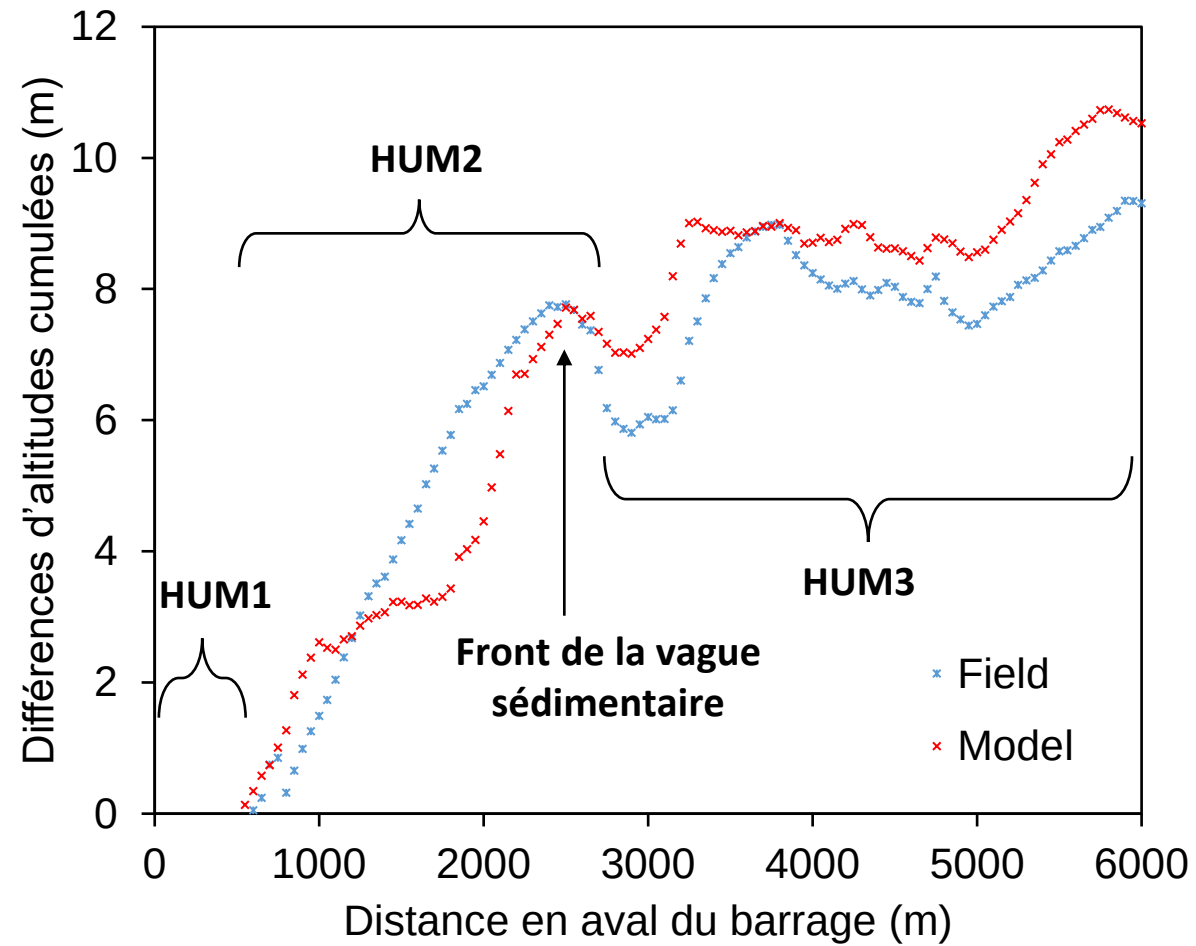


- ✓ Bilan sédimentaire global (+ 6.5 %)
- ✓ Représentation dans l'espace
- ✓ Erosion latérale



Le cas du Buëch : modélisation complexe

VAGUE SEDIMENTAIRE



Subreach	Cross section number	$\overline{\Delta Z_{cs}}$ in the field	$\overline{\Delta Z_{cs}}$ in the model	PBIAS (%)	MSE (m)	RMSE (m)
HUM1	12	-0.164	-0.143	-12.7	0.013	0.114
HUM2	39	0.200	0.194	-2.99	0.063	0.251
HUM3	79	0.026	0.025	-4.47	0.028	0.167

