Modélisation de la dynamique des sédiments fins sur les bancs de graviers de l'Isère en Combe-de-Savoie

Coraline BEL (1,2),

Magali JODEAU (1,2),

Nicolas CLAUDE (1),

Pablo TASSI (1,2)

(1) (2)

Contexte et objectifs

Formation de dépôts de sédiments fins piégés sur les bancs de graviers lors des crues majeures et des chasses hydrauliques

Mise en place de bancs stables et végétalisés

- avec la réduction de la section d'écoulement, augmentation du risque d'inondation
- réduction de la qualité des habitats aquatiques

➢ **Mieux appréhender la dynamique des sédiments fins sur les bancs de graviers**

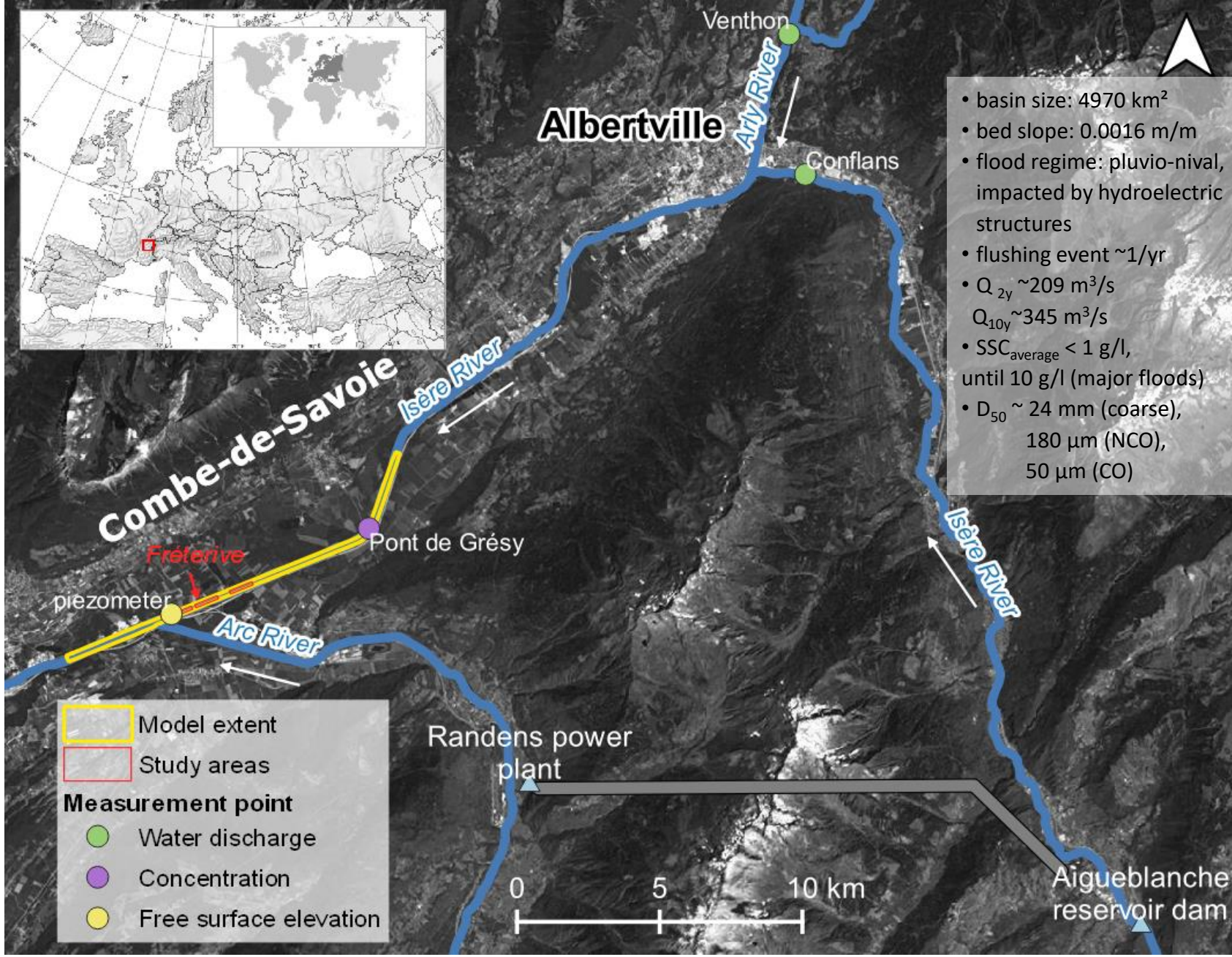
❖ **Identifier les leviers contrôlant les dépôts de sédiments fins**

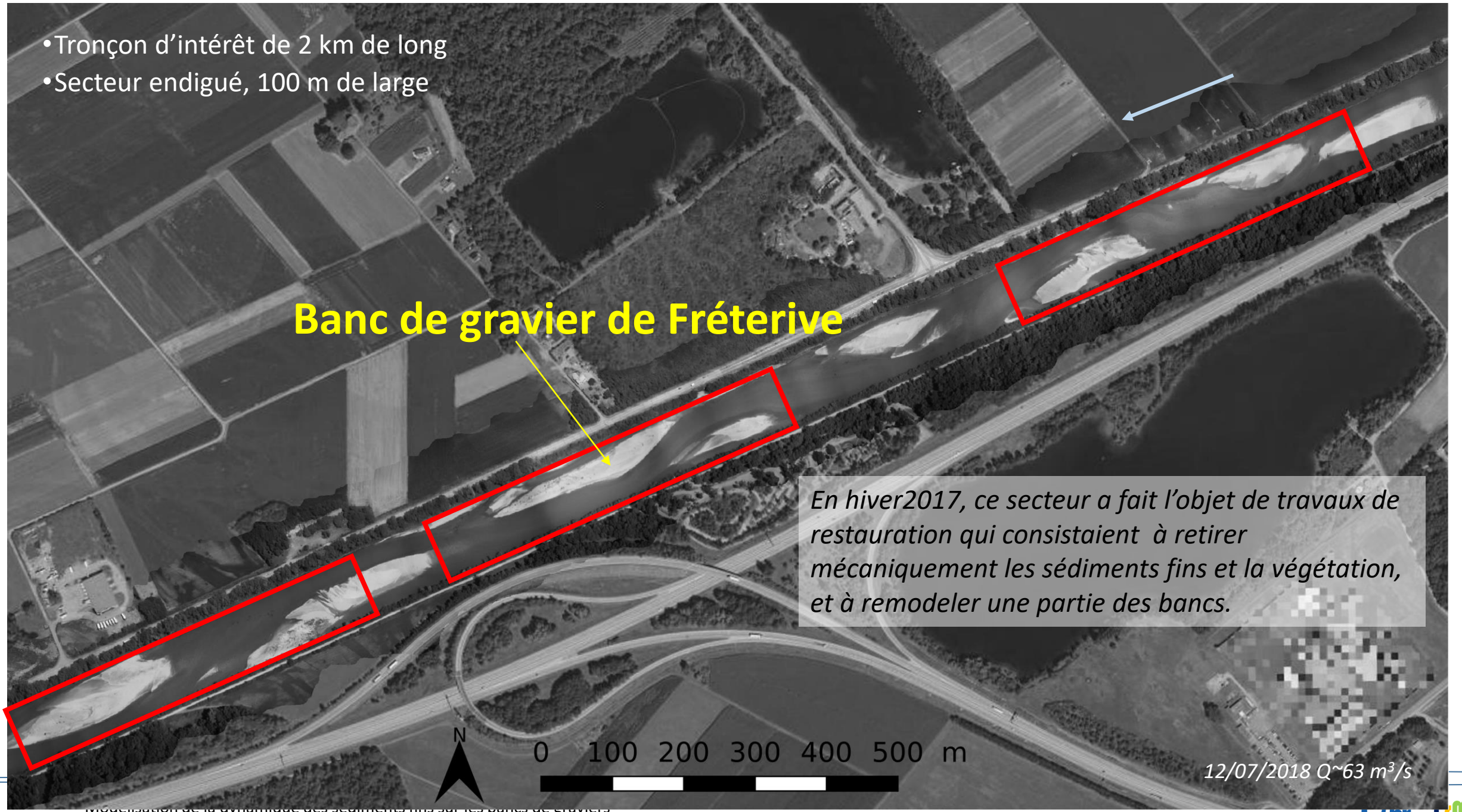
Site d'étude

- L'**Isère en Combe de Savoie**: un site bien documenté

Jeu exhaustif de mesures:

