CNRM, UMR 3589

Soutenance de thèse CNRM

lundi 23 novembre 2026 à 15h

DU ROUTAGE CINÉMATIQUE AUX ÉQUATIONS COMPLÈTES DE SAINT-VENANT POUR LA MODÉLISATION HYDROMÉTÉOROLOGIQUE ET CLIMATIQUE : MISE EN OEUVRE SUR LES BASSINS FRANÇAIS

par Emma PERONNET (CNRM/GMME/SURFACE)

en salle Noilhan

Lien visio : https://visio.numerique.gouv.fr/bqk-buru-rsk

Résumé :

L'eau douce, qui ne représente que 3% de l'eau liquide terrestre, est une ressource vitale pour les écosystèmes et les sociétés. 70% de cette ressource est stockée dans les glaciers, 29% dans les aquifères et 1% dans les rivières, lacs et sols superficiels. Sous l'effet des aléas climatiques, les fluctuations rapides de l'eau dans ces réservoirs peuvent entraîner des inondations ou des sécheresses, tandis que le changement climatique en affecte la disponibilité à long terme.

Les modèles hydrologiques à grande échelle, intégrés aux modèles climatiques, sont essentiels pour anticiper ces changements. Les Modèles de Routage en Rivière (RRMs) simulent les écoulements de l'eau dans les rivières jusqu'aux océans, en découpant la surface de la Terre en une grille de grandes mailles (10 à 50 km de côté). Pour des raisons de coût de calcul, ils utilisent souvent l'approximation cinématique des équations de Saint-Venant, négligeant les termes dynamiques. Cette simplification devient inadaptée dans les zones de faibles pentes ou à fine résolution. À l'inverse, les modèles hydrauliques résolvent les équations complètes de Saint-Venant à des résolutions fines (10 m à 1 km) sur des domaines restreints. Les communautés hydrologiques et hydrauliques abordent les mêmes équations avec des objectifs différents, et donc des approches distinctes.

Face aux limites de l'approximation cinématique et à l'augmentation des capacités de calcul, cette thèse explore la faisabilité et la pertinence d'intégrer les équations complètes de Saint-Venant dans les RRMs, malgré leurs contraintes (résolution de 10-50 km, simulations globales et multidécennales). L'objectif est de développer un outil physiquement plus cohérent, tout en restant compatible avec les modèles climatiques globaux.

Dans le RRM CTRIP, deux approches numériques ont été implémentées. La première utilise le schéma de Preissmann et l'algorithme du double balayage, méthode classique en hydraulique mais qui s'est avérée peu robuste pour des simulations longues, notamment avec des mailles à pentes

Pour tout renseignement, contacter Y. Poirier (05 61 07 96 55)
Centre National de Recherches Météorologiques
42, Avenue G. Coriolis - 31057 Toulouse Cedex

raides et en basses eaux. La seconde résout séparément les équations dynamiques et de continuité avec un schéma de Crank-Nicolson et la méthode de Gauss-Seidel. Elle permet des simulations longues à des résolutions variables (1/12° sur la France, kilométrique sur un bassin versant), à condition d'utiliser un pas de temps réduit et un limiteur de débit.
Les résultats montrent que les équations complètes de Saint-Venant améliorent la cohérence physique des hauteurs d'eau et des profils de ligne d'eau, particulièrement dans les zones de pentes plates, où l'influence des niveaux d'eau à l'aval est mieux capturée, d'autant plus à fine résolution où l'approximation cinématique produit des hauteurs d'eau aberrantes, corrigées par la nouvelle approche. Cela ouvre la voie à des couplages plus cohérents avec des schémas d'aquifères et de plaines d'inondation qui sont pilotés par la hauteur d'eau en rivière. En France, où, conformément aux études existantes, l'approximation cinématique reste cohérente au 1/12°, les gains de la nouvelle approche en débits et en hauteurs d'eau restent modestes face aux observations, mais sa flexibilité permet désormais une application mondiale à différentes résolutions.
En démontrant la faisabilité des équations complètes de Saint-Venant dans un RRM, cette thèse fait donc le pont entre les communautés hydrologiques et hydrauliques. L'approche hydraulique semble réalisable dans un RRM, sous réserve d'astuces numériques supplémentaires pour devenir robuste dans certaines conditions (fortes pentes et basses eaux). La nouvelle méthode offre un outil capable de représenter les équations complètes dans chaque bassin du monde, sur des mailles à résolution flexible et en simulations longues, étendant les capacités du RRM CTRIP autant en recherche qu'en opérationnel, bien que des défis d'efficacité calculatoire persistent.

