

Proposition de stage 2025
Master II ou dernière année d'école ingénieur en hydrologie / hydrogéologie

Influence des zones karstiques sur la modélisation des crues – analyse du comportement d'un modèle Pluie-Débit à l'échelle du bassin versant et propositions d'amélioration

Contexte

INRAE a développé des modèles hydrologiques conceptuels (GR) avec le souci de les rendre génériques, c'est à dire applicables à des bassins versants aux caractéristiques variées (Perrin et al. 2003). La démarche générale de développement de ces modèles a consisté à rechercher des structures aussi performantes que possible sur des grands échantillons de bassins versants. Les modèles ainsi mis au point ont montré leur intérêt pour de nombreuses applications de recherche ou de gestion opérationnelle.

L'équipe Risques hydrométéorologiques de l'UMR RECOVER a développé des modèles hydrologiques de surface de type GR selon une approche distribuée et à pas de temps horaire et infra-horaire avec comme objectif leur mise en œuvre en tout point du réseau hydrographique. Ces modèles sont intégrés dans la plateforme SMASH de modélisation hydrologique et d'assimilation de débits développée dans l'équipe (<https://smash.recover.inrae.fr/index.html>). Le Service central d'hydrométéorologie et de prévision des crues (Schapi) met en œuvre une version de SMASH dans le dispositif temps réel Vigicrues Flash dédié à l'anticipation des crues sur les petits bassins versants non instrumentés (Piotte et al. 2020).

La contribution des eaux souterraines aux crues sur les bassins à composantes karstiques est une des causes de comportement hydrologique atypique, difficile à simuler et à prédire. Sur les zones karstiques - caractérisés par des roches perméables facilitant le transfert rapide des eaux souterraines - on observe une faible couverture pédologique et de fortes interactions surface-souterrain (Charlier et al., 2019 ; Le Mesnil et al., 2020). Le fonctionnement de ces zones, influencé par leur degré de karstification, conduit à amplifier ou diminuer l'intensité des crues, cette influence présentant une forte variabilité spatiale et temporelle (Le Mesnil et al., 2021). Mieux modéliser les crues sur ces bassins nécessite donc :

- de réfléchir à l'intégration de nouveaux processus dans la modélisation : i) fonction de production dans la partie superficielle du karst en complément ou en substitution de celle représentant les processus dans les sols, ii) fonction de transfert devant intégrer une complexité des échanges surface-souterrain et des échanges souterrains inter-bassins ;

- un travail sur la régionalisation des paramètres du modèle, pour pouvoir le mettre en œuvre en tout point du territoire, c'est-à-dire en dehors des bassins de calage. Un algorithme de régionalisation hybride, puissant, combinant réseau de neurones et méthode d'assimilation de données, permet la

régionalisation efficace des paramètres conceptuels de SMASH à partir de descripteurs physiques (Huynh et al. 2023a). Un calage régionalisé des paramètres de SMASH sur les Cévennes (Berthaud, 2024) a montré l'intérêt de la prise en compte, dans l'algorithme de calage distribué, d'un indice portant sur le degré de karstification des entités lithologiques, développé par le BRGM (Charlier et al., 2021). Les performances du modèle en validation ont été améliorées.

Objectifs du stage

Le travail proposé dans le cadre de ce stage, de niveau M2, est consacré à l'analyse du comportement de la modélisation SMASH sur les bassins à composantes karstiques, en vue de l'amélioration de l'anticipation des crues.

Les objectifs du stage sont :

- l'établissement d'un diagnostic des sorties du modèle SMASH (critères de performances, paramétrisation) sur la base d'une analyse croisée avec des descripteurs physiographiques dont le degré de karstification des bassins versant,
- des propositions d'améliorations de la structures du modèle en lien avec le fonctionnement spécifique des bassins karstiques.

S'inscrivant dans la continuité du travail mené en 2024 (Berthaud, 2024), le travail demandé cherchera à déterminer si les résultats obtenus sur les bassins versants des Cévennes sont confirmés ou non sur d'autres bassins versants karstiques (Massif du Jura, Normandie, ...). Le diagnostic s'appuiera sur des critères de performance calculés sur les chroniques de débits modélisés et sur différentes signatures hydrologiques dont le calcul est implémenté dans la plateforme SMASH (Huynh et al. 2023b).

Étapes de travail proposées

- recherche bibliographique sur les processus hydrologiques et hydrogéologiques à l'œuvre dans les bassins versants karstiques et les approches de modélisation hydrologiques conceptuelles intégrant le rôle des eaux souterraines,
- calages uniformes et régionalisés de SMASH sur des bassins versants karstiques et non karstiques,
- analyse statistique des résultats des simulations à l'aide de métriques sur les débits modélisés et les signatures hydrologiques,
- test de nouvelles structures du modèle.

