

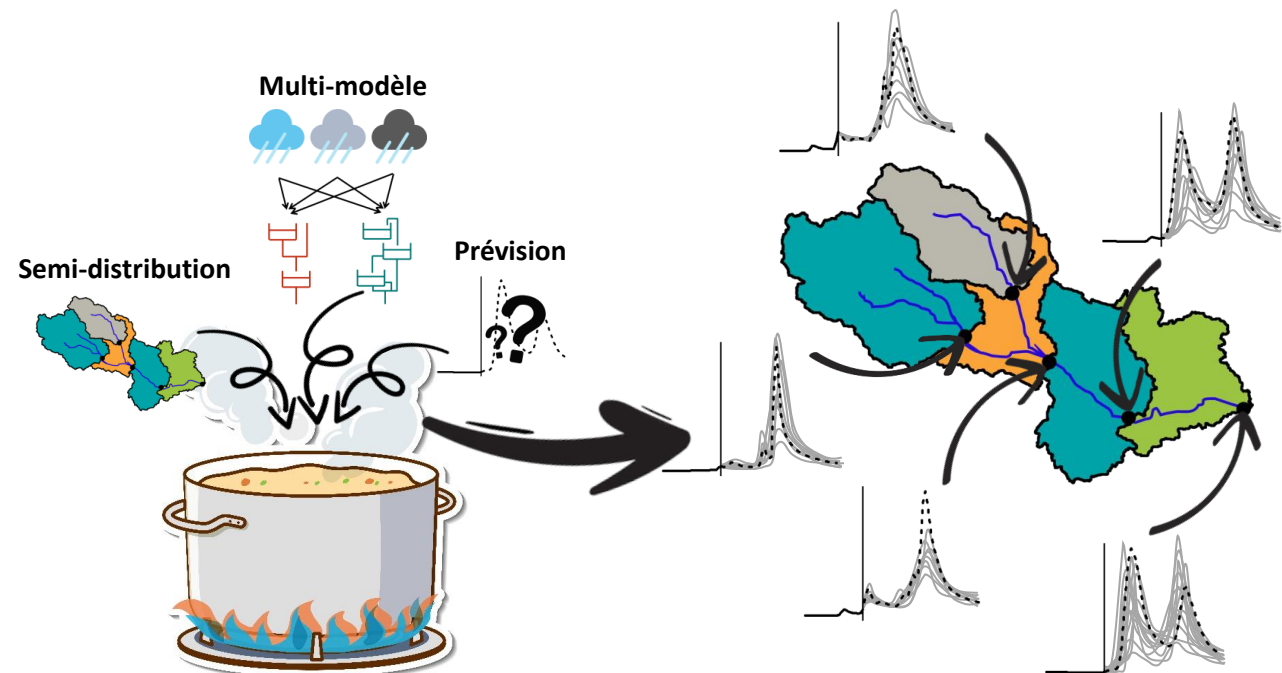
Que peut-on attendre d'une approche multi-modèle semi-distribuée pour la prévision des crues ? Évaluation sur le bassin du Rhône.

N°20

Cyril Thébault ^{a*}, Charles Perrin ^a, Vazken Andréassian ^a, Guillaume Thirel ^a, Sébastien Legrand ^b

^a Université Paris-Saclay, INRAE, UR HYCAR, Antony, France ; ^b Compagnie nationale du Rhône, Lyon, France

* Correspondance : cyril.thebault@inrae.fr



Que peut-on attendre d'une approche multi-modèle semi-distribuée pour la prévision des crues ? Évaluation sur le bassin du Rhône.

Cyril Thébault ^{a*}, Charles Perrin ^a, Vazken Andréassian ^a, Guillaume Thirel ^a, Sébastien Legrand ^b

^a Université Paris-Saclay, INRAE, UR HYCAR, Antony, France ; ^b Compagnie nationale du Rhône, Lyon, France

* Correspondance : cyril.thebault@inrae.fr

Introduction

- Pourquoi améliorer la prévision des crues ?
- Difficultés à anticiper ce phénomène ayant des impacts socio-économiques majeurs
- Comment améliorer la prévision des crues ?
- Amélioration des modélisations hydrologiques
- Mieux quantifier les incertitudes liées à la prévision

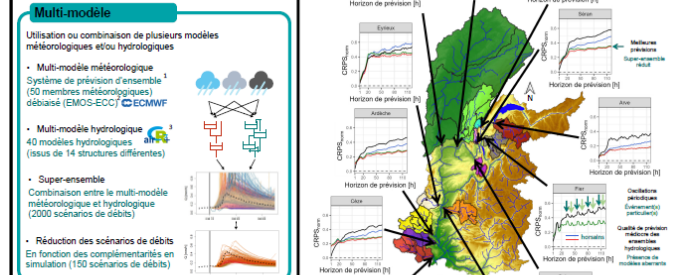
➔ Test d'une approche de modélisation multi-modèle semi-distribuée pour la prévision des débits

Prévision hydrologique

- Traduction des observations et des prévisions météorologiques en estimations des débits futurs des rivières
- Horizon de prévision (H) 1 à 150 heures
- Instant de prévision (t) 1 fois par jour (à minuit) de 2009 à 2018
- Mise à jour des sorties
- Correction par report de l'erreur à l'instant de prévision

Résultats sur le bassin du Rhône

- Évaluation à horizon fixe avec le score probabiliste CRPS¹ normalisé par le débit moyen
- Un score de 0 correspond à une prévision « parfaite »
- Comparaison de différentes approches multi-modèles dans un cadre semi-distribué
- L'approche globale (le bassin est considéré comme une unique entité) déterministe (une prévision unique et un seul modèle) servira de référence



Multi-modèle

- Utilisation ou combinaison de plusieurs modèles météorologiques et/ou hydrologiques
- Multi-modèle météorologique
- Système de prévision d'ensemble¹ (50 membres météorologiques) déclassé (EMOS-ECC) ECMWF
- Multi-modèle hydrologique
- 40 modèles hydrologiques (issus de 14 structures différentes)
- Super-ensemble
- Combinaison entre le multi-modèle météorologique et hydrologique (2000 scénarios de débits)
- Réduction des scénarios de débits
- En fonction des complémentarités en simulation (150 scénarios de débits)

Semi-distribution

- Discretisation spatiale d'un bassin en plusieurs sous-bassins.
- Approche multi-modèle appliquée à chaque sous-bassin
- Chaque sous-bassin a ses propres forçages climatiques et son propre modèle (structure et paramètres)

Conclusion

Apports (😊)

- Propagation de l'incertitude avec le super-ensemble
- Tant météorologique que hydrologique
- Amélioration de la qualité prédictive
- Notamment pour les horizons les plus lointains

Limites (😞)

- Interactions entre les mises à jour des différents sous-bassins
- Sur-corrrections à l'aval
- Temps de calculs importants
- Utilisation d'un cluster de calcul

Bibliographie

Waller, F., Bates, B., Perrin, C., & Thiébaud, T. (2016). The ECHAM5 ensemble Prediction System: Methodology and validation. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 142(704), 1711-1724. <https://doi.org/10.1002/qj.2897>

