

# Vers l'estimation de la bathymétrie et de la friction effective à l'échelle du réseau hydrographique à partir d'observations multi-sources dans un cadre de modélisation hydrologique–hydraulique (H&H)

---

Session plénière MUFFINS

Mohamed Amine Berkaoui, Mohamed Saadi, François Colleoni, Ngo Nghi Truyen Huynh,  
Ahmad Akhtari, Kevin Larnier, Hélène Roux, et Pierre-André Garambois

9 Juin 2026



# Défis de paramétrisation en modélisation hydraulique

Les modèles hydrauliques sont essentiels pour suivre et prédire la dynamique des rivières (crues, ressources en eau, écologie...), **mais font face à d'importants défis de paramétrisation** :

## Débits d'apport

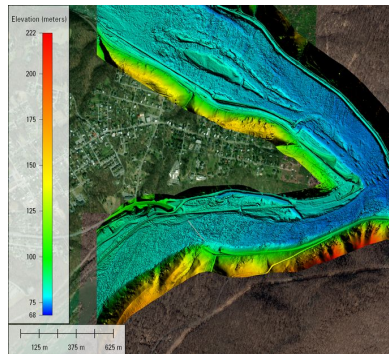
Les observations de débit restent spatialement éparses



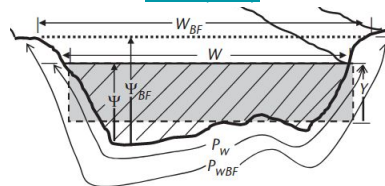
[MEEM/SCHAPI \(2017\)](#)

## Bathymétrie

Levés bathymétriques coûteux et localisés ; le LiDAR topo-bathymétrique reste limité



[USGS \(2023\)](#)



[Dingman \(2009\)](#)

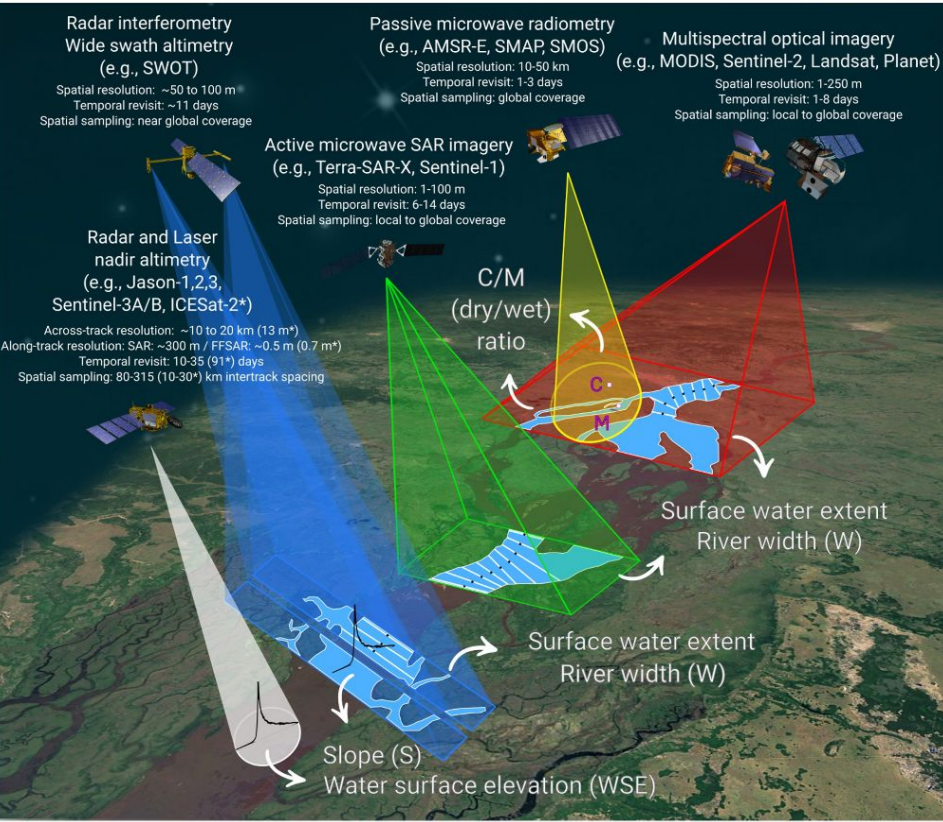
## Rugosité

Dépend des caractéristiques locales ; calibrée comme une rugosité effective uniforme par tronçon



[Ancey \(2025\)](#)

# Observations multi-sources pour contraindre les modèles hydrauliques



(Cerbelaud et al., 2025)

## Visibilité hydraulique depuis l'espace (WSE, S, W)

→ Pour compenser le manque d'observations in situ

### Problème direct vs. inverse

#### PROBLÈME DIRECT

$(Q, b, K)$  connus → Modèle hydraulique →  $WSE^{obs}$

#### PROBLÈME INVERSE

$WSE^{obs}$  → Assimilation / inférence →  $(Q, b, K)$

### Problème inverse mal posé (Garambois and Monnier, 2015)

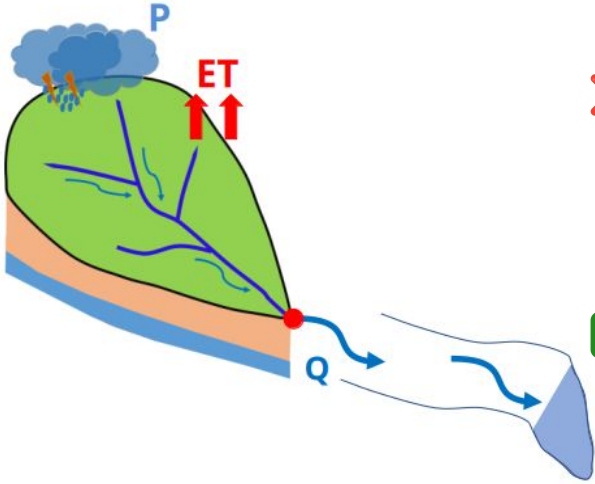
#### Inversion de Manning-Strickler

$$WSE^{obs} = \underbrace{b}_{\text{red circle}} + \left( \frac{\underbrace{Q}_{\text{red circle}}}{\underbrace{K W S^{1/2}}_{\text{red circle}}} \right)^{3/5}$$

