

## **SOUTENANCE DE THESE CNRM**

***lundi 10 juin 2024 à 14h***

**par Arnaud FORSTER**

**(CNRM/GMME)**

### **IMPACT DES SURFACES URBANISÉES SUR LA CONVECTION EN RÉGION PARISIENNE : OBSERVATIONS ET SIMULATIONS NUMÉRIQUES HECTOMÉTRIQUES**

**salle Noilhan, Navier**

Composition du jury :

Mme Sophie BASTIN, Rapporteur  
Mme Sylvie LEROYER, Rapporteur  
Mme Christine LAC, Examinatrice  
Mme Malika MADELIN, Examinatrice  
M. Sylvain COQUILLAT, Examineur  
M. Yves RICHARD, Examineur  
M. Valéry MASSON, Directeur de thèse, Météo France  
Mme Clotilde AUGROS, Co-directrice de thèse, Météo France

- Lien Webex : <https://meteo.webex.com/meteo-fr/j.php?MTID=m77cd2032fcfdbaaaf58dc6a5f2cabb01>

#### Résumé

L'urbanisation intense engendrée par le développement des villes a profondément transformé les milieux naturels, influant directement sur l'état de l'atmosphère située à proximité. Outre la formation bien connue de l'îlot de chaleur urbain, caractérisé par des températures plus élevées dans les zones urbaines que les zones rurales environnantes, la ville présente également la capacité de modifier la convection et les précipitations. Durant les situations propices, un renforcement de ces phénomènes peut être constaté au-dessus et en aval de la zone urbanisée, en fonction du vent dominant. Afin d'améliorer la modélisation de ces interactions ville-atmosphère et d'en accroître leur anticipation, l'étude des impacts de l'urbanisation sur les précipitations et la compréhension des mécanismes associés s'avère essentielle.

Cette thèse s'est appuyée sur plusieurs méthodes impliquant à la fois des outils d'observation

**Pour tout renseignement, contacter Y. Poirier (05 61 07 96 55)**

Centre National de Recherches Météorologiques  
42, Avenue G. Coriolis - 31057 Toulouse Cedex

### **CNRM, UMR 3589**

et de modélisation pour étudier de manière rigoureuse l'effet de l'urbanisation de l'agglomération parisienne sur la convection et les précipitations et d'en comprendre les processus sous-jacents.

La première approche a consisté à établir une climatologie détaillée des orages sur l'Île-de-France et ses départements limitrophes sur une période de 13 ans. Les données de composites de réflectivités radar et les observations d'éclairs ont été analysées afin d'identifier les périodes de l'année et les zones les plus propices à la formation de la convection sévère sur la région parisienne. Ces travaux ont révélé une augmentation de l'occurrence des orages au-dessus et en aval de la ville. Une analyse par secteurs au-dessus et autour de Paris a permis de mettre en évidence le rôle de l'urbanisation de la région parisienne dans ces renforcements.

Dans la continuité de ces résultats, des simulations numériques ont été réalisées afin de quantifier la sensibilité des précipitations à l'urbanisation. Deux configurations du modèle de recherche Meso-NH ont été mises en œuvre, l'une tenant compte de l'urbanisation parisienne et l'autre remplaçant les zones urbaines par de la végétation. L'originalité de cette thèse a résidé dans l'utilisation d'un ensemble de simulations à la résolution horizontale de 300 m, permettant de prendre en compte les incertitudes numériques inhérentes à la modélisation des phénomènes orageux. Cette approche, testée en premier lieu sur un cas de convection diurne, a montré son utilité pour estimer la significativité des résultats et analyser les processus urbains impliqués dans l'altération des précipitations. Par la suite, la méthode a été étendue à un panel de situations convectives sur la région parisienne afin de dresser un bilan plus large des processus clés. Les analyses réalisées ont permis de montrer qu'en raison de l'augmentation du flux de chaleur sensible en milieu urbain, les vitesses verticales en basses couches sont renforcées et la couche limite atmosphérique se développe de manière plus importante. Cela a pour conséquence d'initier ou de renforcer la convection sur la zone urbanisée et d'augmenter les précipitations au-dessus ou en aval de la ville durant les situations propices. Ces travaux apportent de nouvelles perspectives quant à l'utilisation d'ensembles à l'échelle horizontale hectométrique pour l'étude des phénomènes complexes tels que les orages et leur interaction avec les surfaces urbanisées

#### **Abstract**

The rapid urbanisation that has accompanied the development of cities has profoundly transformed natural environments, exerting a direct influence on the state of the atmosphere in the vicinity. In addition to the well-known phenomenon of the urban heat island, characterised by higher temperatures in urban areas than in the surrounding rural areas, cities also have the capacity to modify convection and precipitation. In favourable situations, these phenomena can be reinforced over and downwind of the urbanised area, depending on the prevailing wind. In order to improve the modelling of these city-atmosphere interactions and improve their anticipation, it is essential to study the impact of urbanisation on precipitation and understand the mechanisms involved.

This thesis is based on different approaches, integrating observational and modelling tools, to conduct a comprehensive study of the impact of urbanisation on convection and precipitation in the Paris region. The first step involved establishing a climatology of thunderstorms over the Île-de-France region and its neighbouring departments over a 13-year period. Data from the French radar mosaic and lightning observations were analysed in order to identify the periods of the year and the zones most affected by severe convection in the Paris region. The findings of this study revealed an increase in the frequency of thunderstorms over and downwind of the city. An analysis of the sectors over and surrounding Paris highlighted the role of the urbanisation in these increases.

**Pour tout renseignement, contacter Y. Poirier (05 61 07 96 55)**

Centre National de Recherches Météorologiques  
42, Avenue G. Coriolis - 31057 Toulouse Cedex



### **CNRM, UMR 3589**

Subsequently, numerical simulations were conducted to ascertain the sensitivity of precipitation to urbanisation. Two configurations of the Meso-NH research model were implemented, one accounting for the urbanisation of Paris and the other replacing urban areas with vegetation. The originality of this thesis lies in the utilisation of a set of simulations with a horizontal resolution of 300 m, which allowed for the numerical uncertainties inherent in the modelling of thunderstorm phenomena to be taken into account. This approach, initially tested on a case of diurnal convection, demonstrated its utility for estimating the significance of the results and analysing the urban processes involved in the alteration of precipitation. The method was then extended to a range of convective situations over the Paris region in order to provide a broader overview of the key processes. The analysis carried out showed that due to the increase of sensible heat flux in the urban environment, the vertical velocities in the lower layers are strengthened, and the atmospheric boundary layer develops more. This has the effect of triggering convection over the urbanised area and increasing precipitation over or downwind of the city during favourable situations. This work provides new perspectives on the use of ensembles on a horizontal hectometric scale to study complex phenomena such as thunderstorms and their interaction with urbanised surfaces.

**Pour tout renseignement, contacter Y. Poirier (05 61 07 96 55)**

Centre National de Recherches Météorologiques  
42, Avenue G. Coriolis - 31057 Toulouse Cedex