

Thèse Auguste Gires

Titre :

Analyses et simulations multifractales pour une meilleure gestion des eaux pluviales en milieux urbain et péri-urbain

Résumé :

Les multifractals universels (UM) sont un outil puissant et abondamment utilisé d'analyse et de simulation de champs géophysiques, comme la pluie, extrêmement variables sur une large gamme d'échelle. Ils sont basés sur le concept de cascade multiplicative qui repose sur la notion physique d'invariance d'échelle pour explorer le phénomène fondamental qu'est l'intermittence. Dans ce cadre, toute la variabilité du champ est caractérisée à l'aide de simplement trois paramètres qui ont en plus une interprétation physique. Dans cette thèse on utilise ce cadre théorique pour quantifier l'impact de la variabilité à petite échelle de la pluie en hydrologie urbaine. La première étape consiste à analyser la variabilité spatio-temporelle de données radar de précipitation à l'aide d'un modèle multifractal anisotrope simple.

Divers évènements pluvieux sont analysés : celui du 9 février 2009 aussi bien autour de Paris (radar en bande C de Trappes de Météo-France) que de Londres (mosaïque Nimrod du Met. Office britannique), un épisode « Cévenol » ayant eu lieu du 5 au 9 septembre 2005 (mosaïque radar Météo-France), et l'évènement du 9 juillet 2009 autour de la région de Londres. Un comportement scalant a été observé sur deux gammes d'échelles séparées par une rupture à 16 km qui est discutée. Ces données sont globalement en accord avec un modèle spatio-temporel simple reposant un exposant d'anisotropie entre l'espace et de temps. Les résultats suggèrent une possible universalité des paramètres UM pour les précipitations. Pour l'évènement « Cévenol » les précipitations issues des sorties de simulations Mésos-NH (un modèle météorologique méso-échelle non-hydrostatique développé par Météo-France/CNRM et le Laboratoire d'Aérodynamique de l'Univ. de Toulouse, France) ont également été analysées et présentent un comportement qualitatif similaire, mais avec des estimations des paramètres UM différentes correspondant à des comportements quantitatifs distincts notamment au niveau des extrêmes.

Cette thèse aborde également un autre aspect de l'intermittence, particulièrement important pour les longues séries temporelles pluviométriques, que sont les nombreuses mesures nulles de la pluie (c'est-à-dire un pixel où aucune pluie n'est relevée), i.e. les longues périodes sèches. L'ancienne question de la source de cette intermittence, et notamment la nécessité d'un modèle dédié, est revisitée. D'abord les effets d'un seuil sur un champ multifractal sont analysés et ensuite un « toy model » qui introduit des zéros au sein du processus de cascade et conditionnellement aux valeurs du champ est développé. Cela permet d'expliquer la plupart des comportements observés, e.g. les différences entre les statistiques événementielles et globales.

L'impact de la variabilité de la pluie est analysé à travers l'étude de la sensibilité de modèles d'hydrologie/hydraulique urbaine à la donnée de pluie. Deux bassins versants essentiellement urbains (un de 3 400 ha en Seine-Saint-Denis à proximité de Paris, et un de 900 ha à Londres) modélisés avec des modèles opérationnels semi-distribués sont pris comme cas d'études. Par ailleurs le modèle distribué Multi-Hydro (en développement au LEESU) est testé sur une portion de 145 ha du cas d'étude parisien. L'impact de la variabilité à petites

échelles non mesurée des précipitations (i.e. se produisant à des échelles plus petites que 1 km en espace et 5 min en temps qui sont disponibles avec les données radar à bande C) est d'abord évalué. Ceci est réalisé par la génération d'un ensemble de pluie réaliste désagrégée en continuant stochastiquement le processus sous-jacent de cascade au-delà de l'échelle d'observation, puis la simulation de l'ensemble correspondant d'hydrographes. Il apparaît que la variabilité à petites échelles de la pluie engendre une variabilité hydrologique qui ne doit pas être négligée. De plus le modèle Multi-Hydro génère une variabilité plus importante et pas seulement au niveau du pic de débit, i.e. même pour les pluies modérées. Ces résultats mettent en lumière la nécessité d'installer des radars en bande X (dont la résolution est hectométrique) en milieu urbain. Dans un deuxième temps les outils multifractals sont employés sur les pluies et les débits simulés qui présentent aussi un comportement scalant. Il apparaît que le réseau d'assainissement transmet simplement la variabilité des précipitations sans l'atténuer, au moins en termes de statistiques multifractals.

