

Résumé

Les inondations font régulièrement des victimes et occasionnent des pertes financières majeures partout dans le monde. Afin d'anticiper au mieux ce phénomène naturel, des systèmes opérationnels de prévision des crues ont été mis en place dans de nombreux pays. Ces systèmes reposent sur des modèles hydrologiques qui transforment des observations et prévisions météorologiques en prévisions de débit dans les rivières. Malgré les nombreuses améliorations apportées aux systèmes de prévision des crues au cours des deux dernières décennies, les prévisions des modèles hydrologiques restent entachées de fortes incertitudes.

En France, le modèle hydrologique GRP est utilisé par la plupart des services opérationnels de prévision des crues du réseau national Vigicrues. Les retours d'expérience ont permis d'identifier plusieurs limitations du modèle, en particulier une sous-estimation fréquente des volumes et pics de crue. Plusieurs aspects de la chaîne de modélisation hydrologique peuvent contribuer à ces problèmes, parmi lesquels la structure du modèle, son paramétrage ou encore la méthode d'assimilation de données employée. Notre travail de recherche a eu pour objectif de mieux comprendre, par une approche de diagnostic détaillé, les raisons des limites du modèle GRP et d'améliorer la qualité de ses prévisions, en cherchant le degré de complexification adapté au niveau d'information couramment disponible à l'échelle des bassins versants.

Ce travail est basé sur une grande base de données de 229 bassins versants français répartis sur le territoire métropolitain, sur lesquels 10652 événements de crue ont été sélectionnés. Dans la première partie du manuscrit, nous caractérisons les erreurs en crue du modèle de simulation et cherchons les facteurs pouvant les expliquer. Dans la deuxième partie, nous utilisons l'information donnée par l'intensité de pluie au pas de temps horaire pour modifier le comportement du modèle afin d'améliorer la simulation des crues qui ont lieu à la fin de l'été et au début de l'automne. Dans la dernière partie, nous évaluons si l'amélioration de la structure du modèle améliore la prévision des crues.

Les résultats montrent que le modèle sous-estime fortement le volume des crues qui résulte de fortes intensités de pluie, en particulier en condition de faible humidité antécédente des bassins. Ces sous-estimations sont parfois dues à une mauvaise estimation de la pluie efficace mais plus largement à une dynamique trop lente du routage lorsque la réaction des bassins est très rapide. La modification des flux internes du modèle à partir de l'intensité de pluie horaire permet d'améliorer la simulation des crues estivales sans dégrader la simulation des autres événements. Ces modifications de la structure permettent d'améliorer la qualité des prévisions des crues pour les échéances supérieures à 6 h. Ces améliorations donnent toutefois lieu à une complexification du paramétrage et de la méthode d'assimilation. Plusieurs solutions sont proposées pour tenter de dépasser les problèmes d'estimation des paramètres. Plus généralement, les résultats présentés dans ces travaux mettent en évidence les interactions entre le choix de la structure du modèle, le paramétrage et la méthode d'assimilation employée, et suggèrent donc d'adopter une approche intégrant simultanément ces différentes composantes dans les démarches d'amélioration des modèles de prévision des crues.

La nouvelle version du modèle de prévision proposée à l'issue de ce travail devrait en augmenter l'efficacité globale en conditions opérationnelles, et élargir son applicabilité à des types d'évènements et des contextes hydroclimatiques variés.

Abstract

Floods frequently have disastrous human impacts and cause heavy economic losses worldwide. In order to anticipate this natural phenomenon, operational flood forecasting systems have been implemented in many countries. These systems are based on hydrological models that turn meteorological observations and forecasts into streamflow forecasts. Although many improvements have been made over the last two decades, flood forecasts are still associated with a high level of uncertainty.

The GRP hydrological model is used by most of the French operational flood forecasting services (Vigicrues network). Based on feedback from forecasters, some model deficiencies have been identified, in particular systematic underestimation of flood peaks and volumes. Several attributes of the hydrological modelling chain contribute to these issues, among which the model structure, the parameterization technique and the data assimilation procedure. The objective of this work was to better understand the causes of the model failures through a detailed diagnosis framework and to improve the quality of the GRP model's forecasts while searching for the level of complexity compatible with the level of information commonly available at the catchment scale.

This work relies on a large dataset of 229 continental French catchments where 10,652 flood events were selected. In the first part of this manuscript, the model errors in simulating floods are characterized and the explanatory factors are identified. In the second part, hourly rainfall intensities are used to dynamically modify the model's internal fluxes, to improve the simulation of floods occurring in summer and at the beginning of autumn. In the last part, we assess whether this change in model structure leads to better flood forecasts.

Results show that the model highly underestimates flood volumes in summer when high-intensity rainfall events occur, especially under low antecedent soil moisture conditions. These underestimations are sometimes due to poor estimation of effective rainfall but are mainly caused by a too slow runoff routing when the catchment response to rainfall is flashy. Dynamically modifying the internal fluxes of the model with the information provided by hourly rainfall intensities improves flood simulation in summer while maintaining the same level of performance for other flood types. These modifications lead to improvements in flood forecasting for lead times larger than six hours. However, these modifications result in an increase in the number of parameters and in data assimilation complexity. Several options are proposed to overcome this issue and improve parameter estimation. Our results highlight the interactions existing between the choice of model structure, parameter estimation and the data assimilation procedure, which suggests that the improvement of forecasting models should consider all these aspects simultaneously in an integrated approach.

The new flood forecasting model version that was developed in this work should lead to an increase in its overall efficiency in operational conditions and broaden its applicability to varied flood types and hydroclimatic conditions.