→ même  $WSE^{obs}$  peut résulter de différents  $(Q, b, K)$

→ **Équifinalité structurelle**

# Réduire l'équifinalité par un couplage H&H



## Modèle hydraulique seul

✗ **Problème inverse mal posé** : plusieurs combinaisons ( $Q, b, K$ )  $\rightarrow$  même  $WSE^{obs}$



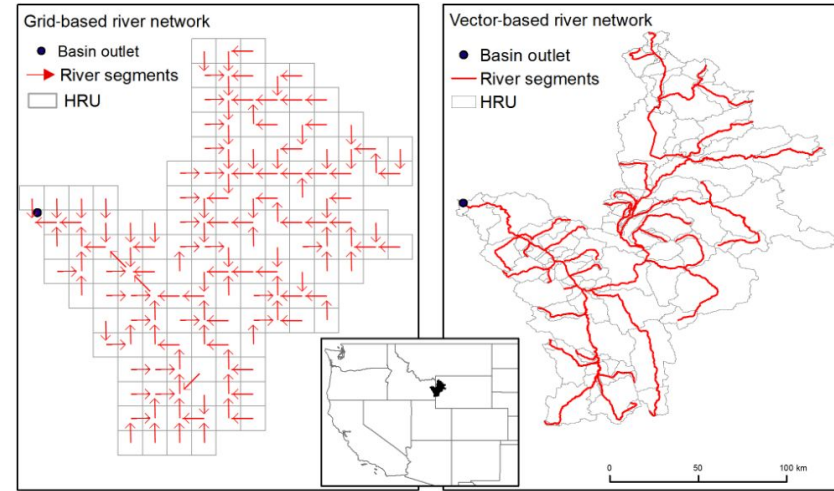
## Couplage H&H ([Larnier et al., 2025](#))

✓ L'hydrologie contraint  $Q$   $\rightarrow$  inférence seulement de ( $b, K$ )  $\rightarrow$  **inversion mieux posée**

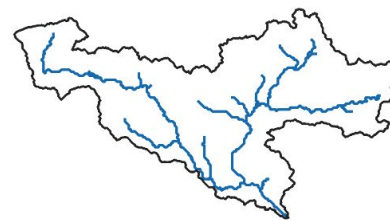
Quel cadre méthodologique et quelle structure spatiale adopter pour une modélisation hydrologique-hydraulique (H&H) multi-échelle, physiquement cohérente, capable d'assimiler efficacement des données multi-sources pour inférer la bathymétrie et la friction ?

# Représentation du réseau hydrographique : Grille vs. Vecteur

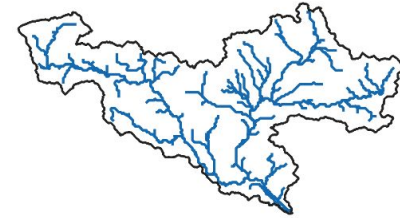
- **Réseaux en grille** : perdent les caractéristiques fines des rivières (ex. sinuosité, longueur, aires drainées), et sont délimités via des seuils empiriques
- **Réseaux vectoriels** : préservent les caractéristiques naturelles des rivières et offrent scalabilité et efficacité computationnelle



([Mizukami et al., 2016](#))



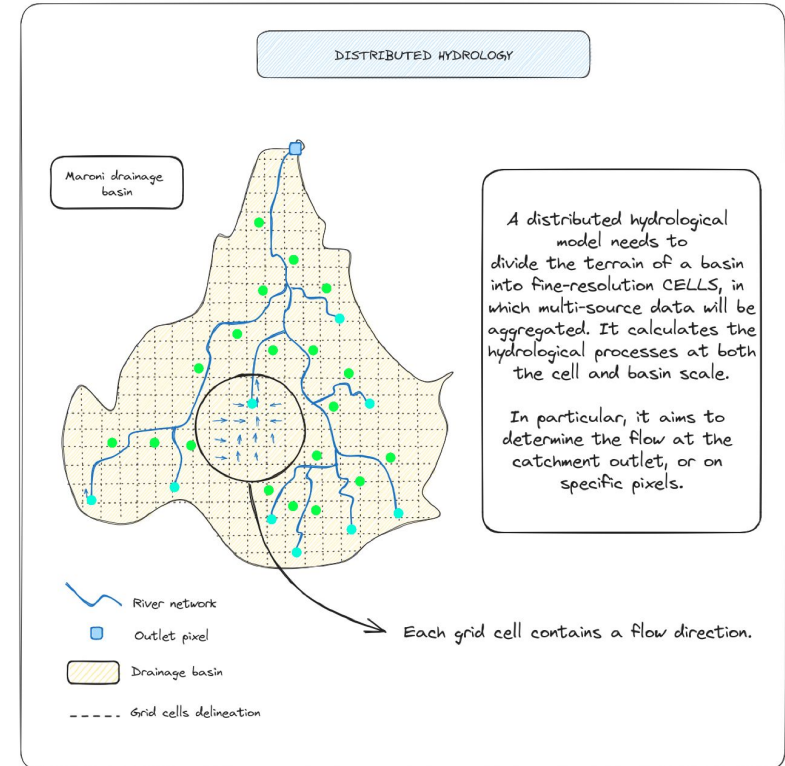
Seuil = 10 km<sup>2</sup>



Seuil = 2.5 km<sup>2</sup>

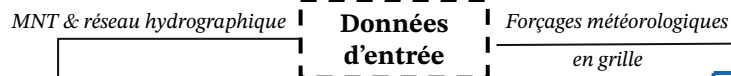
# Couplage spatial pour une modélisation H&H multi-échelle

**Couplage spatial distribué** entre une grille hydrologique à résolution grossière (ex.  $\Delta x = 10$  km) et un réseau hydrographique vectoriel à fine échelle (ex.  $\Delta x = 100$  m)