- Chroniques: débit, concentration, hauteur d'eau;
- Bathymétries, champs de vitesses;
- Caractérisation des dépôt: granulométrie, taux d'érosion, contraintes critiques;
- Caractérisation des sédiments transportés fins et grossiers: prélèvements, flux, granulométrie, vitesses de chute…




•Tronçon d'intérêt de 2 km de long
•Secteur endigué, 100 m de large
Banc de gravier de Fréterive
En hiver2017, ce secteur a fait l'objet de travaux de restauration qui consistaient à retirer mécaniquement les sédiments fins et la végétation, et à remodeler une partie des bancs.
N
0 100 200 300 400 500 m
12/07/2018 Q~63 m³/s

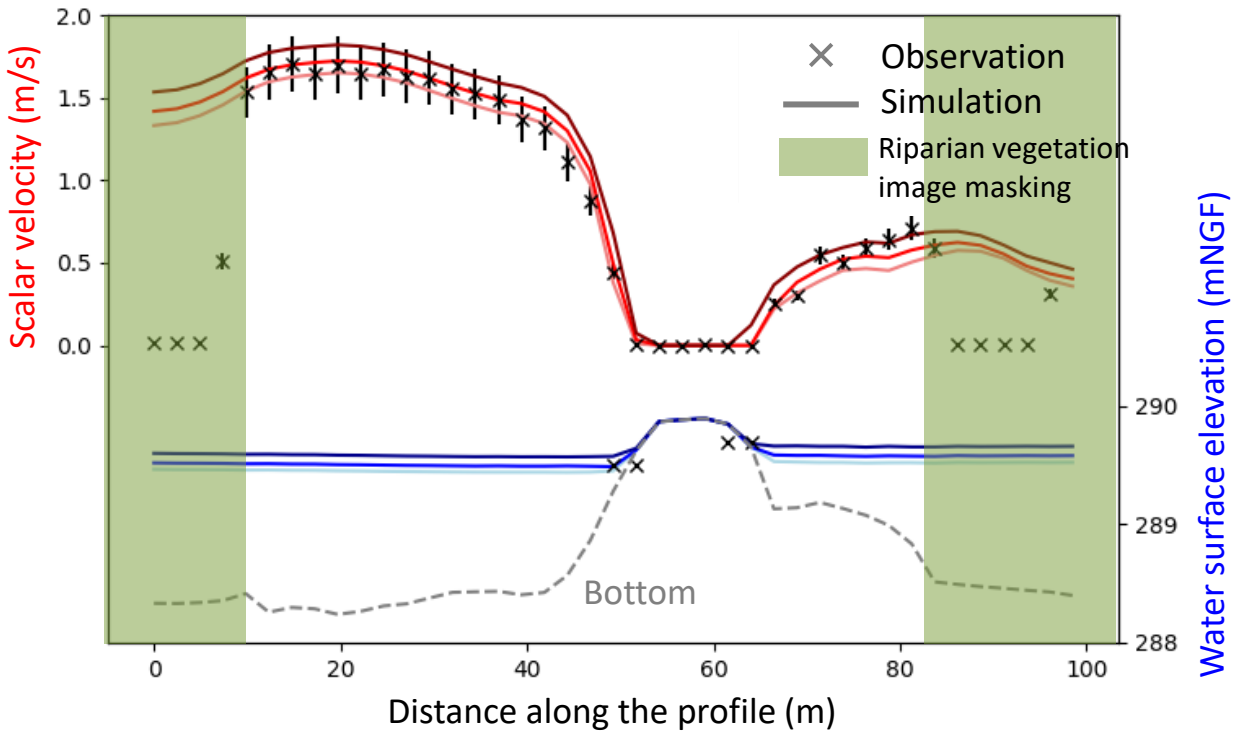
Modèle numérique

❖Intérêt: le devenir des sédiments cohésifs en transit depuis le barrage

- Modélisation hydro-sédimentaire 2D
  - TELEMAC-2D/GAIA
    - Equations de Saint-Venant (hydrodynamique) + Exner (morphodynamique)
    - Suspension (cohésif): équation advection-diffusion de la concentration moyennée sur la verticale
    - Méthode des éléments finis
    - Maillage triangulaire non-structuré, 2m
  - Fond fixe
    - pas de charriage, pas de remise en suspension des sédiments stockés dans le lit
  - Tester des scénarios simple de *Débit* et *Concentration*
    - Pas vocation à être prédictif, on veut identifier les leviers pour limiter les dépôts de sédiments cohésifs sur les bancs de graviers