Thiébaud, T. (2010). *Méthodes hydrologiques probabilistes dans un cadre multi-modèle*. *Qualité de la prévision des crues et des inondations*. Université Grenoble Alpes (CNRS). <https://theses.hal.science/tel-00513203>

Correia, L., Barros, C., Delgado, G., & Pizarro, G. (2013). *Multi-Model Hydrologic Forecasting in the Amazon*. *Water Resources Research*, 49(12), W12401. <https://doi.org/10.1029/2012WR016401>

Correia, L., Barros, C., & Pizarro, G. (2014). A Simple System for Probability Forecasts of Floods. *Journal of Applied Hydrology*, 53(1), 1-10. <https://doi.org/10.1111/jah.12101>

Faouzi, T., Bourgin, F., Perrin, C., Remot, M., & Andréassian, V. (2015). *Multi-Model Hydrologic Forecasting: The evaluation of ensemble and probabilistic ensemble forecasting*. *Hydrology*, 4(2), 181-191. <https://doi.org/10.3390/hydro4020181>

Remerciements

Financement : CNR INRAE

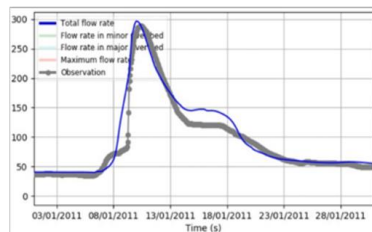
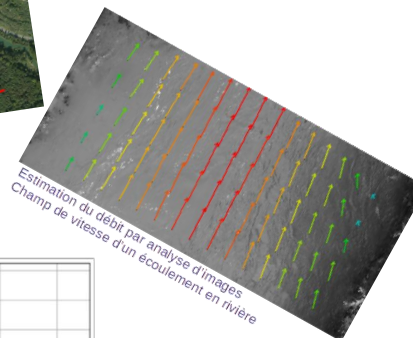
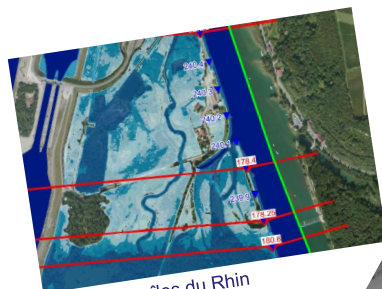
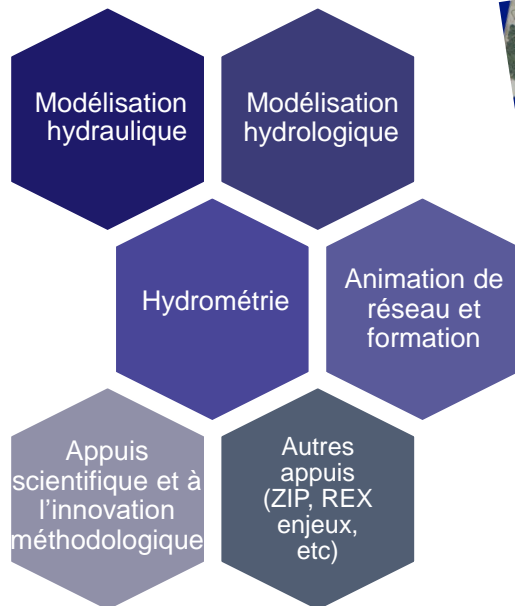
Données : CNRS INRAE



APPUI DU CEREMA AUX SERVICES DE PREVISION DES CRUES, D'HYDROMETRIE ET MISSIONS RDI

Le Cerema intervient depuis 2007 dans le cadre du GASP-RDI*

Axes d'intervention



Résultat d'un modèle 1D de prévision des crues sur l'Oise

Bilan et Perspectives

Développement du réseau étroitement lié à celui de la prévision des crues et des inondations

- ⇒ Pour s'adapter aux besoins des SPC-UH et RDI
- ⇒ Culture commune
- ⇒ Partage des bonnes pratiques

- ⇒ Nouvelle thématique: le ruissellement
- ⇒ Couverture totale du réseau Vigicrues



Venez voir le poster N° 27 pour en savoir plus !!
et nous rencontrer !!



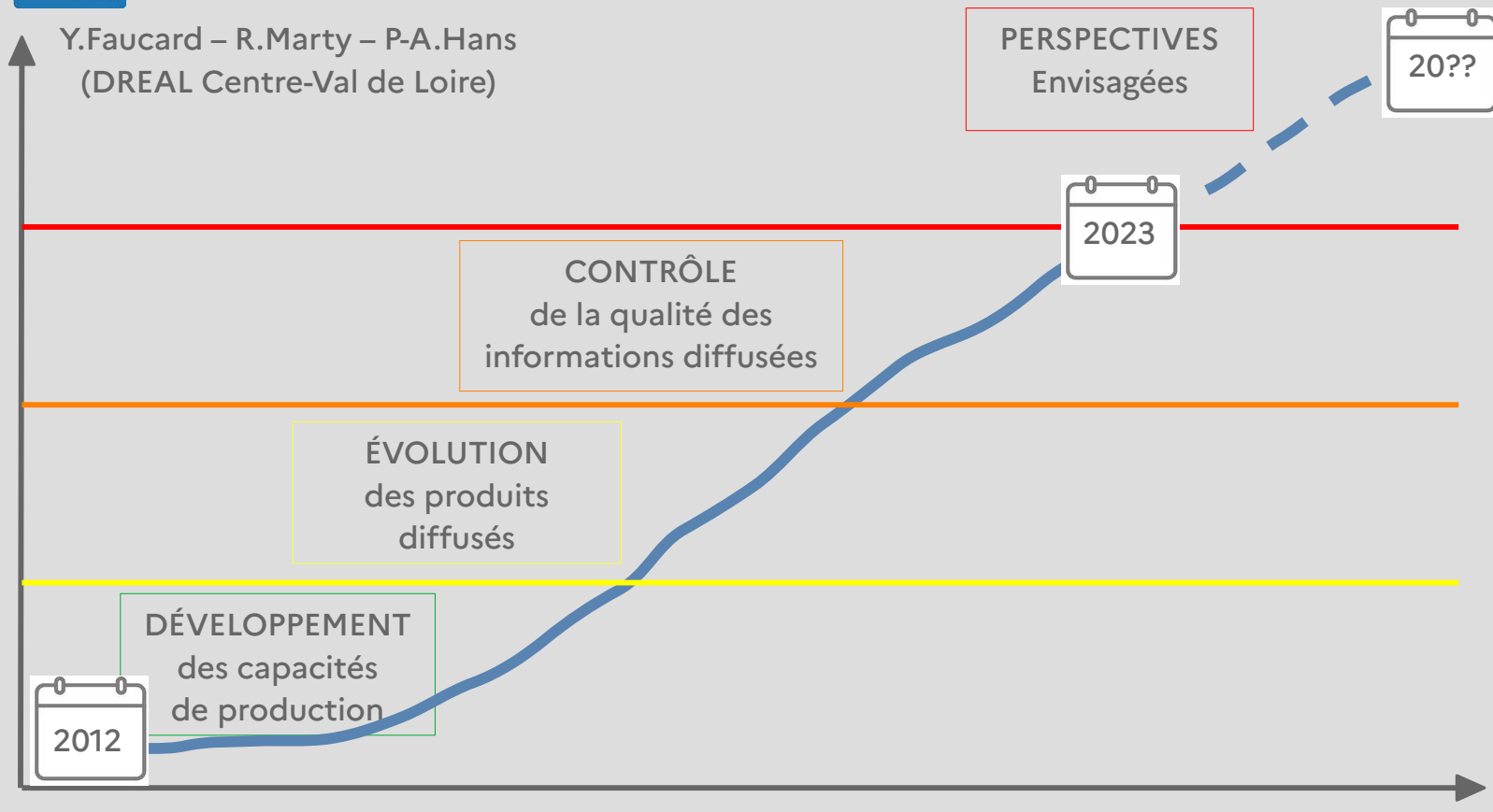


VIGICRUES

Service d'information sur le risque de crues
des principaux cours d'eau en France