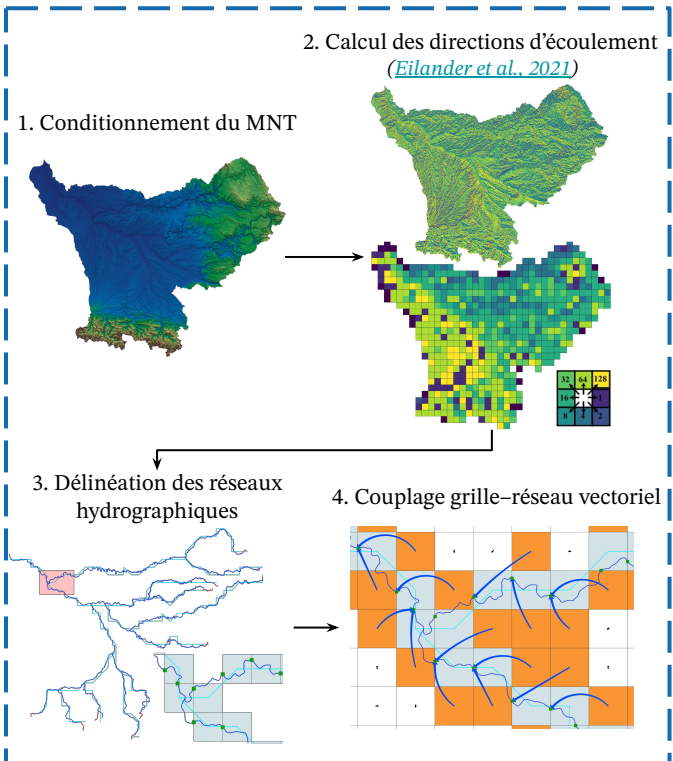


(adapted from [HydroIntegratedTools](#))

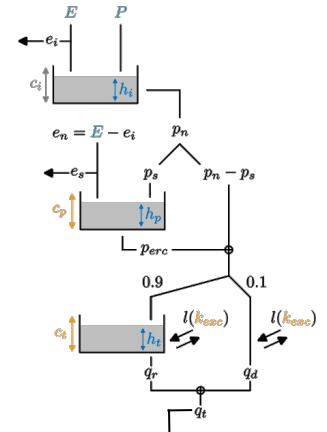
# Données & Méthodologie : Cadre de modélisation H&H intégré



## Chaîne de prétraitement

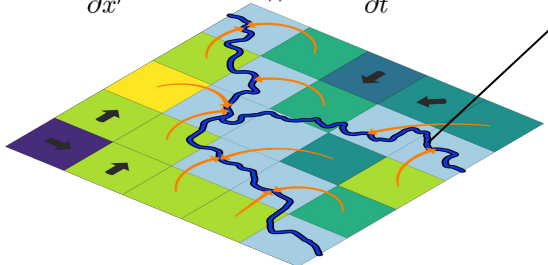


## Production de ruissellement (GR4)



## Routage sur les versants (onde cinématique)

$$\frac{\partial Q_{rr}}{\partial x'} + a_{kw} b_{kw} Q_{rr}^{(b_{kw}-1)} \frac{\partial Q_{rr}}{\partial t} = \lambda Q_{lat}$$

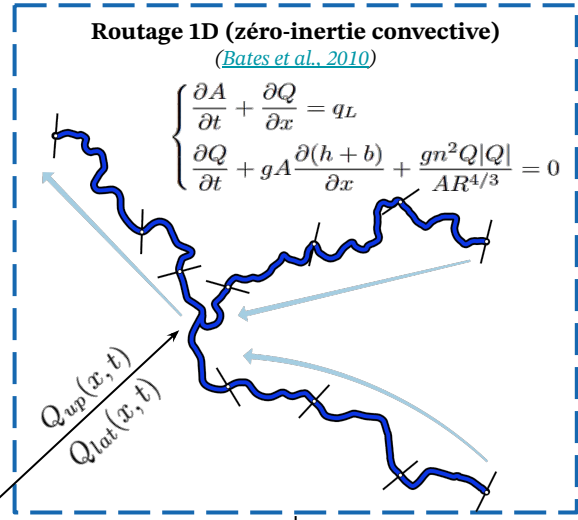


## Modèle hydrodynamique vectoriel

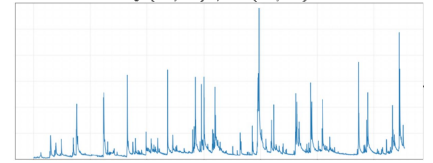
### Routage 1D (zéro-inertie convective)

(Bates et al., 2010)