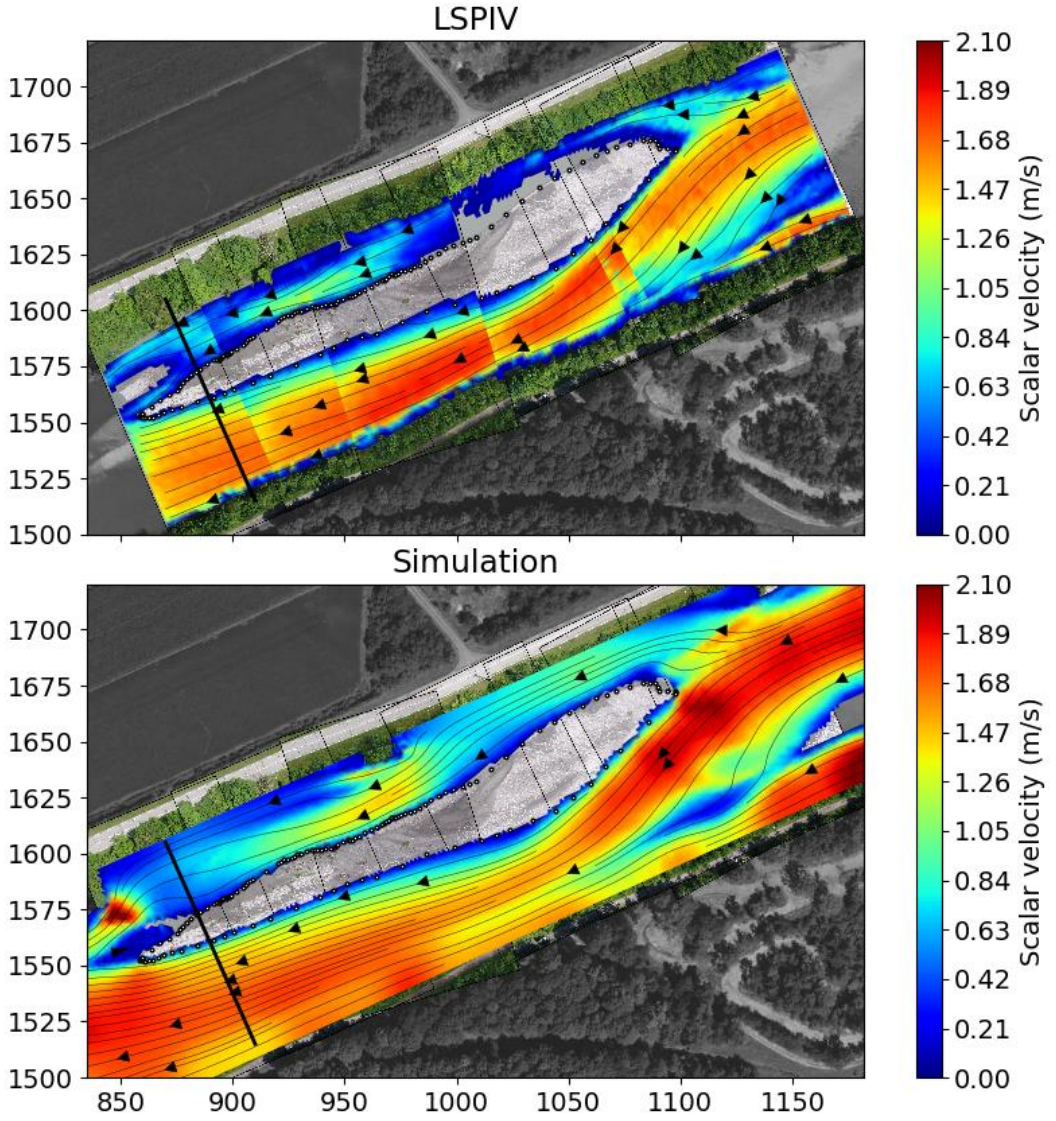
Calibration du modèle: *Hydrodynamique*

- ✓ Hauteur d'eau RMSE (limite banc) : 0,05 m
- ✓ Champs de vitesses

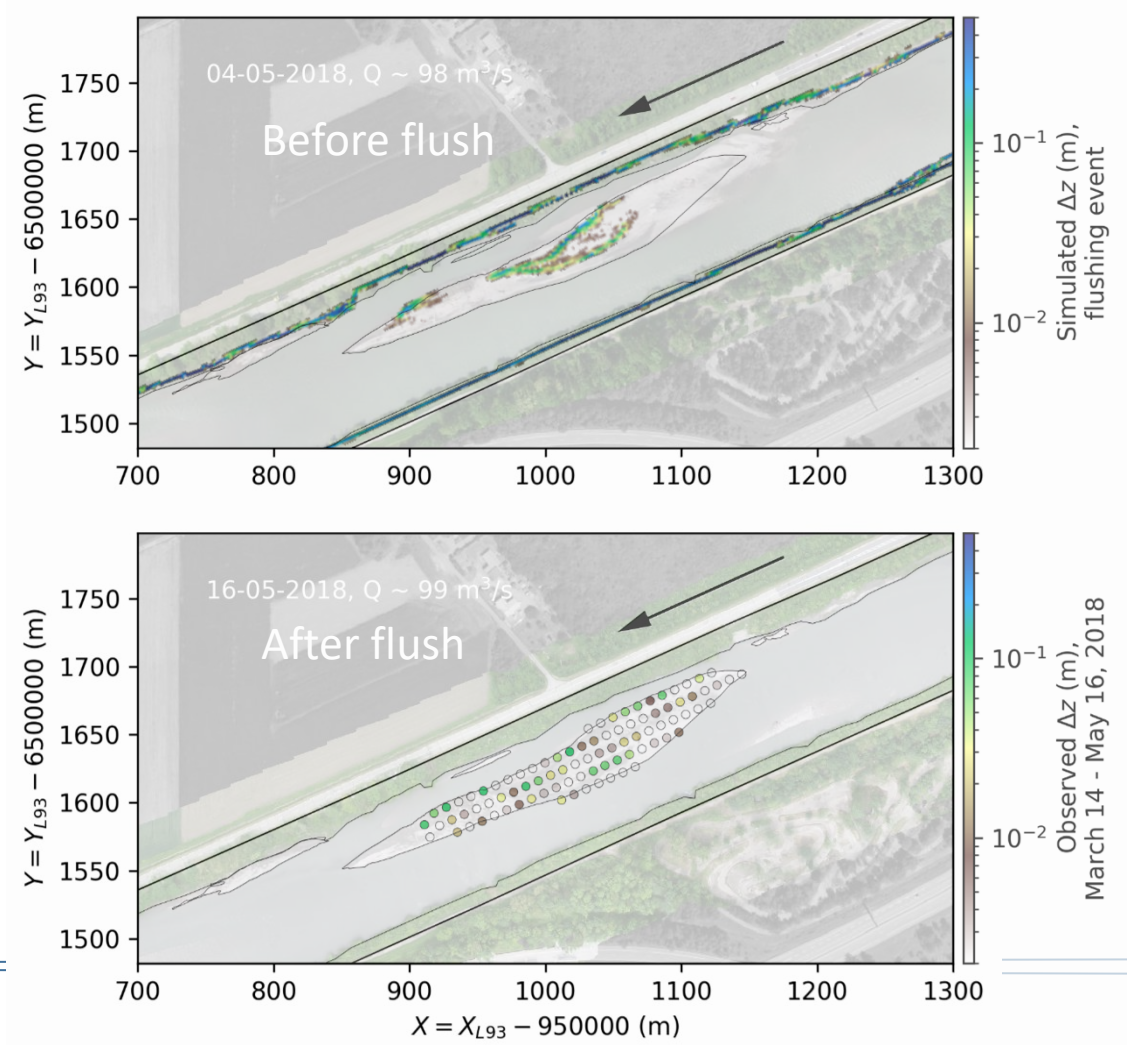


Comparaison avec les mesures LSPIV

Q = 107 m^3/s ±10%

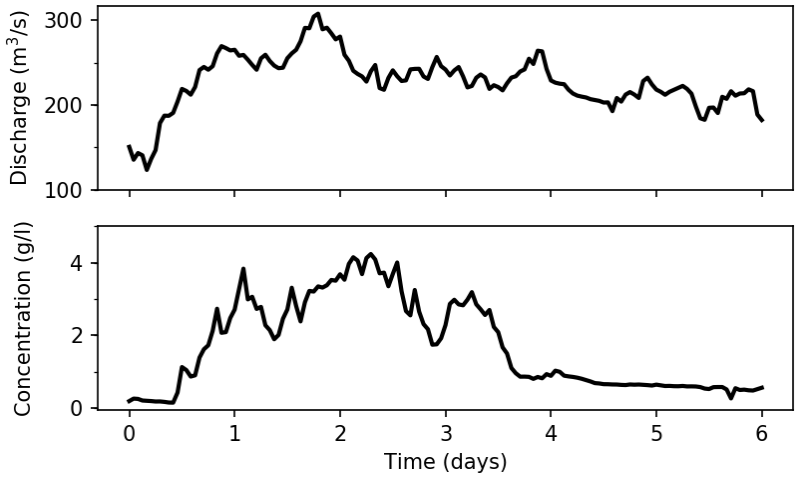


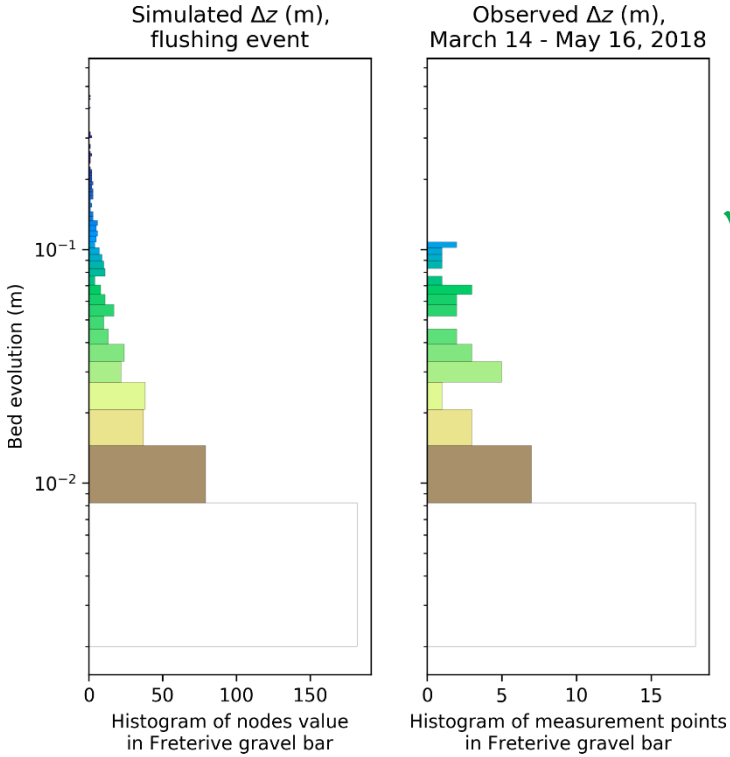
Calibration du modèle: *Morphodynamique*



