

# Résumé

Chaque année, les crues soudaines provoquées par des pluies intenses sur de petits bassins versant à réaction rapide sont la cause de pertes humaines et économiques considérables. Pour réduire ces impacts, il est nécessaire d'avoir recours à des systèmes de prévision combinant prévision météorologique et hydrologique à une échelle spatio-temporelle suffisamment fine. Etant données les nombreuses difficultés liées à cet exercice, ces systèmes doivent être capables de bien appréhender les principales sources d'incertitude susceptibles d'influencer leurs prévisions. Les incertitudes associées aux pluies observées ou prévues sont souvent considérées comme celles qui ont un impact le plus important sur les prévisions hydrologiques, surtout lorsqu'il s'agit de crues rapides et très localisées.

Le but principal de cette thèse est d'étudier le potentiel d'une méthode de simulation conditionnelle géostatistique pour générer un ensemble de scénarios de pluies qui peuvent être utilisés par un système de prévision des crues soudaines. Pour ce faire, nous cherchons à générer un ensemble de champs de pluie fiable (au sens statistique), tout en exploitant au mieux les points forts des mesures souvent disponibles pour la prévision immédiate : les propriétés spatio-temporelles fournies par les données radar et les intensités pluviométriques mesurées par les pluviomètres au sol. Nous nous appuyons pour cela sur les données de pluie (radar et pluviomètres) de 17 événements intenses observés entre 2009 et 2013 dans le département du Var (sud-est de la France).

La première étape de cette thèse est dédiée à la prise en compte des incertitudes sur les observations de pluie. Pour cela, le simulateur SAMPO-TBM développé à l'Irstea de Lyon est adapté pour fournir des simulations des champs de pluie alternatifs au champ de pluie radar observé, tout en respectant, à travers le conditionnement des simulations, les valeurs de pluie observées par les pluviomètres. L'évaluation de ces champs générés montre que la méthode mise en place est capable de générer des scénarios de pluie fiables et ainsi proposer une quantification des incertitudes sur les champs de pluie observés.

Dans la deuxième étape de cette thèse, nous évaluons la capacité de notre méthode à être utilisée pour la prévision immédiate de pluies. Plusieurs méthodes sont testées pour la paramétrisation du simulateur et pour l'ajustement des sorties. Ces méthodes sont évaluées en considérant les principaux attributs souhaités pour une prévision d'ensemble : la précision, la fiabilité, la justesse, la discrimination et la performance globale des prévisions. La méthode la plus performante est celle estimant les paramètres du simulateur sur une fenêtre glissante de 4h, mais également en donnant un poids prépondérant à la dernière heure d'observation pour le paramètre lié à la moyenne des pluies non-nulles, associée à une correction des sorties basée sur la dernière erreur de prévision.

Enfin, dans la dernière étape de cette thèse, les prévisions d'ensemble de pluie sont utilisées en entrée de la méthode AIGA d'avertissement aux crues rapides développée à Irstea Aix-en-Provence. Cette approche permet d'estimer la période de retour (en débit) de l'événement en cours sur des bassins non jaugés. L'événement du 3 au 7 novembre 2011 dans le département du Var est utilisé pour illustrer le potentiel de notre méthode. Des cartes probabilisées indiquant à différentes échéances et sur l'ensemble du réseau hydrographique du département le risque de dépassement d'une certaine période de retour sont générées. Celles-ci sont comparées à la localisation de dégâts relevés sur le terrain après l'événement démontrant un réel intérêt pour la gestion de crise en temps réel.

**Mots clés:** crues soudaines, pluies, incertitudes, prévision immédiate, prévision d'ensemble, radar météorologique, simulation géostatistique, risque, inondation.

# Abstract

Each year, flash floods, generated by small fast-responding catchments hit by intense rainfall, are responsible for huge human and economic losses. To mitigate these impacts, it is necessary to use forecasting systems combining meteorological and hydrological forecasts at small temporal and spatial scales. Because of the underlying difficulties, these systems have to be able to communicate the uncertainties of their forecasts. Uncertainties associated to observed or future rainfall are often seen as those having the most important impact, in particular in the case of flash floods localised on small areas.

The main aim of this thesis is to study the potential of a geostatistical conditional simulation method to generate an ensemble of rainfall scenarios that can be used by a flash flood warning system. We seek to generate a reliable ensemble of rain fields by making the best use of the strengths of the measurements often available for nowcasting: the spatial and temporal properties of rainfall fields provided by the radar data and the rainfall intensities measured by rain gauges. In order to achieve our objectives, we use radar and rainfall data from 17 intense rainfall events observed in the Var region (south-east France) between 2009 and 2013.

The first part of this thesis was devoted to taking into account the uncertainties on the observations of rainfall. For this purpose, the SAMPO-TBM generator developed at Irstea-Lyon is adapted to provide simulations of alternative rain fields to the observed radar rain field, while respecting the rainfall values observed by the rain gauges through a conditioned simulation. The evaluation of the generated fields shows that the method implemented is able to generate a reliable ensemble of rain fields and thus to propose a quantification of the uncertainties on the observed rain fields.

In the second part of this thesis, the capacity of our method to be used for the nowcasting of rainfall is evaluated. Several methods are tested for the parameterization of the rainfall generator and for the adjustment of the outputs. These methods are evaluated by considering the main attributes of forecast quality, such as accuracy, reliability, precision, discrimination and overall forecast performance. The best method is the one estimating generator parameters over the last four hours, but also using only the last hour for the parameter related to the mean of the non-zero rainfall distribution, combined by the adjustment of the outputs based on the last forecast error.

Finally, in the final part of this thesis, ensemble rainfall forecasts are used as inputs of the flash flood forecasting method AIGA developed at Irstea Aix-en-Provence. The AIGA method enables return period of the ongoing event to estimate at ungauged catchments. The 3th-7th November 2011 event in the Var region is used to illustrate the potential of our method. Nowcasting maps indicating, for different lead times and for the whole hydrological network of the region, the probability to exceed a given return period are produced. They are compared to the localization of observed damages collected from field surveys, illustrating a real interest for the real time crisis management.

**Keywords:** flash flood, rainfall, uncertainty, nowcasting, ensemble prediction, meteorological radar, geostatistical simulation, risk, flooding.