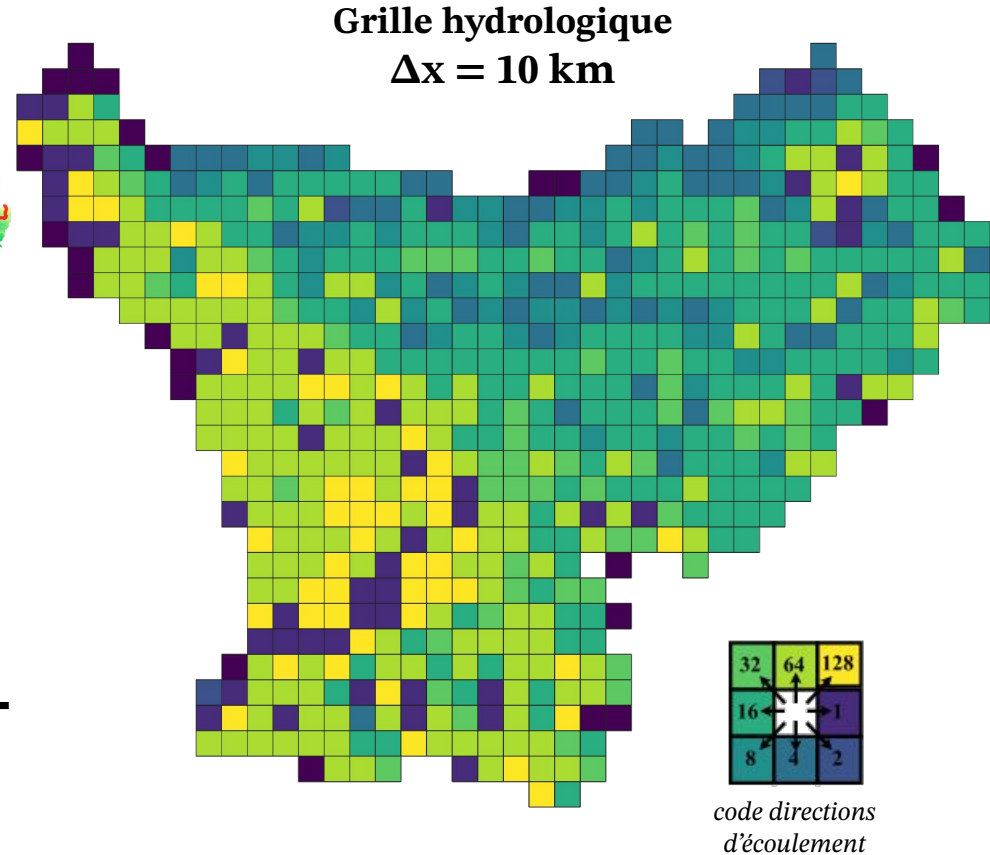
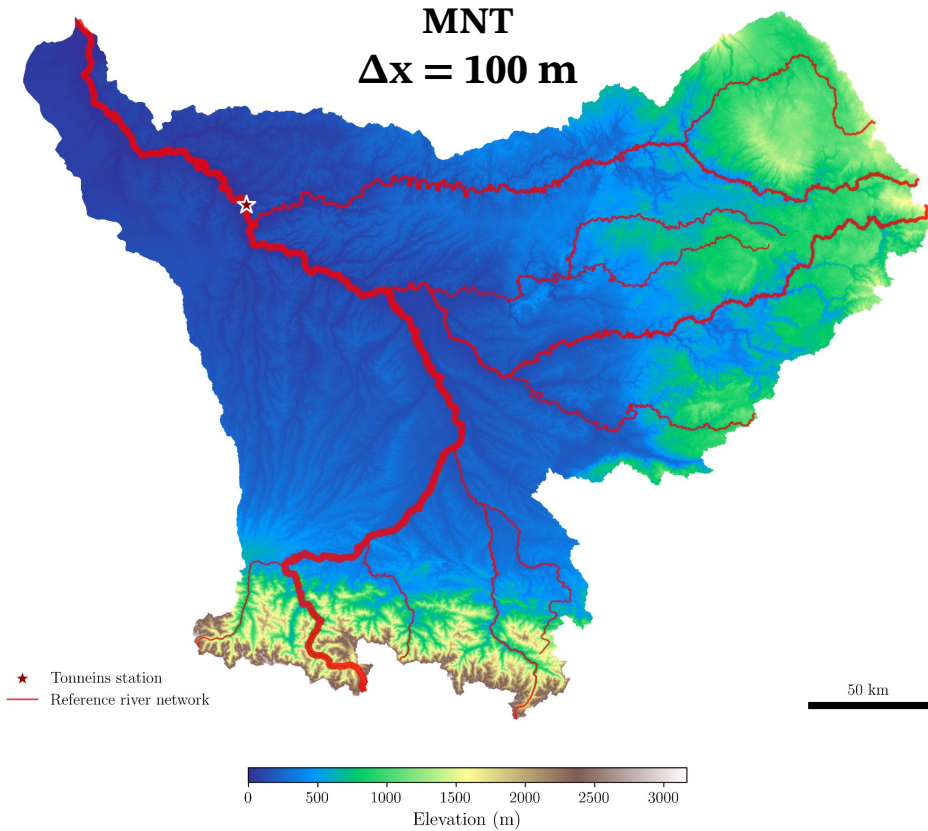
$$\begin{cases} \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q_L \\ \frac{\partial Q}{\partial t} + gA \frac{\partial(h+b)}{\partial x} + \frac{gn^2 Q|Q|}{AR^{4/3}} = 0 \end{cases}$$



Sorties  $Q(x, t); h(x, t)$



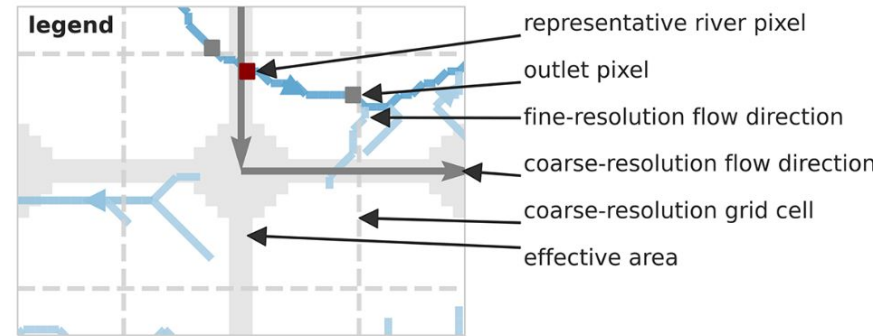
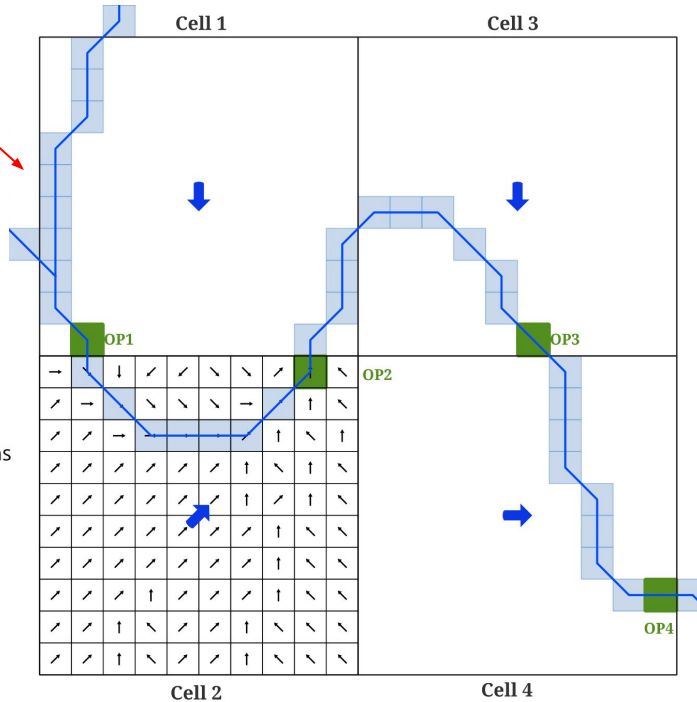
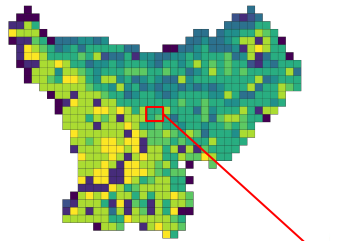
# Prétraitement pour le couplage raster–vecteur