Comparaison avec les observations des dépôts fins

Episode de chasse de mai 2018

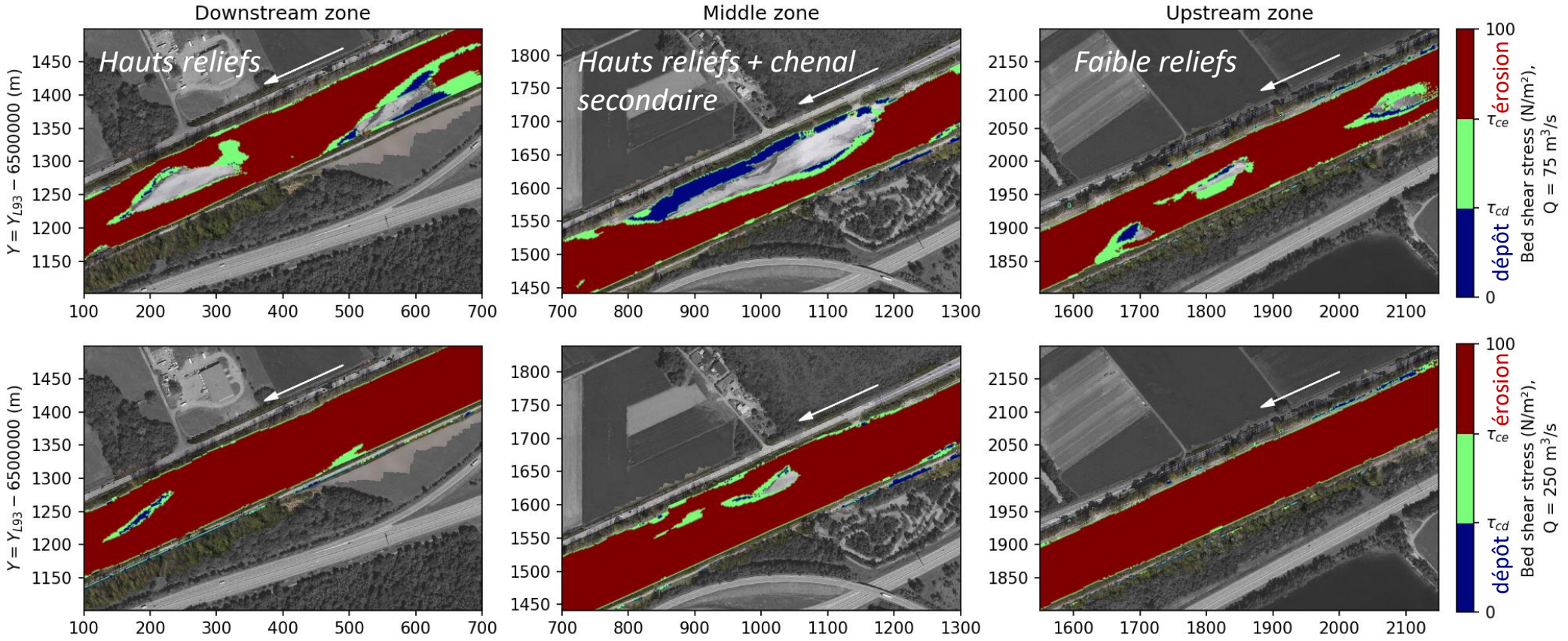




✓ Distribution des hauteurs de dépôts fins

Exploitation du modèle

❖ Fournir des éléments de compréhension sur la dynamique de formation des dépôt sur les bancs de gravier