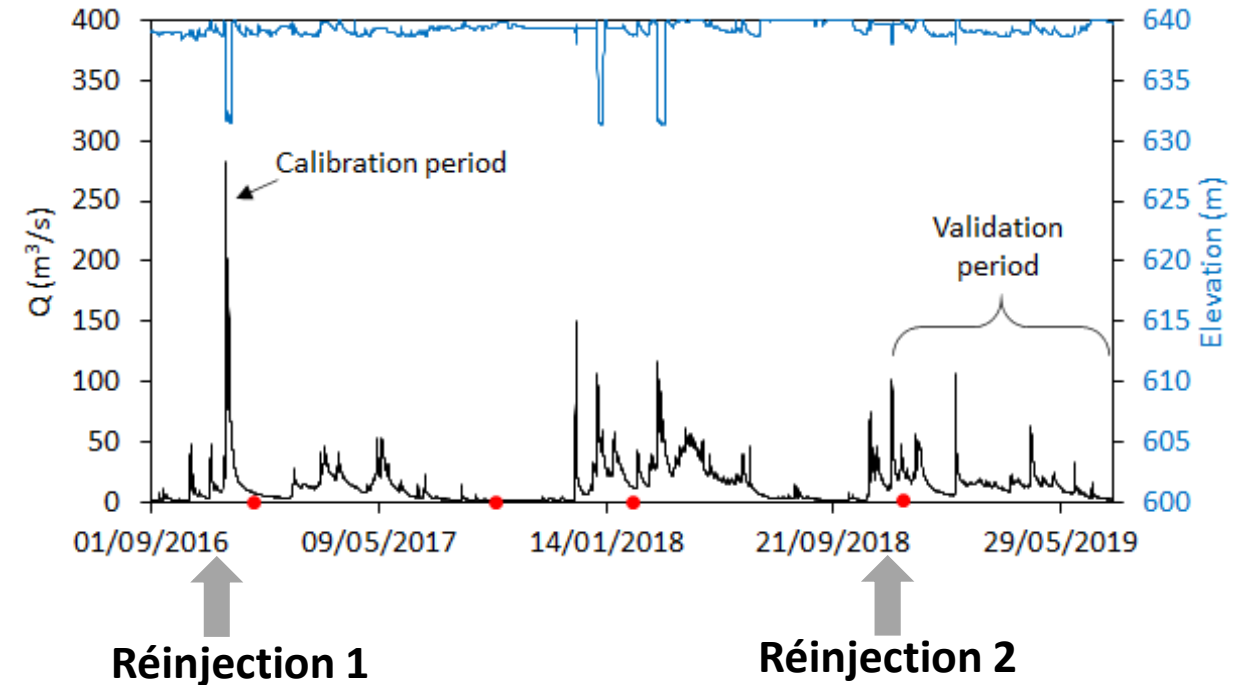
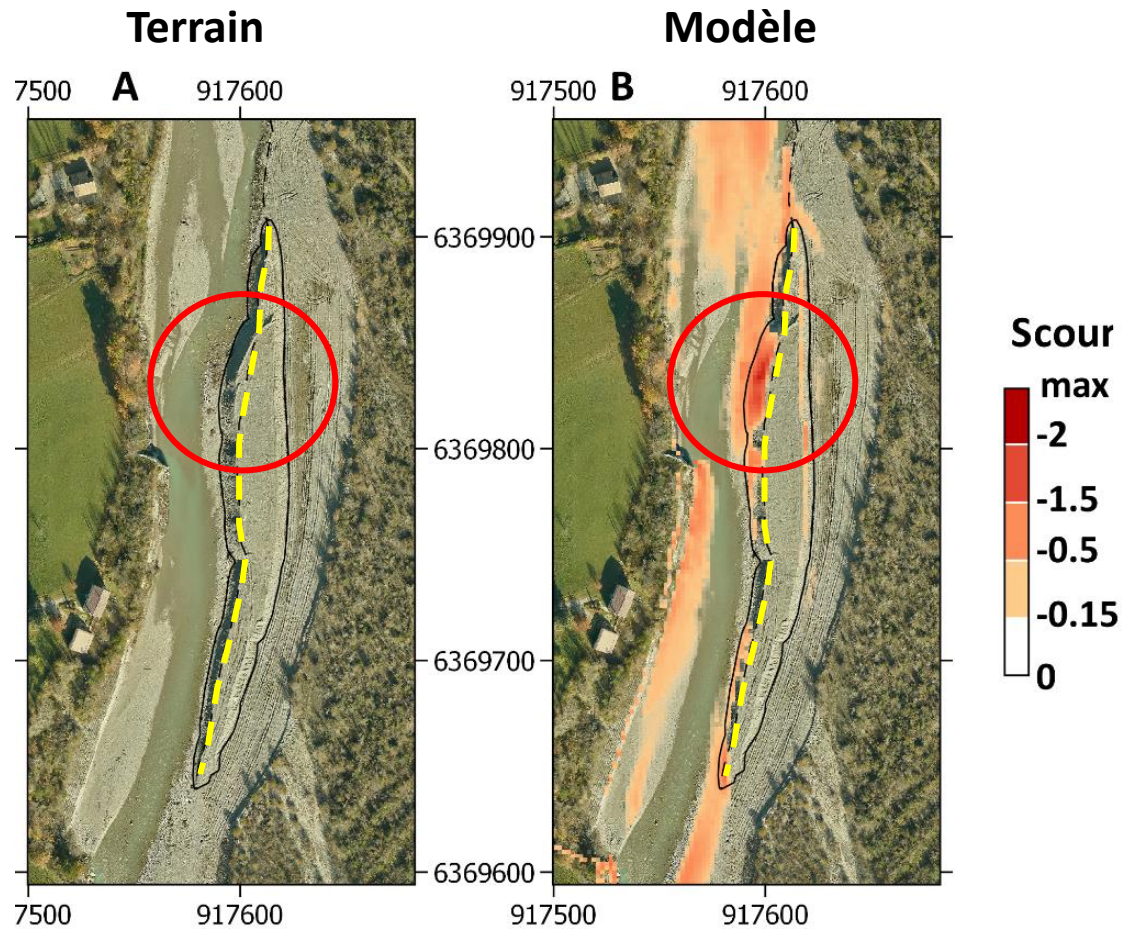
- ✓ Front de la vague sédimentaire (+ 50 m)
- ✓ Faibles erreurs dans l'évolution altitudinal de la bande active