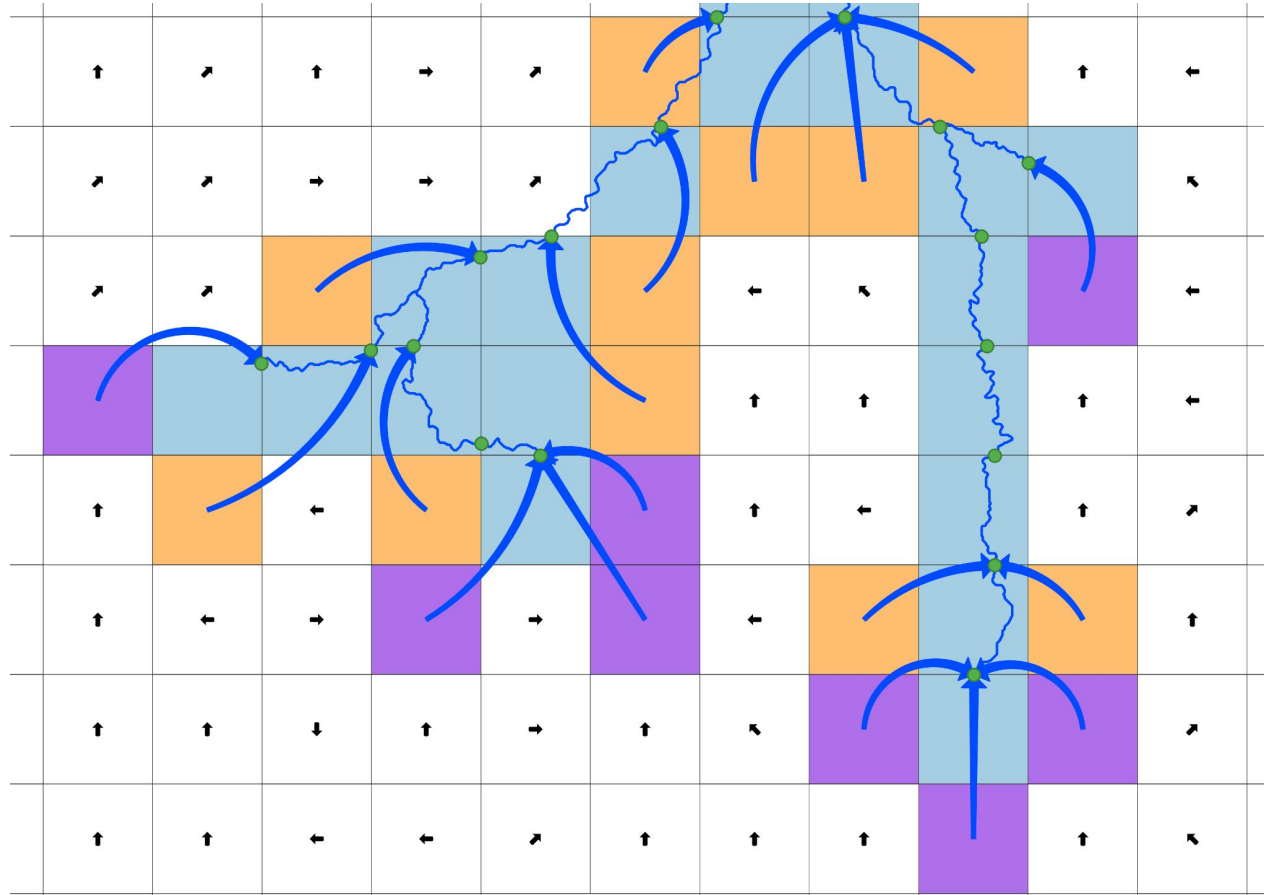
# Prétraitement pour le couplage raster–vecteur

## Concept de l'algorithme IHU

(Eilander et al., 2021)