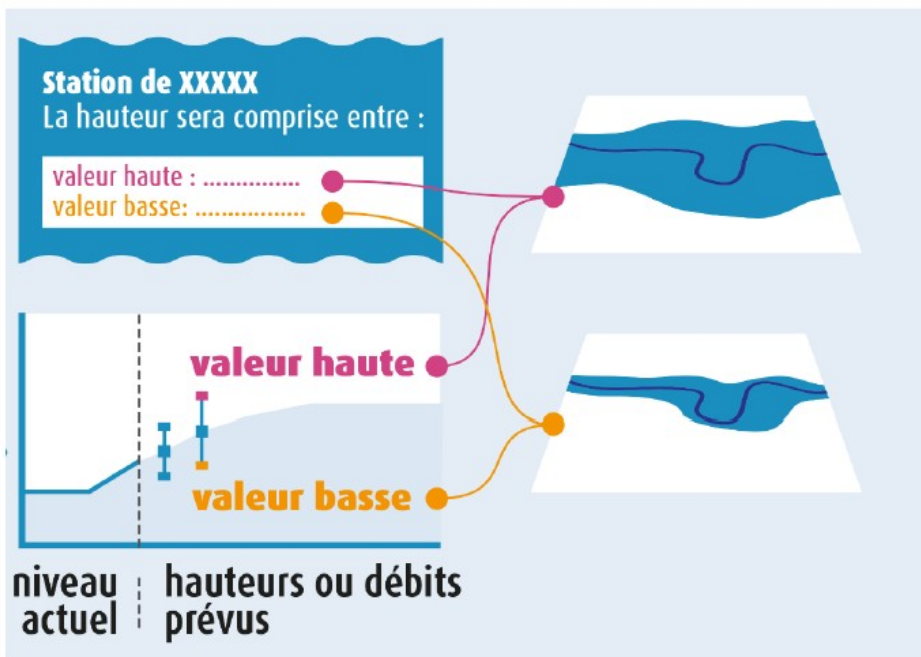
Production et mise à disposition d'informations sur les crues : Focus sur une décennie de développements au service de prévision des crues Loire-Allier-Cher-Indre (SPC LACI)

Y.Faucard – R.Marty – P-A.Hans
(DREAL Centre-Val de Loire)



Poster « Principales avancées du réseau Vigicrues depuis sa création dans le domaine de la Prévision des Inondations »

Félicien ZUBER, Mathias DAUBAS, Aurélie ESCUDIER, Anne-Marie FROMENTAL, Pierre-Adrien HANS



Principales avancées du réseau Vigicrues depuis sa création dans le domaine de la Prévision des Inondations

Félicien ZUBER¹, Mathias DAUBAS², Aurélie ESCUDIER³, Anne-Marie FROMENTAL⁴, Pierre-Adrien HANS⁵
¹Service Central d'Hydrologie et de Prévision de Crues de la Direction Nationale des Ressources Hydriques, 2008 des Champs-Élysées, 75008 Paris, France
²Service Central d'Hydrologie et de Prévision de Crues de la Direction Nationale des Ressources Hydriques, 2008 des Champs-Élysées, 75008 Paris, France
³Service Central d'Hydrologie et de Prévision de Crues de la Direction Nationale des Ressources Hydriques, 2008 des Champs-Élysées, 75008 Paris, France
⁴Service Central d'Hydrologie et de Prévision de Crues de la Direction Nationale des Ressources Hydriques, 2008 des Champs-Élysées, 75008 Paris, France
⁵Service Central d'Hydrologie et de Prévision de Crues de la Direction Nationale des Ressources Hydriques, 2008 des Champs-Élysées, 75008 Paris, France

Contexte et objectif de la prévision des inondations

La prévision de hauteurs d'eau ou de débits à une station hydrométrique permet effectivement d'anticiper les conséquences concrètes d'une crue sur le terrain. Le réseau Vigicrues mis en œuvre depuis 2008 est le travail autour de la « prévision des inondations » pour venir compléter ces prévisions quantitatives par une traduction en termes de zones géographiques inondées.
Objectif du poster : présenter les principales réalisations du réseau Vigicrues dans le domaine de la prévision des inondations et acquies des perspectives.

Bilan des réalisations

Collecte d'informations sur les Inondations

- Des données précieuses pour valider les modèles de prévision des zones inondées.
- Mais la mise de ces données physiques nécessite par une méthode automatisée :
 - par des partenariats avec les services régionaux de prévision
 - par des prestataires
 - et enfin
 - et capitalisés dans un référentiel collaboratif, le site et la base de données dédiés de crues (CDB)
- Mais la mise de ces données en œuvre de nos jours nécessite un traitement complexe par des :
 - services informatiques automatisés
 - données géométriques
 - matérielles (supplémentaires)

Production des zones d'inondation

- Mise en œuvre de prévisions automatisées de production de zones inondées :
 - équation de crues de crues
 - en ligne des zones de crues
 - équation de modèles hydrologiques
 - de 2D
- Développement d'outils pour faciliter cette production :
 - depuis 2010 (2010)
 - Mise à jour des données
 - Mise à jour des données
 - Mise à jour des données
- Mise à jour des données :
 - Mise à jour des données
 - Mise à jour des données
 - Mise à jour des données

Standardisation du format des données

- Mise en place d'un référentiel national de zones inondées (ZNI) :
 - équation de crues de crues
 - équation de crues de crues
 - équation de crues de crues
- Mise à jour des données :
 - Mise à jour des données
 - Mise à jour des données
 - Mise à jour des données

Diffusion des données

- Mise à jour des données :
 - Mise à jour des données
 - Mise à jour des données
 - Mise à jour des données
- Mise à jour des données :
 - Mise à jour des données
 - Mise à jour des données
 - Mise à jour des données

La formation

Des formations à destination des agents en charge de la maintenance :
 • de 2015 à 2019
 • de 2020 à 2022
 • de 2023 à 2024

Perspectives

- Prévoir la production de données de zones inondées, dans le cadre de projets de mise à jour des données de zones inondées, dans le cadre de projets de mise à jour des données de zones inondées, dans le cadre de projets de mise à jour des données de zones inondées.
- Prévoir la production de données de zones inondées, dans le cadre de projets de mise à jour des données de zones inondées, dans le cadre de projets de mise à jour des données de zones inondées, dans le cadre de projets de mise à jour des données de zones inondées.
- Prévoir la production de données de zones inondées, dans le cadre de projets de mise à jour des données de zones inondées, dans le cadre de projets de mise à jour des données de zones inondées, dans le cadre de projets de mise à jour des données de zones inondées.