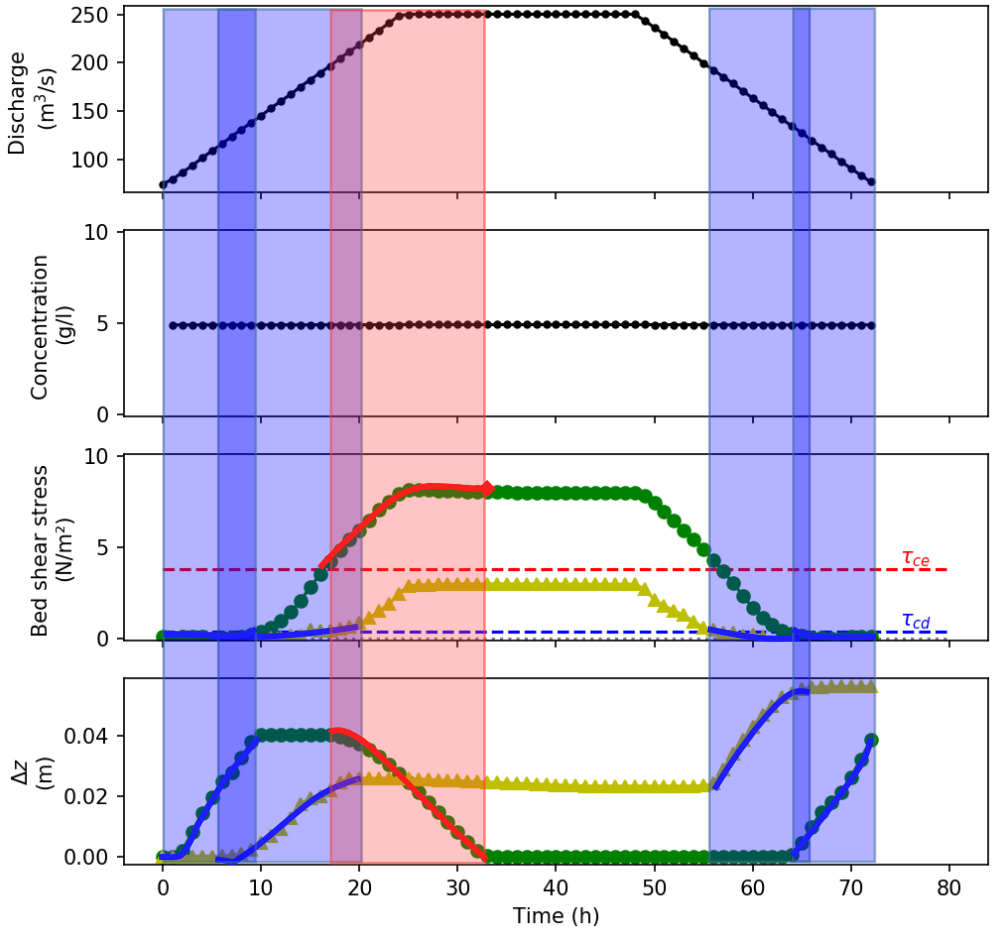
Débit de base

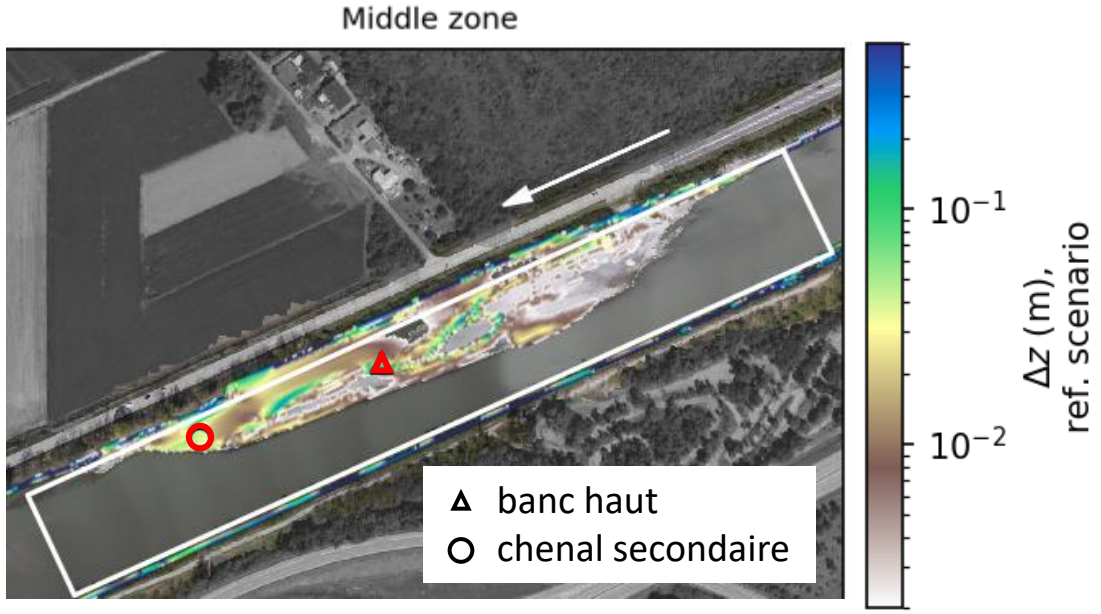
Débit de pointe

➢ Des zones préférentielles pour le dépôt ou l'érosion fonction du *débit* et de la *bathymétrie*

Exploitation du modèle

Scénario de référence





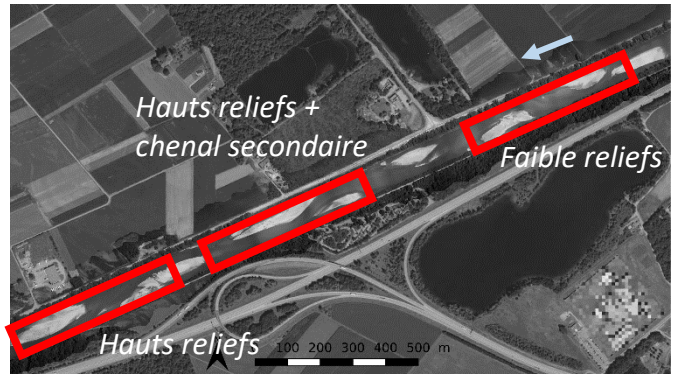
Quand l'écoulement est concentré:

⇒ Formation de dépôt quand $\tau < \tau_{cd}$
i.e. phases de montée et descente de l'hydrogramme

⇒ Erosion tant que $\tau > \tau_{ce}$ et qu'il y a des matériaux disponibles

Exploitation du modèle

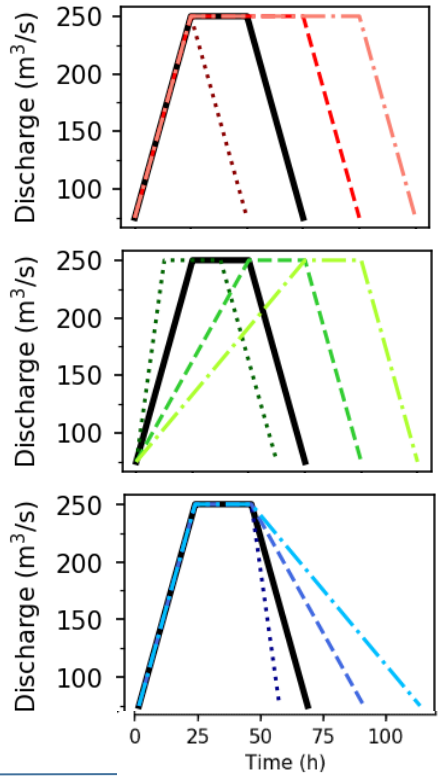
Scénarios de débit liquide



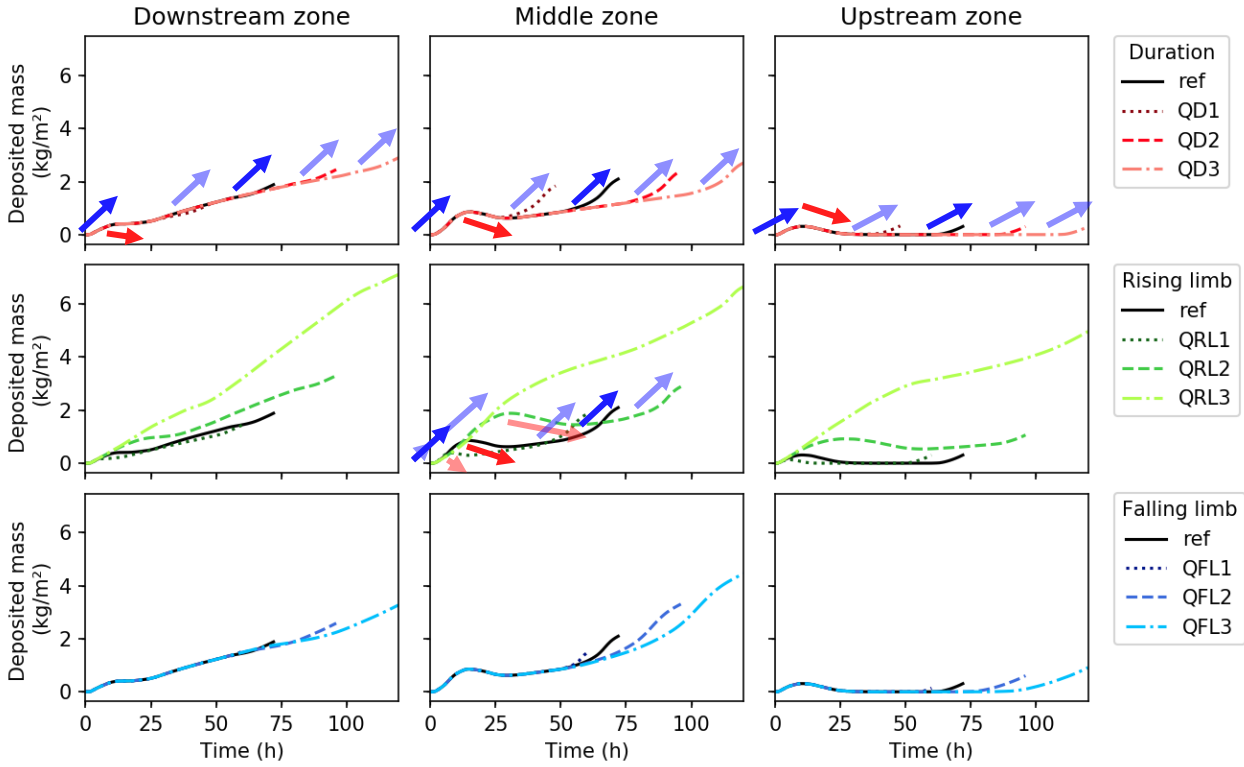
A concentration constante: 5 g/l sur 5 jours

(biais) Plus durées longues, plus masse injectée grande, plus dépôt important

- Effet de la **durée au débit de pointe** ?
  - Décalage du dépôt de décrue
  - Banc bas: dépôt de crue totalement érodé, reste dépôt de décrue
  - Banc haut: dépôt crue et décrue; peu voir pas d'érosion
- Effet de la **durée de montée** de Q(t)?
  - Plus la montée est lente, plus on dépose longtemps, plus le dépôt est important
  - QRL3: monotone, dépôt initial suffisamment important pour réduire τ et la masse érodée
- Effet de la **durée de descente** de Q(t)?
  - Plus la décrue est lente, plus le dépôt est important