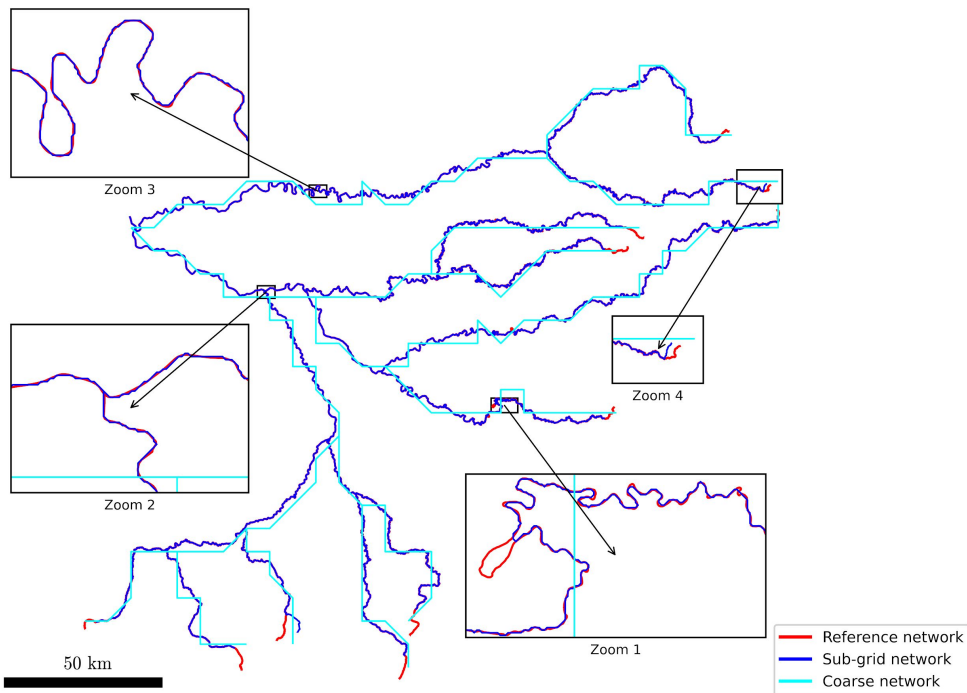


# Prétraitement pour le couplage raster–vecteur

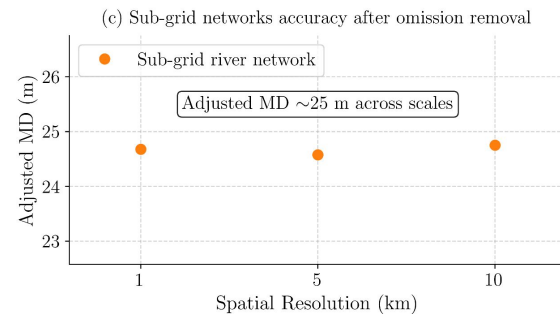
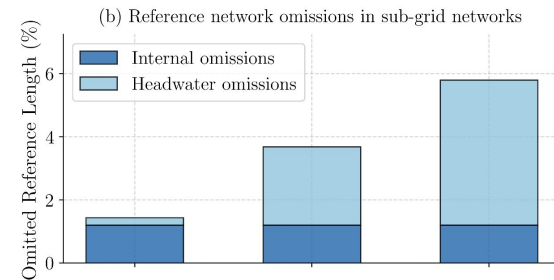
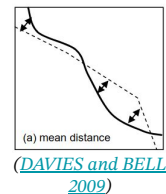
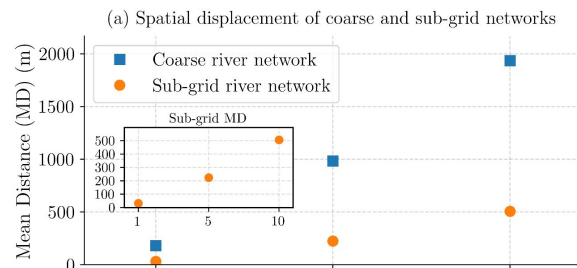


- outlet pixels
- sub-grid network
- hydrologic model river cells
- upstream inflows
- lateral inflows

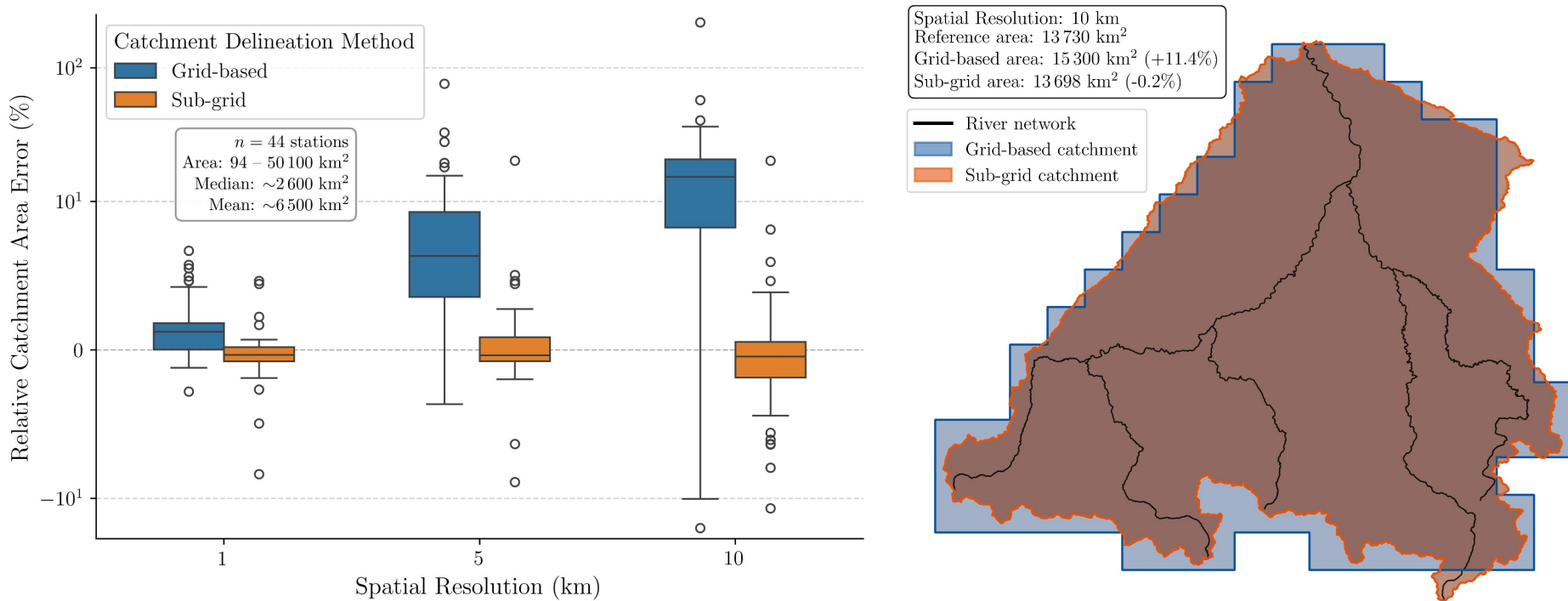
# Résultats : évaluation de la qualité des réseaux dérivés du MNT



La représentation sous-maille découple efficacement la qualité du réseau hydrographique de la résolution de la grille hydrologique, en maintenant une forte précision spatiale à toutes les résolutions (MD ~ 25 m) avec une omission négligeable (<6 %)