AMÉLIORATION DE LA PRÉVISION DES CRUES GRACE AU COUPLAGE DE MODELES HYDROLOGIQUES GRP

Kherrou S., Devers A., Caillouet L., Vannier O. et Dommanget E. Compagnie Nationale du Rhône (CNR), Lyon, France

Contexte :

- CNR a besoin de prévoir les débits du Rhône et de ses affluents,
- Calage de modèles GRP avec différentes fonctions objectifs (Q , \sqrt{Q} et Q^2), puis pondération des résultats pour créer des multimodèles,
- Calage sur la période 2012-2018 et validation sur la période 2019-2020.

Objectif : de meilleures prévisions de débit en toutes situations

- Besoin de performance à la fois en période énergétique (débit moyen) et en crue (forts débits).

Résultats

- Les simulations issues du calage sur Q^2 et de la pondération des simulations calées sur \sqrt{Q} et Q^2 (multimodèle) présentent les meilleures performances (Figure 1, et scores de performance sur 2019-2020),
- Parmi ces deux simulations, le multimodèle (\sqrt{Q} et Q^2) sera préféré car il simule aussi bien les crues que les débits moyens,
- Le multimodèle (\sqrt{Q} et Q^2) est meilleur que le modèle calé sur Q pour 72% des affluents..

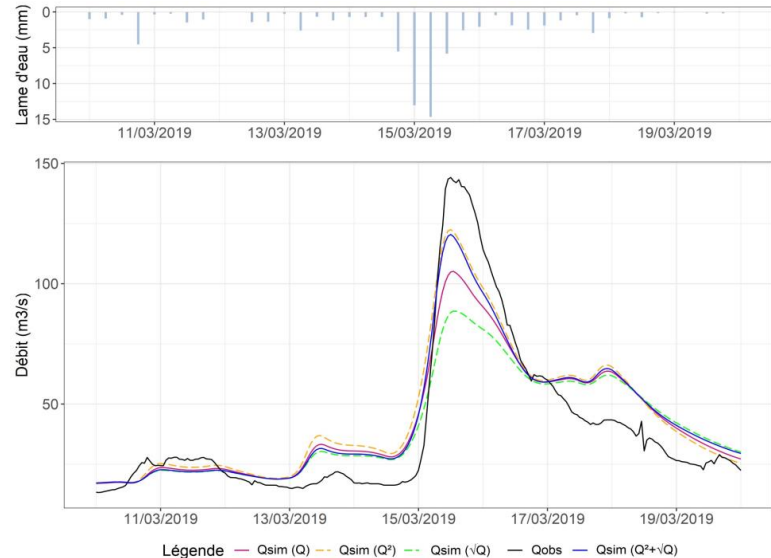


Figure 1 : crue de mars 2019 sur le bassin du Guiers à Belmont

Retour sur vingt ans de recherches partenariales DGPR-INRAE sur la prévision des crues et des inondations

Avancées, valorisation et perspectives



Réseau réglementaire

Hors réseau réglementaire

Connaissance des débits

Création du SCHAPI
Démarriage de la convention SCHAPI-INRAE

Première version du modèle hydrologique GRP (2003)

Premières cartes de vigilance pluie-inondation (2005)

Premier prototype du logiciel GRP (2009)

Première version du module Cemaneige (2011)

Premier groupe utilisateurs GRP (2013)

Première version de la méthode OTAMIN (2015)

Logiciel GRP multi-pas de temps (2018)

Développement du modèle GRP pour pluies intenses (2019)

Développement du modèle GRP semi-distribué (2021)

Début des développements de la méthode AIGA de comparaison de débits (2004)

Fin de l'expérimentation Bassins versants numériques expérimentaux (2006)

Développement d'approches de validation sur des bassins non instrumentés (2010)

Ouverture du service d'avertissement APIC Vigicrues Flash pour les collectivités et les services de sécurité civile (2012)

Plateforme SMASH de modélisation distribuée et assimilation de débit pour Vigicrues Flash (2016)

Ouverture du site grand-public APIC-Vigicrues Flash (2020)

Création du Groupe Doppler Hydrométrie (2003)

Parution du guide national sur les jaugeages ADCP (2005)

Sortie du logiciel Fudaa-LSPIV v.1.0 (2009)

Calcul d'incertitude des jaugeages par méthode Q+ dans Barème (2011)

Sortie du logiciel BaRatinAGE v2 (2013)

Calcul d'incertitude ADCP par méthode OURSIN dans QRevInt (2015)

Nouveau site HydroPortail (2017)

Intercomparaison ADCP internationale à Sault-Brénaz (2019)

ans du SCHAPI

Prévisions ponctuelles et régionales des crues fluviales et des crues soudaines avec le modèle de bilan hydrologique LARSIM

1. Présentation du modèle LARSIM

- Le modèle et son domaine d'application
- Structure, données d'entrée et schéma de modélisation

2. Modélisation des crues soudaines

- Approche à l'aide du modèle « RoGeR »

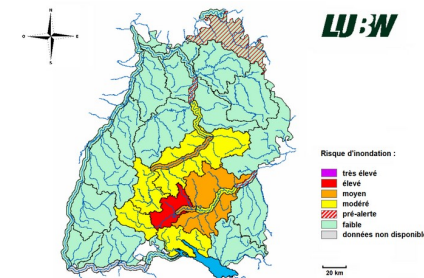
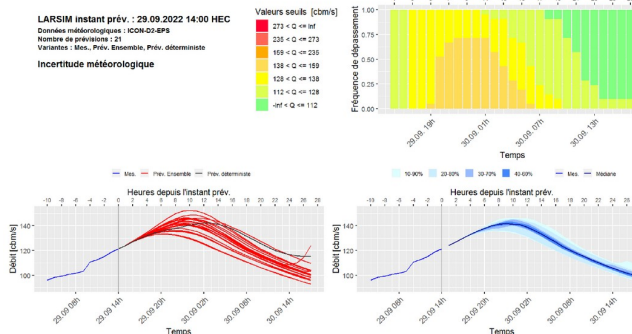
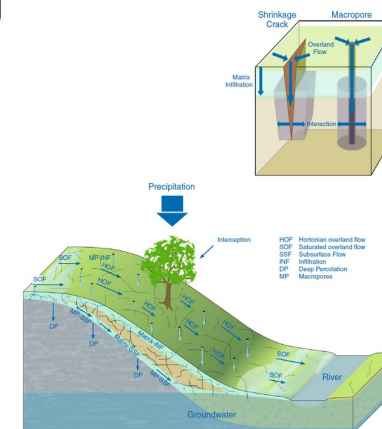
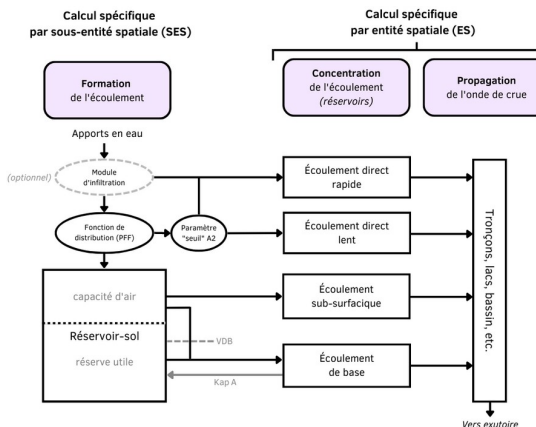
3. Utilisation des prévisions d'ensemble

