

## Proposition de stage de fin d'études, niveau M2 : Modélisation avancée du ruissellement de surface dans un modèle hydrologique

---

### Contexte

La proximité de la mer Méditerranée et les reliefs prononcés l'entourant favorisent et accentuent les phénomènes météorologiques à l'origine de pluies intenses et abondantes. Le risque de crue peut devenir élevé lorsque les sols sont humides et les taux de précipitation importants, comme sur plusieurs bassins versants de l'arc méditerranéen français et des contreforts pyrénéens ayant récemment subi des crues dévastatrices (Fig.1).

L'enchaînement et la contribution des différents processus hydrologiques à l'origine des crues rapides sont encore mal connus. Une meilleure compréhension de ces processus est une étape primordiale afin d'être en mesure d'améliorer la prévision, en permettant d'anticiper au maximum le niveau d'eau et le débit d'un cours d'eau, de prévoir les débordements et les inondations et d'informer les autorités et la population. Vigicrues diffuse la vigilance crues, des observations hydrométriques sur les stations du réseau surveillé ainsi que des prévisions chiffrées sur plusieurs d'entre elles. Depuis 2017, le service Vigicrues Flash transmet automatiquement aux autorités locales (maires et préfets) des informations sur certaines têtes de bassin en cas de pluies intenses et soudaines. Afin d'élaborer ces prévisions expertisées, les prévisionnistes s'appuient sur différents outils d'aide à la décision et des modèles pour la prévision des crues.



FIGURE 1 – Solliès-Pont, barrage du Capelan, le 21 novembre 2019 à 12 h 05. Source : <https://ecomuseegapeau.org/les-coleres-du-gapeau/>.

Le modèle hydrologique conceptuel spatialement distribué de la plateforme SMASH<sup>1</sup> développée à INRAE, et récemment améliorée avec des fonctionnalités d'assimilation de données variationnelles, est à la base de ce nouveau système national d'alerte automatique Vigicrues Flash, spécialement dédié aux petits cours d'eau non jaugés et mis en place par le SCHAPI et INRAE.

La plateforme distribuée SMASH est une plateforme modulaire de modélisation hydrologique Colleoni et al. (2022, 2023); Jay-Allemand et al. (2022, 2020). Sur chaque cellule d'un maillage régulier couvrant la zone d'étude, le modèle comporte différents composants hydrologiques telles que les modules de neige, l'interception de surface, l'infiltration, le ruissellement de surface... Différents modèles de ruissellement ou routage sont mis en œuvre via un schéma numérique maille à maille.

L'objectif de ce stage est de développer de nouveaux modèles de routage dans la plateforme hydrologique SMASH, notamment pour mieux prendre en compte les écoulements en rivière.

### Description du travail

Le travail visera à développer des modèles de ruissellement permettant de simuler l'hydrodynamique des écoulements avec divers degrés de simplifications dans le modèle hydrologique SMASH. La base

---

1. SMASH : Spatially-distributed Modelling and ASSimilation for Hydrology

théorique de la propagation des crues a été proposée par [Barré de Saint-Venant \(1871\)](#). Dans ce modèle, différentes simplifications de l'équation de la dynamique peuvent être acceptables en hydrologie, en fonction du site d'étude, en négligeant par exemple les termes d'inertie (onde diffusante) ou en ne considérant que les forces de gravité et le frottement (onde cinématique) ([de Almeida et al., 2012](#)).

Au cours du stage, les points suivants seront examinés :

1. Se familiariser avec les modèles possibles, les hypothèses sous-jacentes, les points forts et les limitations,
2. Développer le ou les modèles de routage pertinents dans le contexte précédemment décrits (onde cinématique, onde diffusante, ...) dans le schéma numérique maille à maille de la plateforme SMASH (code en FORTRAN),
3. Ajouter une représentation schématique du réseau de drainage dans ces modèles de routage pour prendre en compte l'écoulement en rivière (code en python). La paramétrisation de cette représentation sera également à définir.
4. Selon l'avancement, étudier l'estimation de paramètres spatialisés du modèle de routage développé, à l'aide des algorithmes d'optimisation et d'assimilation de données disponibles ([Huynh et al., 2023](#)).

## Profil souhaité

Étudiant de Master 2 ou dernière année d'école d'ingénieurs ayant de bonnes connaissances en hydraulique. Compétences en programmation (FORTRAN et python) nécessaires. Notions d'hydrologie et systèmes d'informations géographiques (QGIS) utiles.

## Responsables de stage

Pierre-André Garambois (Chargé de recherche INRAE/RECOVER), pierre-andre.garambois@inrae.fr  
Hélène Roux (Professeur Toulouse INP/IMFT), Helene.Roux@imft.fr

**Lieu du stage :** IMFT, Allée du Professeur Camille Soula, 31400 Toulouse.

**Durée :** 6 mois au premier semestre 2024

**Gratification :** environ 600 €/mois

## Références

- A. J. C. Barré de Saint-Venant. Théorie du mouvement non permanent des eaux, avec application aux crues des rivières et à l'introduction de marées dans leurs lits. *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, 73 :147–154 ; 237–240, 1871.
- F. Colleoni, P.-A. Garambois, P. Javelle, and P. Arnaud. Adjoint-based spatially distributed calibration of a grid gr-based parsimonious hydrological model over 312 french catchments with smash platform. *EGUsphere [preprint]*, 2022. URL <https://doi.org/10.5194/egusphere-2022-506>.
- F. Colleoni, N. N. T. Huynh, P.-A. Garambois, M. Jay-Allemand, and L. Villenave. Smash documentation, 2023. URL <https://smash.recover.inrae.fr>. Version : 0.4.2, Release date : 2023-05-23.
- G. A. M. de Almeida, P. Bates, J. E. Freer, and M. Souvignet. Improving the stability of a simple formulation of the shallow water equations for 2-d flood modeling. *Water Resources Research*, 48 (5), 2012. doi : <https://doi.org/10.1029/2011WR011570>. URL <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/2011WR011570>.

- N. N. T. Huynh, P.-A. Garambois, F. Colleoni, B. Renard, H. Roux, J. Demargne, M. Jay-Allemand, and P. Javelle. Learning Pre-Regionalization of a Differentiable High-Resolution Hydrological Model with Spatial Gradients. *Water Resources Research*, (In preparation), June 2023. URL <https://hal.inrae.fr/hal-04145059>.
- M. Jay-Allemand, P. Javelle, I. Gejadze, P. Arnaud, P.-O. Malaterre, J.-A. Fine, and D. Organde. On the potential of variational calibration for a fully distributed hydrological model : application on a mediterranean catchment. *Hydrology and Earth System Sciences*, 24(11) :5519–5538, 2020.
- M. Jay-Allemand, F. Colleoni, P.-A. Garambois, P. Javelle, and D. Julie. Smash - spatially distributed modelling and assimilation for hydrology : Python wrapping towards enhanced research-to-operations transfer. *IAHS*, 2022. URL <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03683657>.