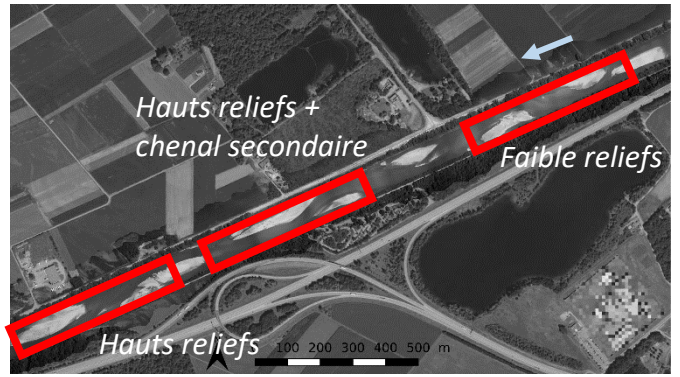


Bilan de masse dans les trois zones d'intérêt (même surface)



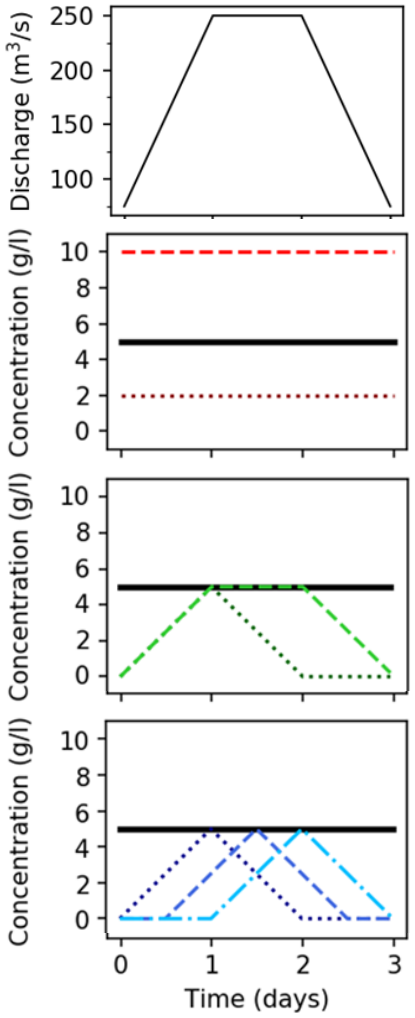
Exploitation du modèle

Scénarios de concentration

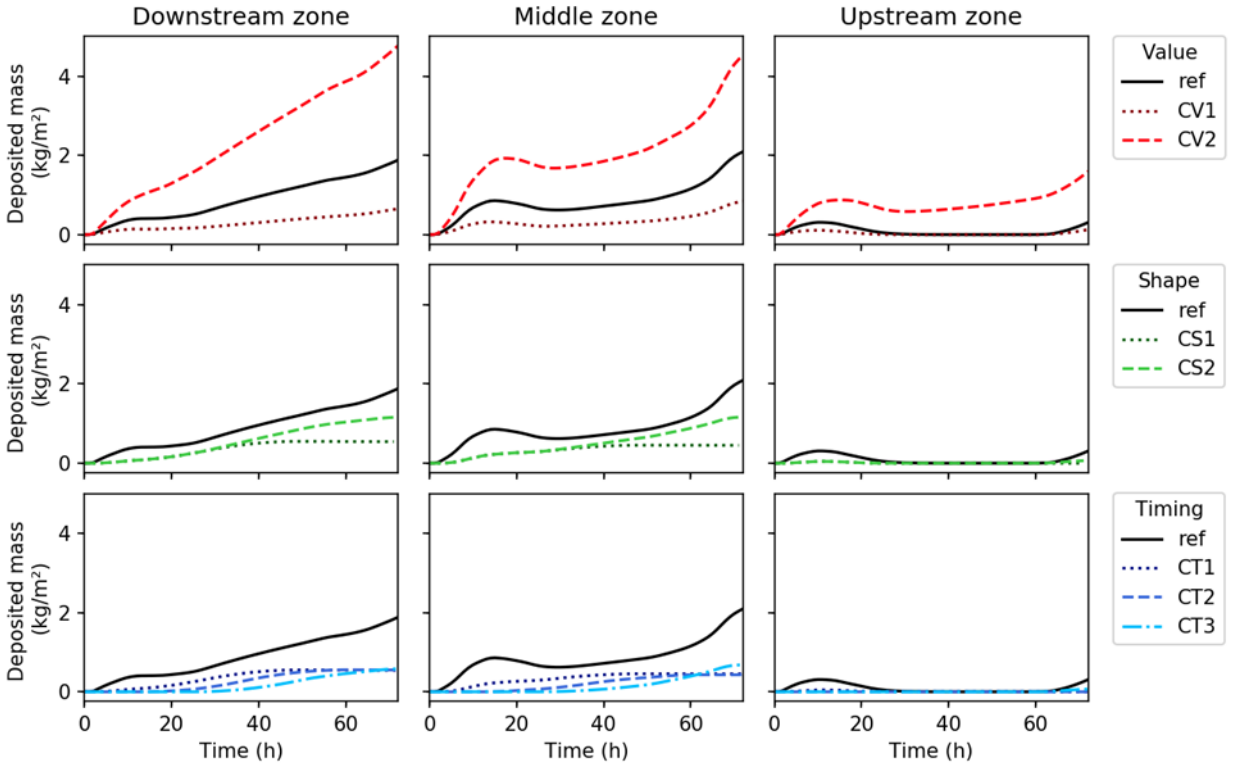


A même hydrogramme (référence)

- Effet de la **valeur de concentration**?
  - Plus l'écoulement est concentré, plus il y a de dépôt (masse injectée supérieure)
- Effet de la **forme de C(t)**?
  - Plus la concentration est faible pour les faibles débits, moins il y a de dépôt: finir à l'eau claire limite les dépôts
- Effet du **timing C(t)-Q(t)**?
  - Les masses injectées sont les mêmes CT1,2 et 3.
  - Plus la concentration est faible pour les faibles débits, moins il y a de dépôt:
  - CT2 (montée et descente eau faiblement concentrée, ou claire) limite le plus les dépôts

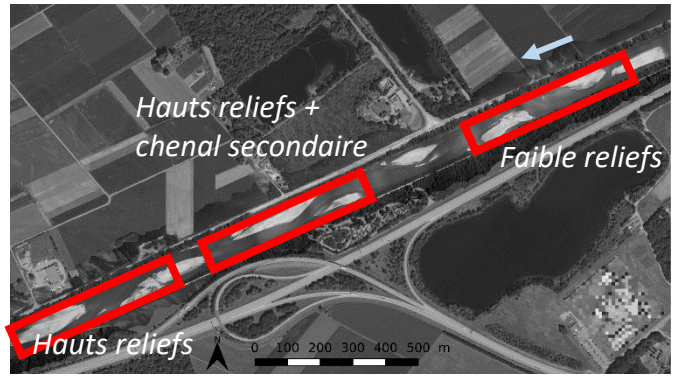


Bilan de masse dans les trois zones d'intérêt (même surface)