- Présentation des prévisions météo utilisées

4. Prévisions régionales

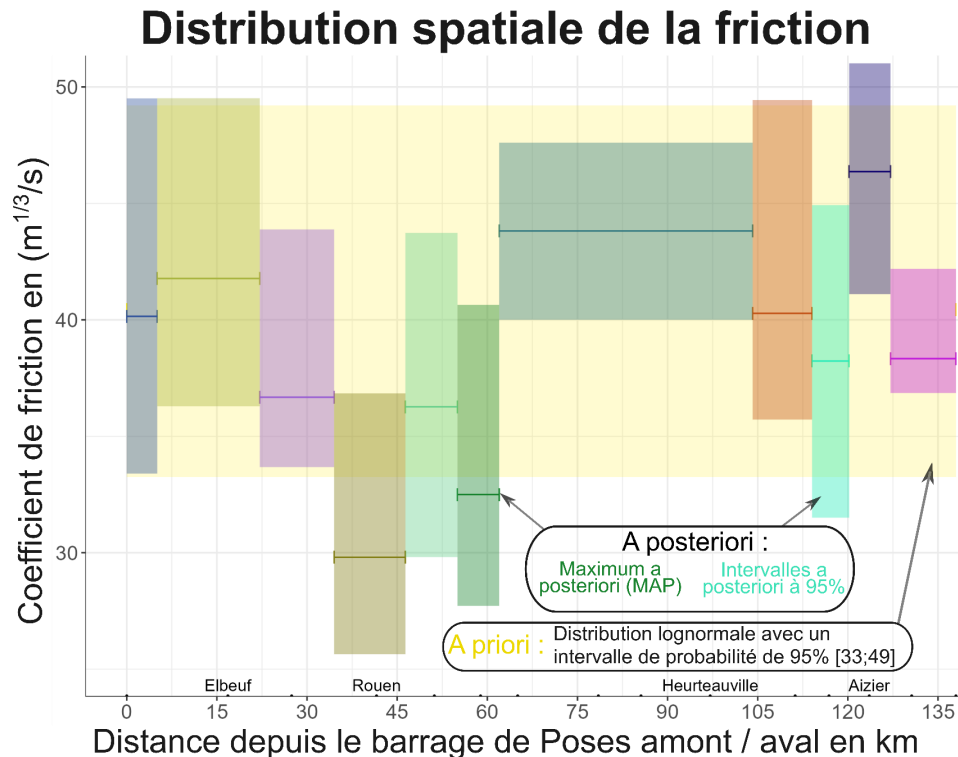
- Présentation de la méthode utilisée

5. Conclusion

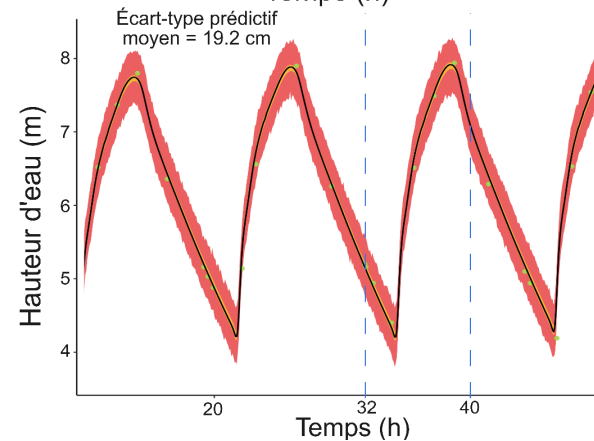
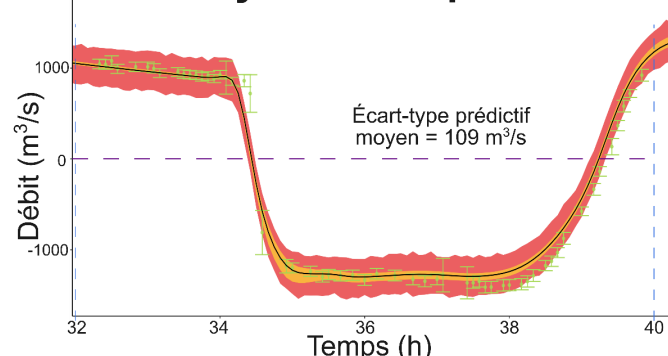


Estimation bayésienne d'un modèle hydrodynamique 1D de rivière influencée par la marée : application à la Seine aval, France

F. Mendez-Rios¹, J. Le Coz¹, B. Renard², T. Terraz¹



Station hydrométrique à Rouen



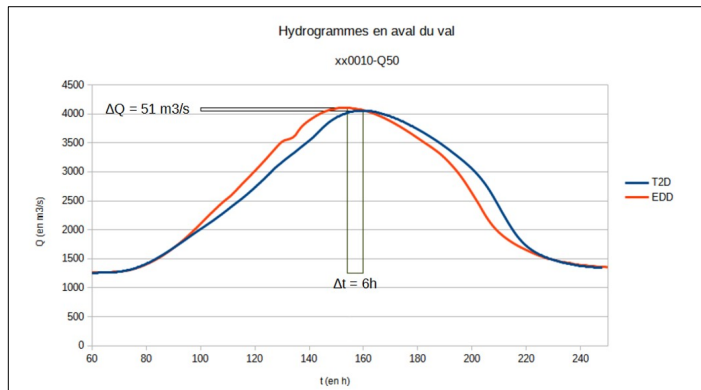
Légende : ● Données de calibration — Simulation ● Données de validation ■ Paramétrique ■ Incertitudes : ■ Totale