Ce travail sera réalisé en collaboration entre le BRGM de Montpellier (hydrogéologie et modélisation hydrologique des bassins karstiques), le Schapi (besoins opérationnels), et l'équipe Risques Hydrométéorologique d'Inrae Aix-en-Provence (modélisation pluie-débit, plateforme SMASH) et donnera lieu à des échanges réguliers entre les différents partenaires.

Profil souhaité

- Master II ou dernière année d'école ingénieur en hydrologie / hydrogéologie
- Compétences : programmation, modélisation dont modélisation pluie-débit, traitement de données spatiales et temporelles, hydrologie, hydrogéologie
- Bonne connaissance des langages de programmation R et python, et des outils SIG (QGIS ou ArcGis)
- Aisance rédactionnelle, curiosité et goût pour la recherche opérationnelle.

Valorisation du stage

Inrae et le BRGM étant des acteurs importants dans le domaine des risques naturels, cette expérience pourra être valorisée aussi bien auprès de bureaux d'études, que dans le domaine de la recherche si une poursuite en thèse est envisagée.

Informations pratiques

Encadrement : Catherine Fouchier, Pierre-André Garambois (INRAE, Aix), Jean-Baptiste Charlier (BRGM, Montpellier), Didier Narbais (Schapi, Toulouse).

Contact : Catherine Fouchier, 04 42 66 99 02, catherine.fouchier@inrae.fr

Gratification de stage : environ 590 €/mois et prise en charge des frais de mission.

Durée du stage : de préférence 6 mois, date de démarrage à convenance le 1^{er} du mois, entre février et avril 2025.

Localisation : le stagiaire sera basé au centre INRAE d'Aix-en-Provence (INRAE, Équipe Risques hydrométéorologiques, Unité mixte de Recherche RECOVER, 3275 Route Cézanne, CS 40061, 13182 Aix en Provence Cedex 5, <https://www6.paca.inrae.fr/recover/>)

Des déplacements ponctuels sont à prévoir au BRGM de Montpellier, et sur le terrain dans le sud et l'est de la France.

Horaires de travail : les horaires de travail sont définis dans la convention de stage et fixés à 35 heures par semaine.

Candidatures : par mail (CV + lettre de motivation + rapports de stages antérieurs)

Références bibliographiques :

Berthaud C. Influence des zones karstiques sur la modélisation hydrologique. Rapport de stage, ENGEES, Inrae, 31 p.

Charlier J-B, Moussa R, David P-Y, Desprats J-F. Quantifying peakflow attenuation/amplification in a karst river using the diffusive wave model with lateral flow. Hydrological Processes. 2019;33:2337–2354. <https://doi.org/10.1002/hyp.13472>

Charlier Jean-Baptiste, Pinson Stéphanie, Caballero Yvan (2021) – Proposition d'indices cartographiques du ruissellement sur bassins karstiques - application à l'arc Méditerranéen. Rapport final V1. BRGM/RP-71748-FR, 54 p.

Huynh Ngo Nghi Truyen, Garambois Pierre-André, Colleoni François, Renard Benjamin, Roux Hélène, Demargne Julie, Javelle Pierre (2023 a). Learning Regionalization within a Differentiable High-Resolution Hydrological Model using Accurate Spatial Cost Gradients. arXiv, 28p. <https://arxiv.org/abs/2308.02040>

Huynh Ngo Nghi Truyen, Garambois Pierre-André, Colleoni François, Javelle Pierre (2023 b). Signatures-and-sensitivity-based multi-criteria variational calibration for distributed hydrological modeling applied to Mediterranean floods. Journal of Hydrology 625 (2023), 17p.

Le Mesnil M., J.-B. Charlier, R. Moussa, Y. Caballero, N. Dörfliger, 2020. Interbasin Groundwater Flow: Characterization, Role of karst areas, Impact on annual water balance and flood processes. Journal of Hydrology, 585: 124583. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124583>

Le Mesnil M., R. Moussa, J.-B. Charlier, Y. Caballero, 2021. Impact of karst areas on runoff generation, lateral flow and interbasin groundwater flow at the storm-event timescale. Hydrology and Earth System Sciences, 25: 1259–1282. <https://doi.org/10.5194/hess-25-1259-2021>

Perrin C., Michel C., Andréassian V. (2003). Improvement of a parsimonious model for streamflow simulation. J. Hydrol., 279 (2003), pp. 275-289, [10.1016/S0022-1694\(03\)00225-7](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(03)00225-7)

Piotte Olivier, Thibaut Montmerle, Catherine Fouchier, Anne Belleudy, Lea Garandeau, Bruno Janet, Céline Jauffret, Julie Demargne & Didier Organde (2020). Les évolutions du service d'avertissement sur les pluies intenses et les crues soudaines en France, La Houille Blanche, 106:6, 75-84, DOI: [10.1051/lhb/2020055](https://doi.org/10.1051/lhb/2020055)