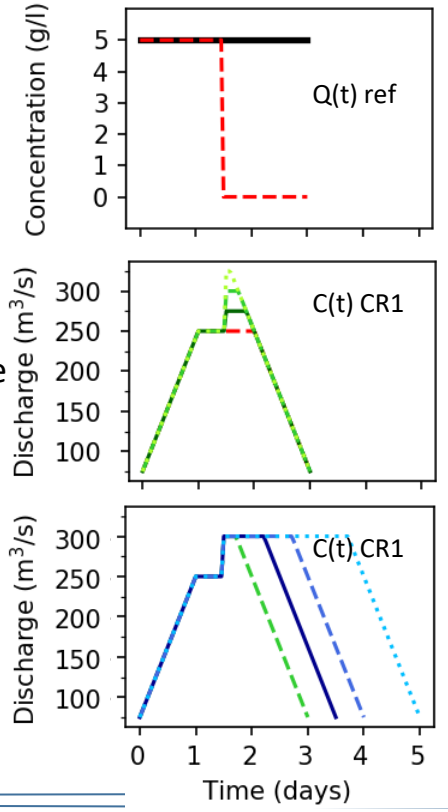


Exploitation du modèle

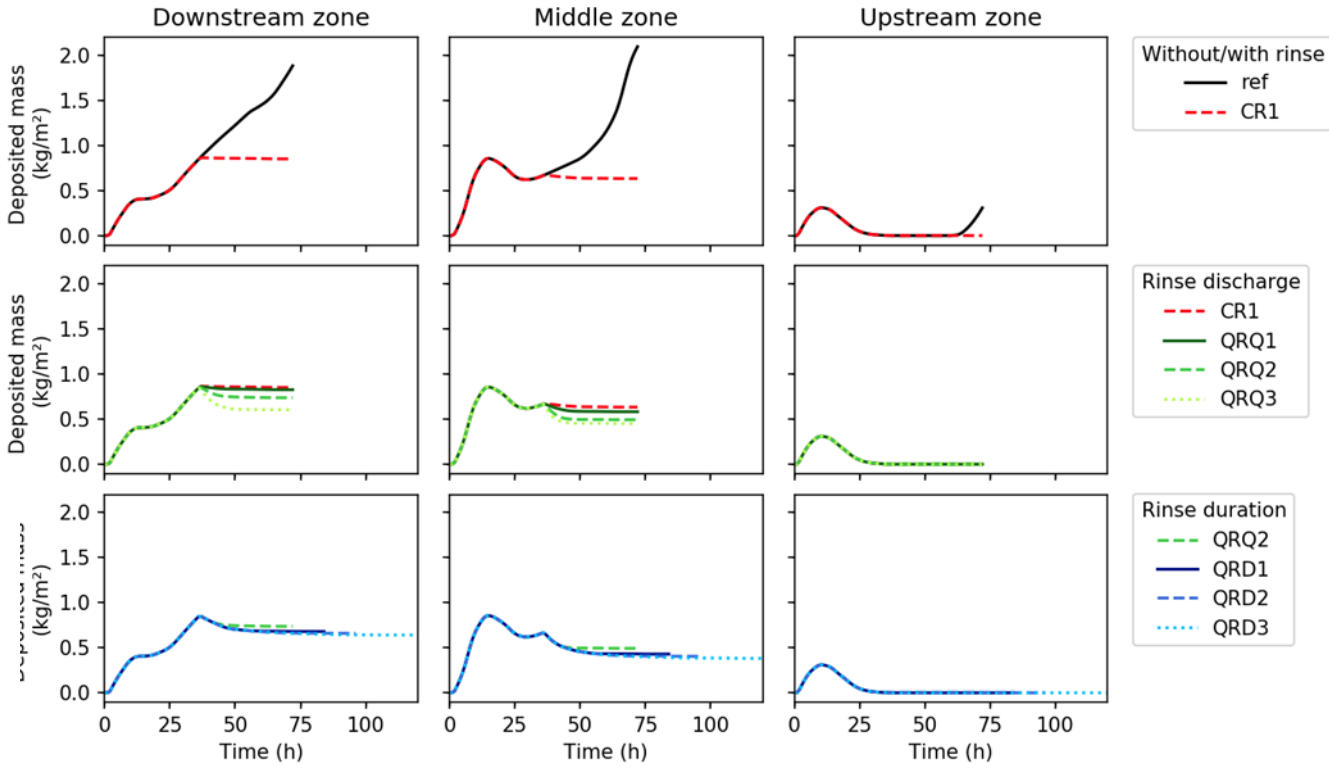
Scénarios avec phase de rinçage



- Effet de la **phase de rinçage**?
  - Pas de dépôt en phase de décrue
  - Banc bas: dépôt initial totalement érodé
  - Banc haut: dépôt initial partiellement voir pas érodé
- Effet du **débit de rinçage**?
  - 100% Qchasse ≤ Qrinçage ≤ 130% Qchasse
  - Peu voir pas d'effet: plus le débit de rinçage est fort, plus on érode des dépôts perchés, mais les écarts restent très faibles
- Effet de la **durée de rinçage**?
  - Qrinçage = 120% Qchasse sur 1.5 à 3j
  - Peu voir pas d'effet: tout ce qui pouvait être érodé l'a déjà été, les dépôts restants sont hors des zones potentielles d'érosion du débit testé



Bilan de masse dans les trois zones d'intérêt (même surface)



Conclusions

- Calibration: bonne représentativité du modèle vis-à-vis des mesures
- Les scénarios étudiés montrent théoriquement que:
  - Les zones préférentielles de dépôt et d'érosion dépendent à la fois du débit et de la bathymétrie:
    - Les faibles reliefs diminuent le potentiel de dépôt aux hauts débits;
    - Les chenaux secondaires sont particulièrement sujets au dépôt à faible débit;
  - Les dépôts sont favorisés par les écoulements concentrés durant les phases de montées et de descentes des hydrogrammes (phases à bas débits):
    - Limiter les durées à faibles débits avec de fortes concentrations permet de limiter les dépôts de fins;
    - En début et fin de chasse, limiter les concentrations ou réduire les temps de montée et descente;
  - L'ajout d'une phase de rinçage est peu voir pas efficace:
    - Amorcer la décrue avec des concentrations faibles permet de limiter les dépôts;
    - Augmenter la durée ou le débit de rinçage n'a pas d'impact significatif sur les dépôts;
    - Les dépôts perchés formés aux hauts débits seront difficiles à éroder même avec des durées ou débits de rinçage importants.

Perspectives

- Potentielles applications opérationnelles:
  - La modélisation comme outils pour anticiper les potentiels dépôts à bathymétrie et scénario donné
  - Penser des stratégies pour limiter les fortes concentrations en début et fin de chasse
  - Travaux: imaginer de nouvelles configurations bathymétriques pour limiter les dépôts
- Vers une meilleure représentation des processus:
  - Considérer toute la complexité des processus impliqués
    - Charriage, transport des sables, remise en suspension des sédiments stockés dans le lit, prise en compte de la végétation
- Vers une meilleure intégration des mesures au service de la modélisation:
  - Calibration d'un grand nombre de paramètres avec un jeu de données exhaustif et incertain
    - Techniques d'assimilation de données, et quantification d'incertitudes