29/11/2023

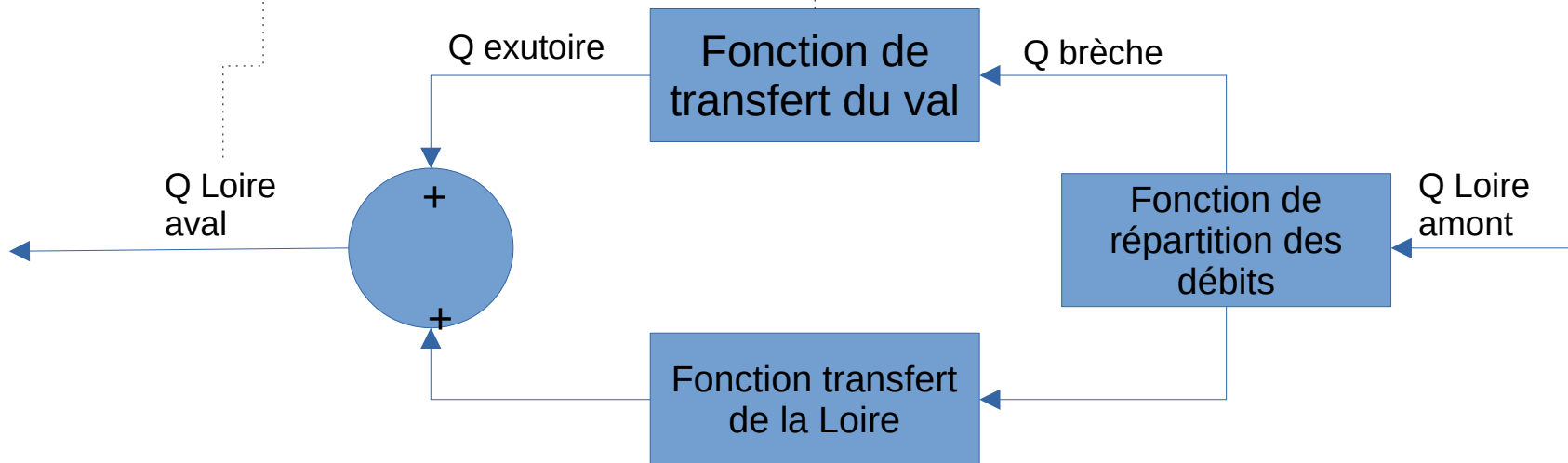


Conférence SHF :
 « Prédiction des crues et des inondations –
 Avancées, valorisation et perspectives »
 28-30 novembre 2023 – Toulouse

Malgré des performances médiocres, un modèle 1D à casier est suffisant pour faire de la prévision de débit en cas de rupture de digue



		EDD	SPC	2D Larges	2D Fins
NNSE	XX1000-Q170	86,90 %	78,68 %	51,94 %	76,22 %
	XX0100-Q170	22,87 %	30,34 %	94,19 %	94,22 %
	XX0010-Q50	73,98 %	70,53 %	73,66 %	59,54 %
	XX0001-Q50	11,30 %	11,16 %	75,12 %	78,38 %
	moyenne	48,76 %	47,68 %	73,73 %	77,09 %



MODÉLISATION HYDRAULIQUE UNI-DIMENSIONNELLE DE LA PROPAGATION DES CRUES SUR LA SAÔNE ET LE DOUBS

Jean-Michel SIGAUD^{1*}, Yann EVAIN¹, Elodie PAYA¹, Anne-Laure TIBERI-WADIER¹, Kevin CORSIEZ¹, Alexis BERNARD¹, Elsa LAGANIER², Patrice DEVILLERS²

- Un modèle hydraulique pour la prévision des crues de la Saône et du Doubs
- Des enjeux forts pour le SPC Rhône amont Saône en terme d'exploitation opérationnelle
- Un linéaire ambitieux et de nombreux défis techniques relevés



Figure 1 : inondation de Mars 2001 de la Saône à Trévoux (source : DDTdel'Ain)

Le modèle en quelques chiffres :

- **800** km modélisés sur la Saône et le Doubs
- **13** modélisateurs répartis sur 7 sites différents
- **1000** profils en travers bathymétriques
- **48** stations hydrométriques exploitées sur la Saône, le Doubs et leur affluents

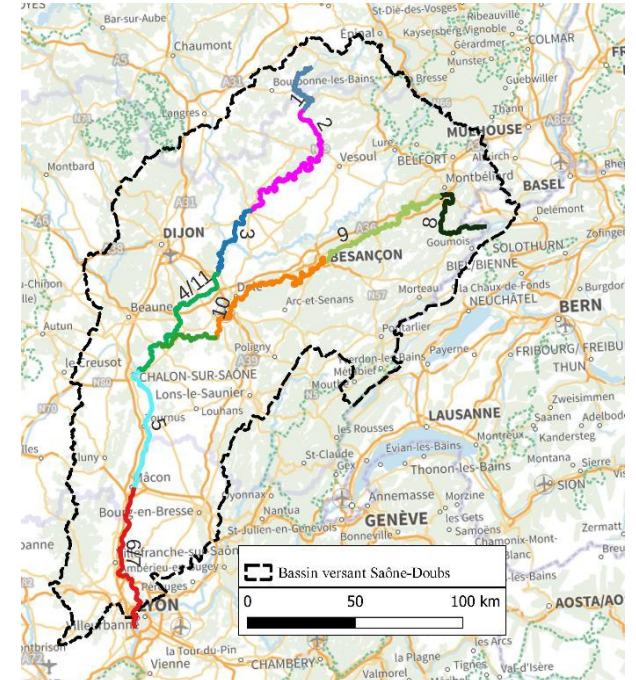


Figure 2 : Représentation cartographique du modèle global, segmenté en 9 sous-modèles délimités par des stations hydrométriques de référence (source : Cerema)

TELEMAC – Hérault aval

Utilisation opérationnelle

Zone d'étude

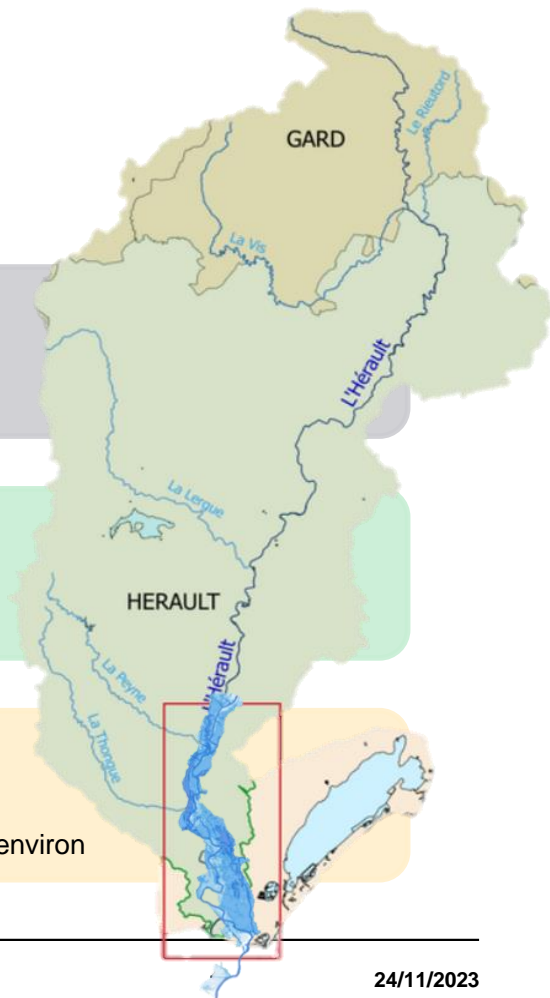
- Bassin versant cévenol
- Zone de propagation en lit mineur + chenaux secondaires
- Ouvrages barrant et latéraux

Calage du modèle

- TELEMAC 2D calé en 2017
- Objectif reproduction propagation
- Maillage adapté à utilisation temps réel
- 8 événements

Modèle opérationnel

- Implantation en POM
- Débits d'entrée observées et simulés
- Analyse des performances et incertitudes
- Simulation de – 6h à +10h toutes les 3 heures en 40 min environ