Mots clés :

Variabilité des précipitations, hydrologie urbaine, multifractal, intermittence, analyse spatio-temporelle

Title:

Improving storm water management in urban and peri-urban areas with the help of multifractal analysis and simulations

Abstract:

The Universal Multifractals (UM) are a powerful tool which has been extensively used to analyze and simulate geophysical fields, such as rainfall, that are extremely variable over wide range of scales. It is based on the concept of cascade phenomenology that relies on the physical notion of scale invariance to explore the fundamental phenomenon of intermittency. In this framework the whole variability of a field is characterized with the help of only three parameters that are furthermore physically meaningful. In this PhD thesis we use this theoretical framework to quantify the impacts of small scale rainfall variability in urban hydrology. The first step consists in analysing radar rainfall space-time variability with the help of a simple anisotropic multifractal model.

A variety of rainfall events are analyzed: the 9th February 2009 rainfall event both in Paris (Météo-France C-band radar of Trappes) and London region (UK Met. Office Nimrod mosaic), a "Cevenol" episode that occurred in the South of France 5-9 September 2005 (Météo-France radar mosaic) and the 9th July 2009 event over the London area. It appears that a scaling behaviour was observed on two distinct ranges of scales separated by a break at roughly 16 km that is discussed. These data sets are in overall agreement with a simple space-time scaling model relying on single anisotropy exponent between space and time. The results hint at a possible universality of the UM parameters for rainfall. For the "Cevenol" episode the rainfall outputs of Meso-NH simulations (a meteorological non-hydrostatic mesoscale model developed by Meteo-France/CNRM and Laboratoire d'Aérodynamique (Univ. Toulouse,

France)) are also analyzed and show a similar qualitative behaviour but with different estimates for the UM parameters corresponding to distinct quantitative behaviours, in particular for the rainfall extremes.

This thesis also explores another facet of intermittency, which is particularly important for long time series of precipitation, that of numerous zero rainfall measurements (a pixel or a time step with no recorded rainfall), i. e. long “dry” periods. We revisit the long lasting discussion on the source of this intermittency, e.g. whether it requires a specific modelling. First the effects of a threshold on a universal multifractal field are investigated and second a toy model that introduces some zeros within the cascade process conditioned by the field value is developed. This enables to explain most of the observed behaviour, e.g. the difference between event statistics and overall statistics.

The impact of rainfall variability is investigated through the analysis of the sensitivity to the rainfall input of urban hydrologic-hydraulic models. Two predominantly urban catchments (a 3 400 ha one in Seine-Saint-Denis near Paris, and a 900 ha one in London) modelled with the help of operational semi-distributed models are used as case studies. The fully distributed model Multi-Hydro (under development at LEESU) is also tested on a 147 ha portion of the Paris case study. First the impact of unmeasured small scale rainfall variability (i.e. occurring at scales smaller than 1 km in space and 5 min in time which are available with C-band radar data) is evaluated. This is achieved by generating an ensemble of realistic downscaled rainfall fields by continuing the stochastic cascade process below the observation scale and then simulating the corresponding ensemble of hydrographs. It appears that the small scale rainfall variability generates significant hydrological variability that should not be neglected. Furthermore the Multi-Hydro model generates a larger variability not only during the peak flow, but during the whole event, i.e. for moderate rain rates. These findings highlight the need to implement X-band radars (whose resolution is hectometric) in urban areas. In a second part multifractal tools are used on both rainfall and simulated discharges that also exhibit a scaling behaviour. It appears that the rainfall drainage system basically transmits the rainfall variability without damping it, at least in terms of multifractal statistics.

Key words:

Rainfall variability, urban hydrology, multifractals, intermittency, spatio-temporal analysis