



Soutenance de thèse CNRM

**Sensibilité climatique des systèmes précipitants intenses :  
approche par la modélisation climatique à très haute  
résolution sur le nord-ouest de la Méditerranée**

Par Cécile Caillaud (GMGEC/MOSCA)

**Le vendredi 15 décembre 2023 à 14h**  
en salle Joël Noilhan (246, bâtiment Navier)

Lien BJ : <https://bluejeans.com/mf.bj260>

Membres du jury :

**Juliette Blanchet**, Rapporteur  
**Alejandro Di Luca**, Rapporteur  
**Ségolène Berthou**, Examinatrice  
**Yves Trambly**, Examineur  
**Julien Boé**, Examineur  
**Hervé Douville**, Directeur de thèse  
**Samuel Somot**, Co-directeur de thèse

## Résumé

Les épisodes méditerranéens qui concernent chaque automne le nord-ouest de la Méditerranée sont des événements de précipitation extrême à fort impact. L'étude de leur évolution aux échelles climatiques revêt donc une grande importance et constitue encore un défi pour la communauté de modélisation du climat. Depuis quelques années, il est possible d'utiliser des modèles régionaux de climat à résolution kilométrique (Convection-Permitting Regional Climate Models ou CP-RCMs, 1-3 km) dont la convection profonde est simulée de manière explicite. Ces modèles permettent de se rapprocher des échelles spatio-temporelles en jeu et ouvrent de nouvelles perspectives en terme d'analyse.

Cette thèse a pour objectif de déterminer la réponse des épisodes méditerranéens du nord-ouest de la Méditerranée au changement climatique d'origine humaine, en s'appuyant sur cette nouvelle génération de modèles de climat associée à une approche orientée objet. Le suivi des systèmes fortement précipitants est appliqué à la fois aux jeux de données d'observation, aux simulations réalisées avec le CP-RCM CNRM-AROME et aux simulations du premier ensemble de CP-RCMs disponible dans le cadre du programme international CORDEX FPS Convection sur un domaine commun couvrant le nord-ouest de la Méditerranée.

La première partie de cette thèse est consacrée à l'évaluation des performances des CP-RCMs par comparaison à des données d'observation de référence à haute résolution. La valeur ajoutée des CP-RCMs par rapport aux modèles régionaux à résolution plus grossière (12-15 km) est démontrée pour les extrêmes de précipitation, en particulier au pas de temps horaire. L'approche objet permet également de montrer que, malgré quelques biais résiduels, les CP-RCMs sont capables de représenter correctement les principales propriétés des systèmes fortement précipitants, que ce soit en termes de nombre et de positionnement sur l'ensemble du domaine, ou en termes de durée, d'intensité, de surface, de volume, de vitesse et de sévérité sur le pourtour méditerranéen français où les observations permettent d'évaluer finement ces propriétés. La bonne performance de ces modèles permet de renforcer la confiance en leurs projections futures.

La deuxième partie s'intéresse à l'évolution future des épisodes méditerranéens avec l'approche objet appliquée aux simulations milieu et fin de siècle de l'ensemble de CP-RCMs en mode scénario pour étudier les changements des propriétés des systèmes fortement précipitants dans un climat plus chaud. En fin de siècle et selon un scénario de fortes émissions, certains changements se retrouvent dans la plupart des simulations et peuvent être qualifiés de robustes. Ainsi, une augmentation de la fréquence des systèmes fortement précipitants de l'automne dans une grande partie du domaine, en particulier du centre de l'Italie au nord des Balkans, accompagne un doublement des zones touchées par ces événements. Sur la région méditerranéenne française, les modèles s'accordent sur une augmentation d'intensité, de surface et de volume des systèmes précipitants. Toutefois, même avec cette nouvelle génération de modèles, d'importantes incertitudes persistent, notamment pour les changements de fréquence dans le sud-est de la France, probablement dû à des différences dans les conditions synoptiques imposées par les modèles forceurs des CP-RCMs. De même, l'ensemble projette une large gamme de changements possibles dans les propriétés des systèmes, en particulier pour les plus intenses et y compris lorsqu'on normalise par le réchauffement régional correspondant.

Si les CP-RCMs sont les outils de modélisation adaptés pour l'étude des extrêmes de précipitation, les efforts doivent être poursuivis pour produire des ensembles plus larges, mieux construits et probablement complétés par des méthodes d'apprentissage machine, afin d'apporter des informations climatiques utiles aux échelles pertinentes pour les politiques d'adaptation.

## Abstract

The Mediterranean Heavy Precipitation Events (HPEs) that affect the northwestern Mediterranean every fall are high-impact weather events. The study of their evolution on climate scales is therefore of great importance and remains a challenge for the climate modelling community. For some years now, it has been possible to use kilometre-scale regional climate models (Convection-Permitting Regional Climate Models or CP-RCMs, 1-3 km) in which deep convection is explicitly simulated. These models make it possible to get closer to the spatio-temporal scales involved and open up new perspectives in terms of analysis.

The aim of this thesis is to determine the response of northwestern Mediterranean HPEs to human-induced climate change, using this new generation of climate models combined with an object-oriented approach. The tracking of heavy precipitation systems is applied to observational datasets, to simulations carried out with the CNRM-AROME CP-RCM and to simulations of the first ensemble of CP-RCMs available as part of the international CORDEX FPS Convection programme over a common domain covering the north-western Mediterranean.

The first part of this thesis is devoted to evaluating the performance of CP-RCMs in comparison with high-resolution reference observation data. The added value of CP-RCM compared with regional models with coarser resolution (12-15 km) is demonstrated for precipitation extremes, particularly at hourly time steps. The object-oriented approach also shows that, despite a few residual biases, CP-RCMs are capable of correctly representing the principal properties of heavy precipitation systems, both in terms of number and position over the entire domain, and in terms of duration, intensity, surface area, volume, speed and severity over the French Mediterranean, where observations enable these properties to be assessed in detail. The good performance of these models lends greater confidence to their future projections.

The second part focuses on the future evolution of Mediterranean HPEs using the object-oriented approach applied to mid and end-of-century simulations of the CP-RCMs ensemble in scenario mode to study changes in the properties of heavy precipitation systems in a warmer climate. At the end of the century, and according to a scenario of high emissions, certain changes are found in most of the simulations and can be described as robust. For example, an increase in the frequency of fall heavy precipitation systems over a large part of the domain, particularly from central Italy to the northern Balkans, is accompanied by a doubling of the areas affected by these events. Over the French Mediterranean region, the models agree on an increase in the intensity, surface area and volume of precipitating systems. However, even with this new generation of models, significant uncertainties remain, particularly for changes in frequency over southeastern France, probably due to differences in the synoptic conditions imposed by the CP-RCMs driving models. Similarly, the ensemble projects a wide range of possible changes in the properties of systems, particularly for the most intense ones and even when standardised by the corresponding regional warming.

While CP-RCMs are the appropriate modelling tools for studying precipitation extremes, efforts must be continued to produce larger, better constructed ensembles, probably supplemented by machine learning methods, in order to provide useful climate information at scales relevant to adaptation policies.