Implementation of the Chan-Vese distance in an Ensemble Kalman Filter for the assimilation of SAR images as front-type data

Q. Bonassies¹, S. Ricci¹, S. Peña Luque², C. Fatras³, T.H. Nguyen¹, A. Piacentini¹, R. Rodriguez Suquet², A. Andral³

1: CECI, CNRS UMR 5318/CERFACS; 2: CNES; 3: CLS



Conférence SHF
 « Prédiction des crues et des inondations -
 Avancées, valorisation et perspectives »
 28-30 novembre 2023 – Toulouse

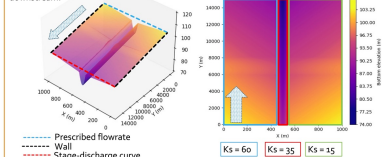
Objectives of the study

The study of flood event and inundation is crucial as it is the most common and devastating natural disasters in the world. The high uncertainty in numerical hydraulic models is a hindrance to their use. Data assimilation (DA) is used to reduce the uncertainty. In this work, the error in the position of the Flood extent is reduced.

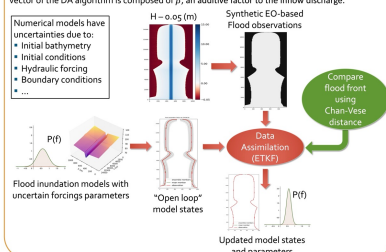
- Develop in Telemac-2D (T2D) code the Chan-Vese distance within an Ensemble Transform Kalman Filter algorithm
- Create a simple T2D toy model
- Test the DA algorithm in an observing system simulation experiments (OSSE) with the T2D model.

Telemac-2D and the Valley test case

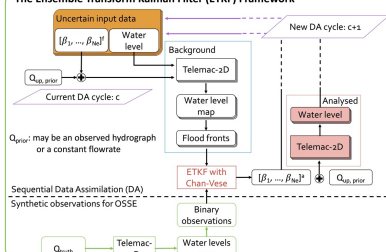
The T2D numerical model represents a straight channel of 5km length and 5km width with two floodplains on each side of the channel. The mesh is composed of about 25,000 nodes. There are three Strickler coefficients, one in the riverbed and two for each floodplain. The model is composed of two liquid boundaries: a prescribed flowrate upstream and a stage-discharge curve downstream.



DA is used to reduce the uncertainties in the numerical models and the observations. An Ensemble Transform Kalman Filter (ETKF) algorithm combined with the Chan-Vese distance is used to compare the observed front-lines as ensemble of simulated front-lines. The control vector of the DA algorithm is composed of β , an additive factor to the inflow discharge.

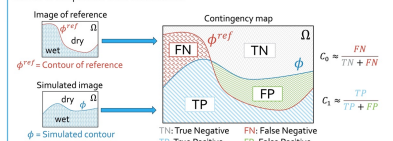


The Ensemble Transform Kalman Filter (ETKF) Framework



The Chan-Vese distance

The Chan-Vese distance is based on contingency maps which defined four areas in the image: False positive, True positive, False negative and False positive. From those areas, two scalars are defined to compute the Chan-Vese distance.



Chan-Vese contour fitting distance is defined as:

$$D(\phi^{ref}, \phi) = D^+(\phi^{ref}, \phi) + D^-(\phi^{ref}, \phi)$$

Where:

$$D^+(\phi^{ref}, \phi) = H(\phi) (\phi^{ref} - Cmax(\phi^{ref}, \phi))$$

$$D^-(\phi^{ref}, \phi) = (1 - H(\phi)) (\phi^{ref} - Cmin(\phi^{ref}, \phi))$$

H is a Heaviside function returning 1 if the pixel is flooded, 0 elsewhere. $Cmax$ and $Cmin$ are respectively the max and min of the scalar C_0 and C_1 .

Analytical metrics

Three metrics are used to analyse the results. The first two moments of the control vector are the first metrics: the mean and standard deviation. The last one is the Chan-Vese functional which compare two images.

β : ensemble mean of β

$$\beta = \frac{1}{60} \sum_{i=1}^60 \beta_i$$

σ : ensemble standard deviation (std) of β

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^60 (\beta_i - \beta)^2}{60}}$$

J : mean Chan-Vese functional (similarity score between two images)

$$J = J^+ + J^-$$

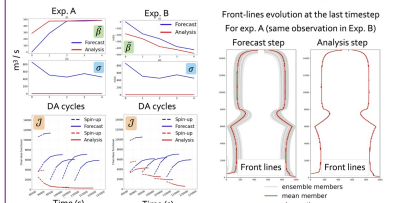
With:

$$J^+(\phi^{ref}, \phi) = \int_{\Omega} H(\phi) (\phi^{ref} - Cmax(\phi^{ref}, \phi))^2 dx dy$$

$$J^-(\phi^{ref}, \phi) = \int_{\Omega} (1 - H(\phi)) (\phi^{ref} - Cmin(\phi^{ref}, \phi))^2 dx dy$$

OSSE settings and results

Ensemble size	Truth setting	Control Vector	a priori settings
60 members	$Q_{in, truth} = 5000 \text{ m}^3/\text{s}$	$x = \beta$ with $\beta \sim \mathcal{N}(0, 7000)$	Exp. A: $Q_{in, prior} = 4500 \text{ m}^3/\text{s}$ Exp. B: $Q_{in, prior} = 5500 \text{ m}^3/\text{s}$



For both experiment, β reaches a value that, added to the prior setting goes to the truth value of the upstream flow. J show similar result, it is reducing with the simulation.

After the analysis steps, σ is reduced to zero. This mean that the ensemble collapse to one value.

The front-lines evolutions is conforming with β and J evolutions.

Perspectives on Chan Vese-ETKF work

- New experiment with an observation created with a different topography.
- Add spatial control vector;
- Test with a more realistic synthetic SAR observation;
- Test on the Garonne catchment model on 2019/2021 flood events.

By L. Pujol, P.-A. Garambois, S. Chen and J. Monnier

Context : Wealth of information from global databases

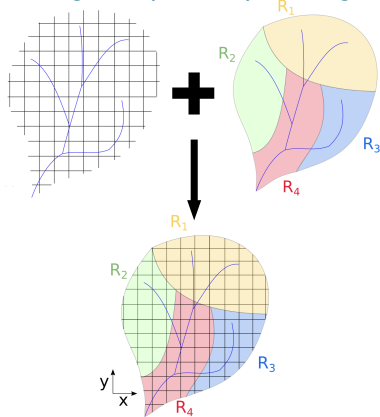
- High resolution rain data products (in space and time)
- Global estimates of soil occupation, soil composition, soil moisture
- Global DEM and local high resolution LiDar data

=> an opportunity to model **fine-scale, accurate flood genesis** phenomena with **distributed parameters and states** over **large scale catchments at high-resolution**

Regionalization operator for distributed infiltration parameters

- Pedotransfer functions used to estimate parameters
- Pedotransfer coefficients regionalized and inferred