Mots-clés : Modèle de routage en rivière (RRM), Hydraulique, Équations de Saint-Venant, Schéma de Preissmann, Schéma de Crank-Nicolson, Approximation cinématique.

Abstract :
Freshwater, which accounts for only 3% of Earth's liquid water, is a vital resource for ecosystems and societies. 70% of this resource is stored in glaciers, 29% in aquifers, and 1% in rivers, lakes, and surface soils. Under the influence of climate hazards, rapid fluctuations in water within these reservoirs can lead to floods or droughts, while climate change affects its long-term availability.
Large-scale hydrological models, integrated into climate models, are essential for anticipating these changes. Among them, River Routing Models (RRMs) play a key role in simulating surface flows on global grids with coarse resolution (10-50 km). For computational cost reasons, these models often use the kinematic approximation of the Saint-Venant equations, neglecting dynamic terms. However, this simplification can become inadequate if dynamic terms become non-negligible, such as in low-slope areas, and even more so when spatial resolution is refined. In contrast, hydraulic models, which solve the full Saint-Venant equations, operate at fine resolutions (10 m to 1 km) over limited domains. The hydrological and hydraulic communities address the same equations with different objectives and thus distinct approaches.
Given the limitations of the kinematic approximation and the growing computational capabilities, this thesis investigates the feasibility and relevance of incorporating the full Saint-Venant equations into River Routing Models (RRMs), despite their constraints (10–50 km resolutions and multi-decadal global simulations). The goal is to develop a physically more consistent tool while remaining compatible with global climate models.
Two numerical approaches have been implemented in the CTRIP RRM. The first uses the Preissmann scheme and the double sweep algorithm, a classic method in hydraulics. However, it proves to be poorly robust for long simulations in the presence of large cells with steep slopes under low-water conditions. The second approach solves the dynamic and continuity equations separately using a Crank-Nicolson scheme and the iterative Gauss-Seidel method. It allows to complete long simulations, particularly at coarse resolution (1/12° over France, kilometer-scale

Pour tout renseignement, contacter Y. Poirier (05 61 07 96 55)
Centre National de Recherches Météorologiques
42, Avenue G. Coriolis - 31057 Toulouse Cedex

over a watershed), provided a reduced time step and a flow limiter are used. This second approach bridges hydrology and hydraulics by solving the full Saint-Venant equations without using the classic hydraulic resolution.
The results show that modeling the full Saint-Venant equations improves the physical coherence of water heights and water line profiles, particularly in flat slope areas, where the influence of downstream water levels is better captured. This effect becomes even more pronounced when refining the resolution to 1/120°, where the kinematic approximation simulates aberrant water heights, which the new approach corrects. This opens the door to more physically consistent couplings with aquifer and floodplain schemes as they are driven by river water levels. In France, consistently with existing studies, the kinematic approximation remains coherent at 1/12°, and the gains of the new approach in terms of flow and water height remain modest compared to observations. However, its flexibility now allows for worldwide application at different resolutions.
By demonstrating the feasibility of using the full Saint-Venant equations in an RRM, this thesis bridges the hydrological and hydraulic communities. The hydraulic approach seems feasible in an RRM, provided future numerical tricks are used to make it robust under certain conditions (steep slopes and low water levels). The new approach offers a tool capable of representing these full equations in every basin in the world on flexible resolution grids forced into a long simulation. This extends the capabilities of the CTRIP RRM, both in research and operational contexts, although technical challenges (computational efficiency) persist for operational applications.

Key words : River Routing Model (RRM), Hydraulics, Saint-Venant equations, Preissmann scheme, Crank-Nicolson scheme, Kinematic approximation.

Pour tout renseignement, contacter Y. Poirier (05 61 07 96 55)
Centre National de Recherches Météorologiques
42, Avenue G. Coriolis - 31057 Toulouse Cedex