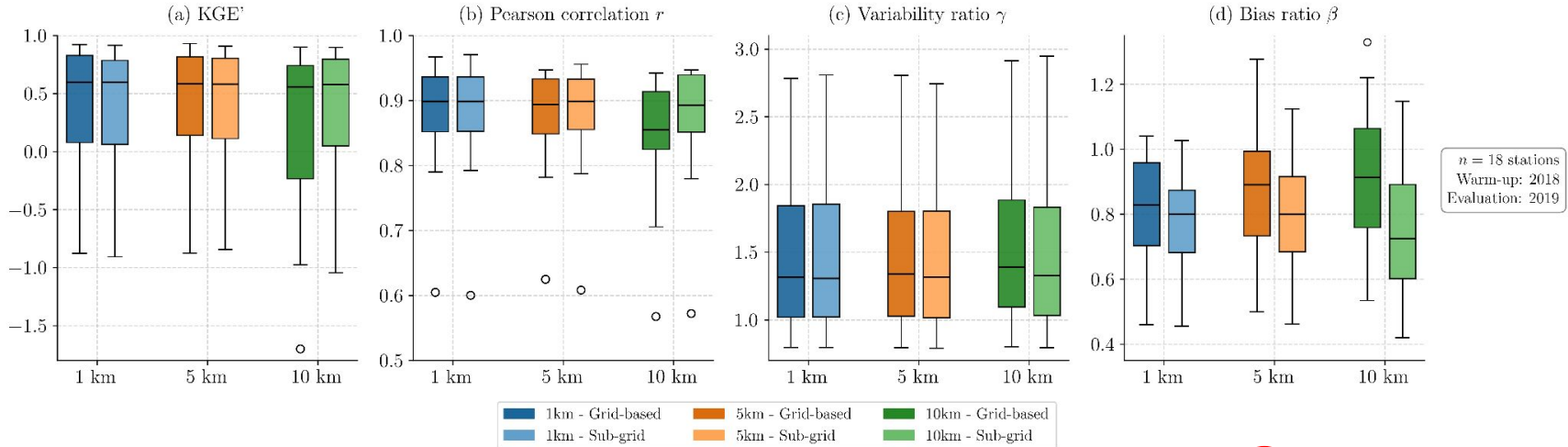


# Résultats : réduction des erreurs de délimitation des aires drainées

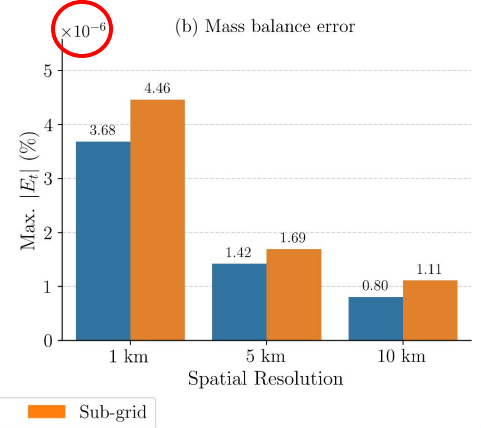
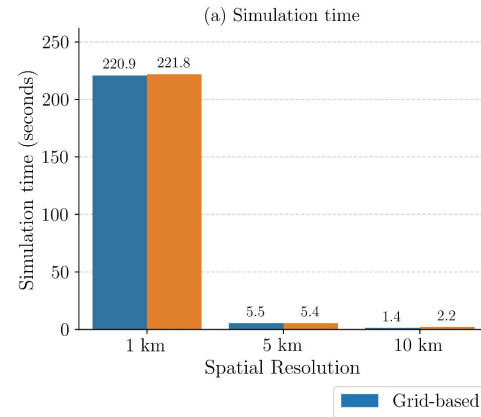


La propagation des informations de drainage à fine résolution dans la grille hydrologique réduit fortement les erreurs de délimitation des aires drainées : les aires sous-maille maintiennent une précision stable entre les résolutions spatiales (erreur moyenne ~0%), alors que la délimitation basée sur la grille entraîne des erreurs croissantes et très variables aux résolutions plus grossières (erreur moyenne ~8%).

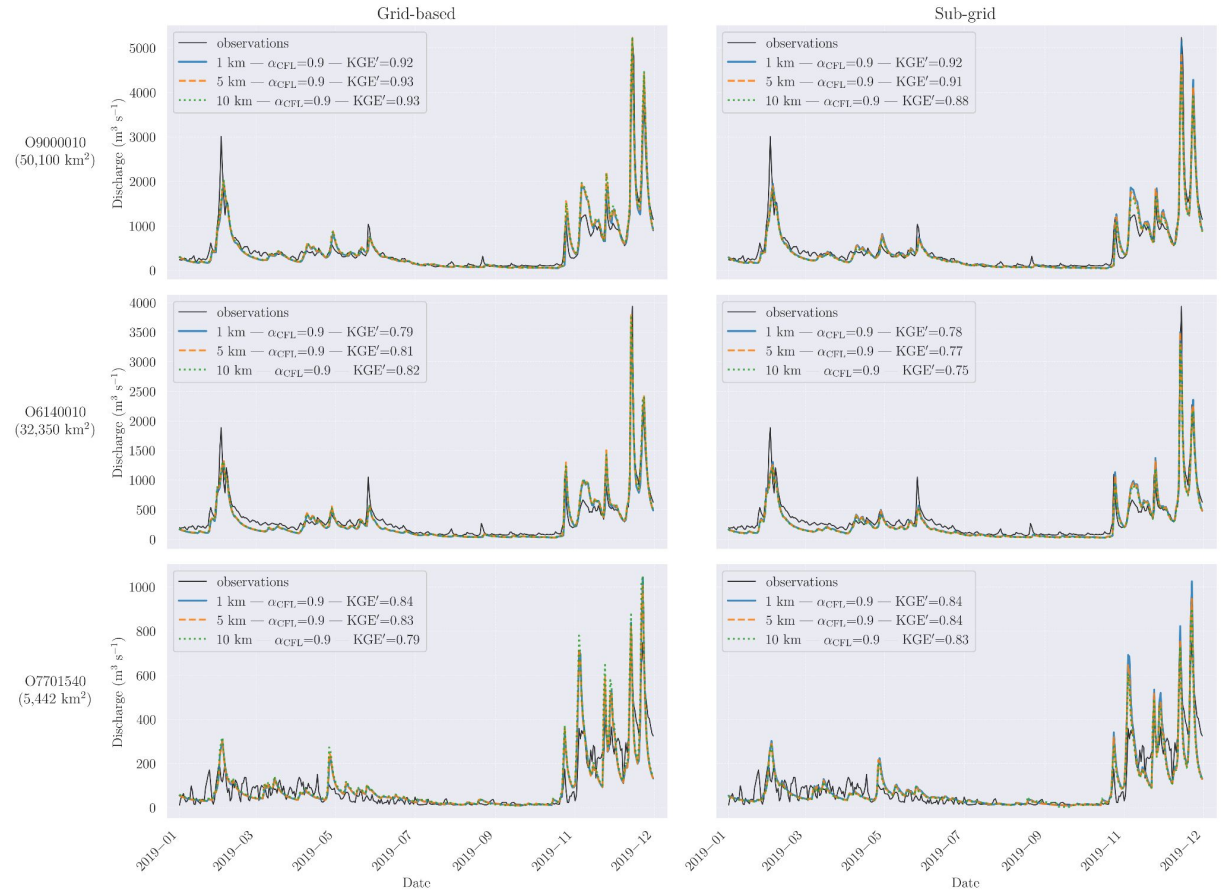
# Résultats : évaluation du modèle H&H



Simulations H&H cohérentes à travers les résolutions spatiales, sans recalibration : bonne préservation de la dynamique temporelle des débits, biais contrôlé grâce aux aires drainées sous-maille, stricte conservation de masse ( $\max |E_t| \sim 10^{-6}$ ) et efficacité computationnelle élevée (quelques minutes  $\rightarrow$  seconds).