Pedologic maps A priori regions



Regionalized inverse problem

Tools : the DassHydro toolchain

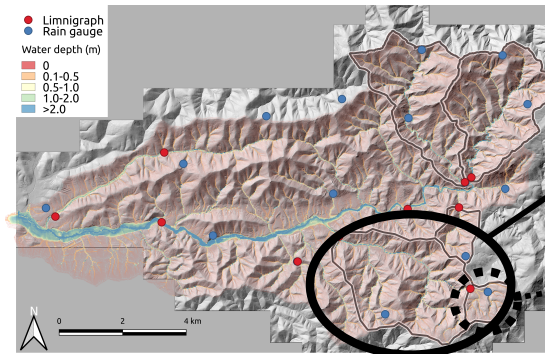
- DassFlow2D : highly parallel hydraulic model with full SWE, FV scheme, **newly implemented infiltration source terms** (Green-Ampt and SCS-CN).
- **Variational Data Assimilation (VDA)**, based on adjoint model obtained through automatic differentiation of the source code, **suited to solved high-dimensional inverse problems**

DassHydro website :

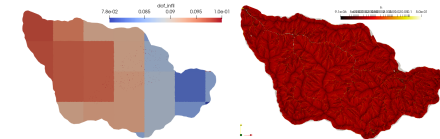
<https://www.math.univ-toulouse.fr/DassFlow/index.html>

Modeling a real large scale catchment : Réal-Collobrier

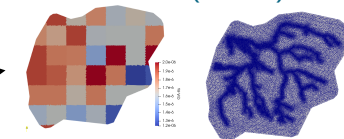
- Well-observed case with fine ANTILOPE J+1 rain, soil maps, in situ stations and hydrological states estimates
- **Inferences of regionalized distributed parameters**



Malière (11km²)



Rimbaud (>1km²)



Multi-gauge Hydrological Variational Data Assimilation: Regionalization Learning with Spatial Gradients using Multilayer Perceptron and Bayesian-Guided Multivariate Regression

Ngo Nghi Truyen Huynh¹, Pierre-André Garambois¹, François Colleoni¹, Benjamin Renard¹, Hélène Roux²

¹INRAE, Aix-Marseille Université, RECOVER, 3275 Route Cézanne, 13182 Aix-en-Provence, France

²Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse (IMFT), Université de Toulouse, CNRS, 31400 Toulouse, France

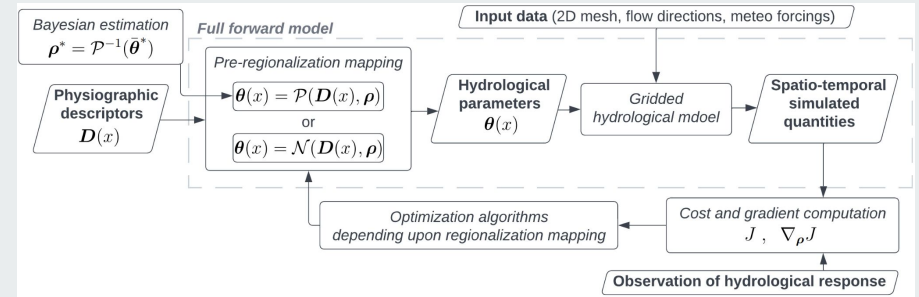


Presentation outline:

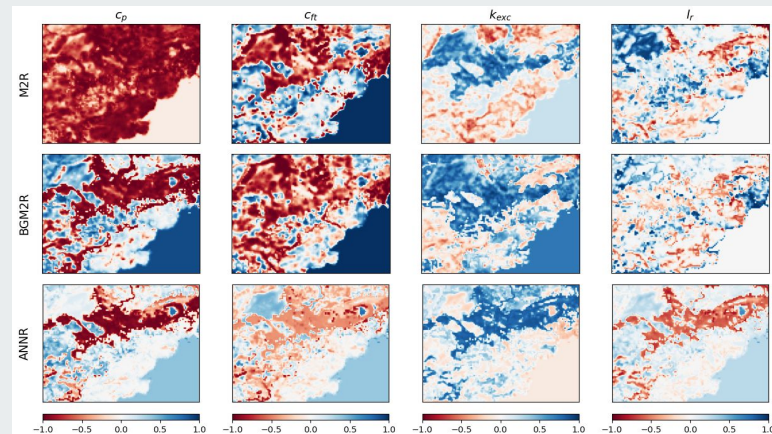
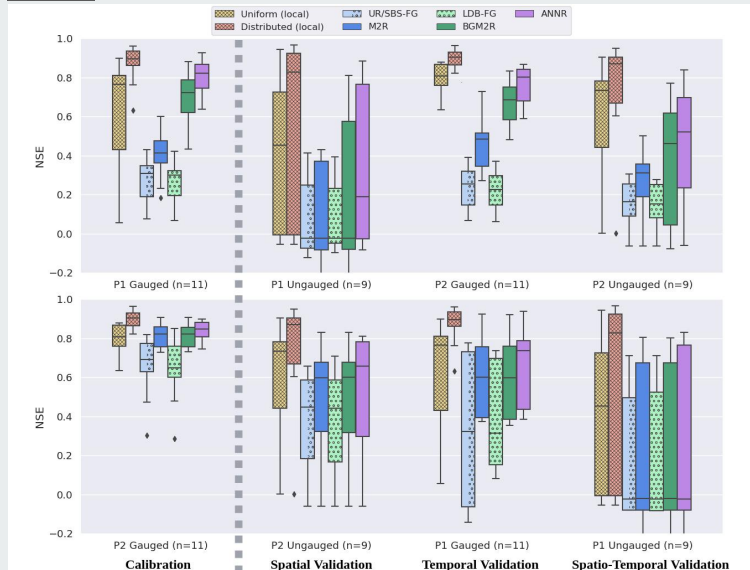
- New approaches for learning spatially distributed parameters of a differentiable hydrological model: descriptor to parameters operators, Bayesian like estimator for first guess in equifinality context
- Study equifinality within a high-dimensional optimization framework adapted to distributed models
- Application of the method in a multi-gauge calibration setup on flash flood prone area with complex hydrological responses
- Perspectives on uncertainty quantification and correction, learnable hydrological operators, both in the structural modeling and the content of the data

Méthode:

- Parameter regionalization within differentiable distributed hydrological model using adjoint-based gradient and high dimensional optimization algorithms
- Learnable regional mappings based on: (i) multilayer perceptron (ANNR) and (ii) Bayesian-guided multivariate regression (BGM2R)
- Combination of numerical adjoint model and neural network Jacobian, enabling high-dimensional spatialized optimization
- Combination of Bayesian-like estimator and VDA algorithms in the context of "resulting parametric equifinality" when dealing with spatialized controls and high-dimensional optimization problems
- Multi-gauge calibration cost function accounting for information from multiple observation sites



Résultats:



Travaux en cours et perspectives:

- Continuer les travaux sur les neural ODEs : intégrer les réseaux neurones dans le modèle direct
- Améliorer/R egionaliser le modèle LSTM pour la correction d'incertitudes du modèle hydrologique



Colloque SHF "Prévision des crues et des inondations – Avancées, valorisation et perspectives" Toulouse, 28-30 novembre 2023