Divergence à 1500 m proche du cône alluvial du Torr. De Channe

- Secteur large → dépôts
- Débit liquide et solide de l'affluent non simulés dans le modèle

Le cas du Buëch : modélisation complexe

VALIDATION



- ✓ L'érosion des remblais est bien localisée
- ✓ Largeurs érodées réalistes
- Sous-estimation du bilan sédimentaire
- Impossible d'évaluer la vague sédimentaire

Conclusions et perspectives

- ✓ **TELEMAC 2D GAIA est performant pour reproduire une opération de réinjection**
 - **Processus d'érosion** au niveau des remblais
 - Propagation des sédiments réinjectés sous forme de **vague sédimentaire**
- ✓ **Ouvre la voie à l'étude de scénarios de gestion alternatifs**
 - **Conséquences ouverture/fermeture** du barrage sur **l'efficacité** de la réinjection
 - Optimisation de la forme des remblais



Confronter GAIA à la représentation des habitats

Utilisation d'un modèle physique



Merci pour votre attention

Remerciements particuliers à l'ANR SEDIFLO & Sébastien BOYVAL (LHSV)

Parameter	Calibration possibilities	Recommended value in GAIA	Calibrated values
Direction of the sediment transport	Koch and Flokstra, 1980	-	Not used
	β_2 (Talmon et al., 1995)	[0.85; 1.6]	$\beta_2 = 2$
Secondary flow effects on the direction of the bed shear stress	α_{SC}	[0.75; 1]	Not used
Skin friction correction	α_{KS} (Mendoza et al., 2016)	[3; 3.6]	$\alpha_{KS} = 3.4$
Magnitude of the sediment transport	D_{50} (mm)	-	20.8
	Sediment density (kg/m ³)	2650	2650
	α_{mpm}	-	$\alpha_{mpm} = 8$
	Critical Shields parameter (-)	0.047	0.047
	β (Koch and Flokstra, 1980)	1.3	Not used
	ϕ (Soulsby, 1997; °)	[32°; 40°]	Varying in space depending to the sediment angle of repose parametrization
Bank failure algorithm	ϕ Sediment angle of repose (maxslope; °)	40°	1° in floodgates 35° in the active channel 36° in berm area

- **Turbulence model = Constant viscosity**