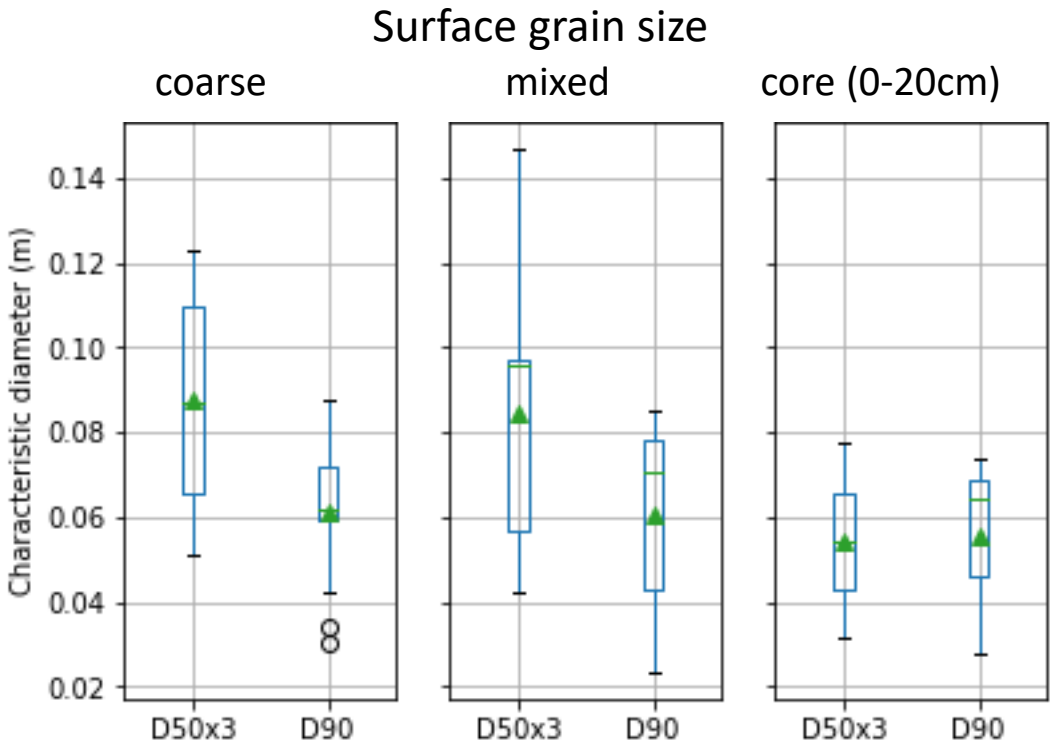
Annexes

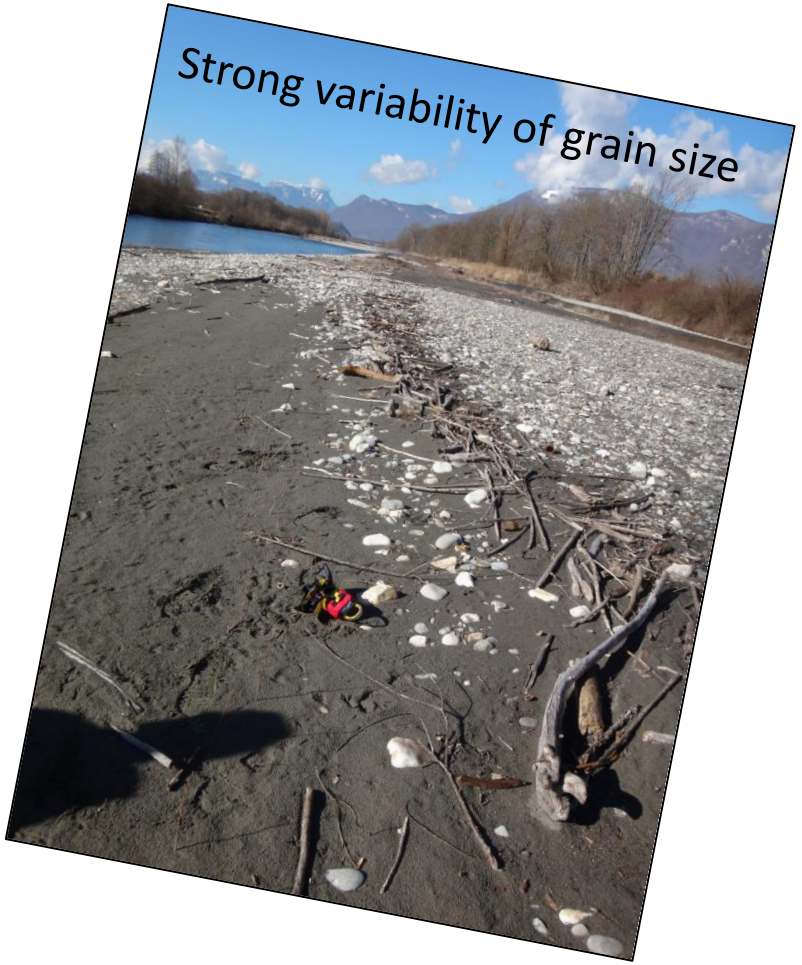
Numerical modelling

Hydrodynamic calibration

Closure parameters :

- [friction] Nikuradse law roughness height $k_s \approx D_{90}$ or 3 D_{50} ~0.1m
- [turbulence] constant diffusivity coefficient $\nu_t \approx f(k_s, \boldsymbol{U}, H)$ ~10^{-2}m²/s





Numerical modelling

Morphodynamic calibration

Closure parameters :

- [Erosion] Partheniades formula

$$E = \begin{cases} M\left(\frac{\tau_b}{\tau_{ce}} - 1\right) & when\ \tau_b > \tau_{ce} \\ 0 & \end{cases}$$

  - M erosion rate: 10^{-3} kg/m²/s
  - τ_{ce} critical shear stress for erosion: 3.8 N/m²
- [Deposition]

$$D = w_s C\left(1 - \frac{\tau_b}{\tau_{cd}}\right)$$

  - w_s settling velocity: 1.04 10^{-3} m/s
  - τ_{cd} critical shear stress for deposition 0.38 N/m²
- C_{bed} bed concentration: 1260 kg/m^3

  (unit flux conversion kg/m²/s -> m/s)

advection-diffusion equation of sediment concentration

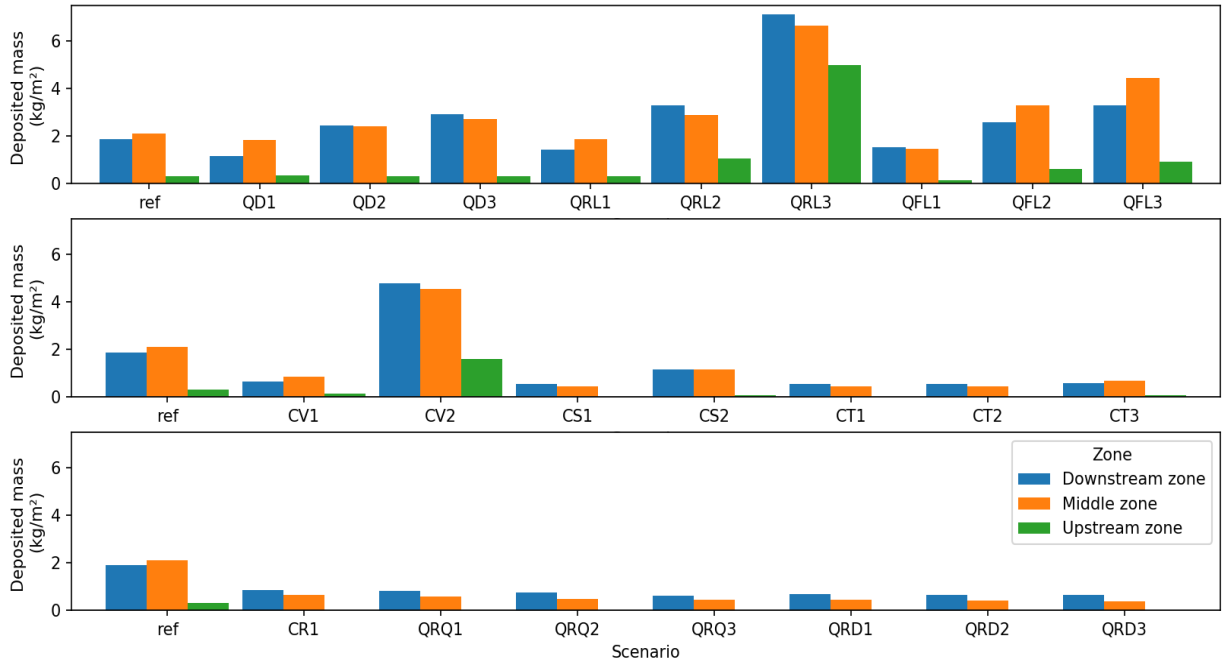
$$\partial_t C + \boldsymbol{u} \cdot \boldsymbol{grad}(C) = \frac{1}{h} div\left(h\, \nu_t \boldsymbol{grad}(C)\right) + \frac{1}{h}(E - D)$$

Sediment mass balance equation

$$(1 - \lambda)\partial_t z_b = D - E$$

Variables
Source terms with closure relationships
Parameters

Scénarios



Bilan de masse à tf dans les trois zones d'intérêt

Bilan de masse normalisé par la masse injectée à tf dans les trois zones d'intérêt