# Résultats : évaluation du modèle H&H



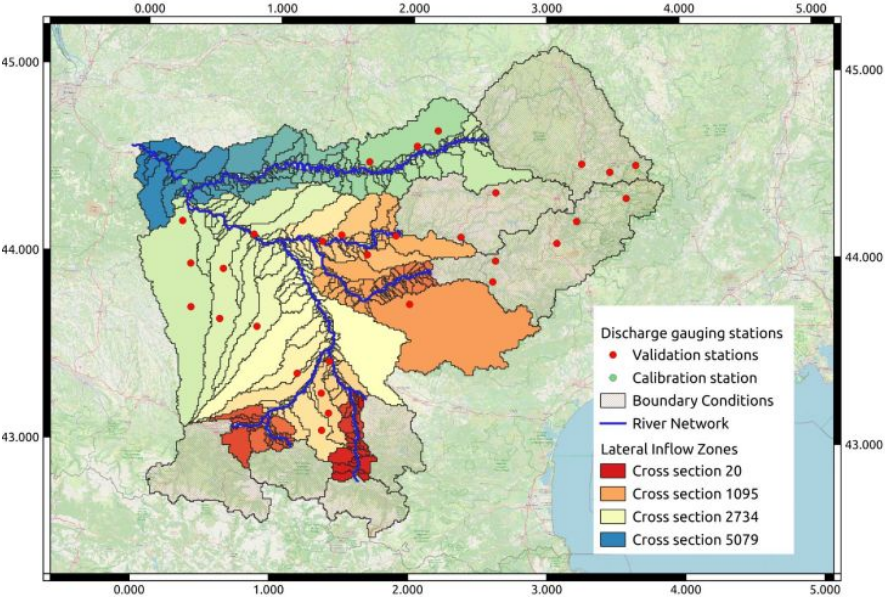
# Conclusions et perspectives

- ✓ Un cadre H&H raster–vecteur scalable permettant une réconciliation cohérente multi-échelle entre hydrologie sur grille et hydraulique vectorielle :
  - ✓ La représentation sous-maille préserve la structure du réseau hydrographique et les aires drainées, améliorant la cohérence physique des simulations H&H entre résolutions spatiales
  - ✓ Assure la conservation de masse entre domaines hydrologique et hydraulique grâce à un couplage direct grille–vecteur
  - ✓ Permet des simulations multi-échelles à faible coût de calcul sur de grands domaines.
- ⚠ Pas de recalibration, paramétrisation simplifiée → objectif cohérence méthodologique et multi-échelle, et non la performance prédictive.
- ↻ Extension vers de plus grands domaines et vers l'estimation physiquement cohérente des paramètres hydrauliques (bathymétrie et friction) à l'échelle du réseau par assimilation d'observations satellitaires de surface d'eau (ex. SWOT, ICESat-2) ([Larnier et al., 2025](#)).

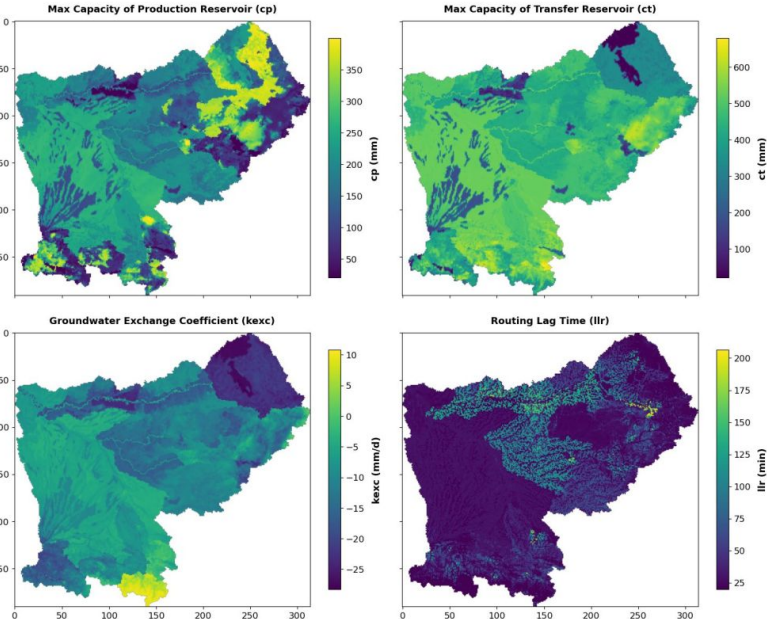
# Autres applications : Couplage SMASH et DassFlow-1D

Couplage de SMASH et DassFlow-1D (*Ettalbi et al., en préparation*) :

Régionalisation des paramètres hydrologiques via l'assimilation d'altimétrie SWOT



Area conservative and "mass conservative"



Regionalization with swot finetuning Parameter maps.

# Merci pour votre attention !

## Preprint disponible et actuellement en révision dans Geoscientific Model Development (GMD)

<https://doi.org/10.5194/egusphere-2026-1557>

Preprint. Discussion started: 27 March 2026

© Author(s) 2026. CC BY 4.0 License.



### **A Raster–Vector Framework for Multi-Scale Hydrological–Hydraulic Modeling Across Large Domains**

Mohamed Amine Berkaoui<sup>1</sup>, Mohamed Saadi<sup>1</sup>, François Colleoni<sup>2</sup>, Ngo Nghi Truyen Huynh<sup>3</sup>,  
Ahmad Akhtari<sup>3</sup>, Kevin Larnier<sup>2</sup>, Hélène Roux<sup>1</sup>, and Pierre-André Garambois<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Univ Toulouse, Toulouse INP, CNRS, IMFT, Toulouse, France

<sup>2</sup>Hydro Matters, Toulouse, France

<sup>3</sup>INRAE RECOVER, Aix-Marseille Université, Aix-en-Provence, France

