

Sujet de thèse

Analyse de l'impact de l'îlot de chaleur urbain sur les systèmes précipitants par machine learning et télédétection radar

Impact of the urban heat island on precipitation systems using machine learning and remote sensing

Laboratoire : LATMOS (Laboratoire Atmosphères, Milieux, Observations Spatiales) 11 Boulevard d'Alembert, 78280 Guyancourt (www.latmos.ipsl.fr)

Thématiques – mots clés : urban heat island, rain cells tracking, machine learning and IA, remote sensing (radar), clustering, deep learning

Direction de la thèse : Laurent Barthès (laurent.barthes@latmos.ipsl.fr), Sophie Bastin (sophie.bastin@latmos.ipsl.fr)

Partenariat : La thèse se déroulera dans le cadre d'un partenariat avec L'INRIA Paris, équipe Research for Climate Change and Environmental Sustainability (ARCHES) composée de chercheurs de l'INRIA et du LATMOS. Le doctorant aura la possibilité de se partager entre les deux sites.

Cadre : Projet PRISME : (Appel à projet [i-Demo France 2030](#)). Évaluation et optimiser l'emploi des ressources hydriques, risques, impacts

Sujet : La présence de zones urbaines modifie les interactions entre la surface terrestre et l'atmosphère à travers des variations locales des bilans énergétiques et hydriques dus à de multiples facteurs. Parmi ces facteurs, on peut citer la modification de la rugosité des surfaces, de leur imperméabilité, de l'albédo des matériaux de construction utilisés ou l'augmentation de la concentration d'aérosols dans l'atmosphère. Les interactions complexes surfaces – atmosphère génèrent ainsi des îlots de chaleur urbains (ICU) et une couche limite urbaine spécifique. La présence des ICU et la rugosité de la surface plus importante sur la ville peuvent dans certains cas influencer le régime des précipitations aux abords et au sein des zones urbaines en affectant la circulation atmosphérique à l'échelle locale influençant ainsi l'advection des cellules pluvieuses. Un autre processus important est le possible renforcement de la convection au-dessus des villes du fait d'une couche limite plus instable favorisant la formation de cellules convectives et potentiellement de précipitations. Enfin, l'humidité et la concentration en aérosols au sein de l'ICU peuvent également influencer la formation des nuages, leur phase, leur altitude, leur microphysique et donc le régime des précipitations (Shepherd, 2005; Liu and Niyogi, 2019).

Le rôle de ces divers processus, qui interagissent entre eux de façon complexe, sur les précipitations est difficile à appréhender car ils sont influencés par de multiples facteurs tels

que la taille de la ville, le type de construction, la géographie locale (topographie, présence de cours d'eau, lacs, côtes maritimes, forêts, ...), la saison et les caractéristiques climatiques régionales (e.g Lalonde M., 2024). De nombreuses études, basées sur des modèles ou des observations in situ ou de télédétection, avec différentes méthodes d'analyse ont été utilisées pour identifier l'impact des villes sur les précipitations, et l'analyse des conclusions montre que le choix de la méthodologie elle-même a un impact (Lalonde et al., 2023; Liu and Niyogi, 2019).

Ainsi, l'état de l'art des connaissances pose le problème du manque de généralisation des conclusions actuelles et souligne que compte tenu de la complexité des processus mis en jeu, des caractéristiques très différentes des villes et de leur climat, les caractéristiques des ICU et des interactions entre la grande échelle et l'échelle locale sont spécifiques à chacune de celles-ci. Dans une perspective où le climat change et où les villes se développent continuellement, il est indispensable d'identifier les liens qui peuvent exister entre les variabilités spatiales et temporelles des précipitations pour une zone urbaine donnée et les caractéristiques spécifiques urbaines et climatiques de cette zone, et comprendre les principaux processus impliqués.

Dans cette optique, cette thèse se propose de se focaliser sur la région parisienne avec comme objectif de caractériser l'effet du centre urbain dense sur les systèmes convectifs, types orages isolés ou lignes de grains. Cette tâche est loin d'être triviale car un orage est constitué d'amas de cellules de pluie plus ou moins intenses, chacune ayant une dynamique propre pouvant l'amener à se déformer, à fusionner avec des cellules voisines ou se diviser, avec éventuellement une intensification des précipitations ou au contraire leur affaiblissement voire une disparition complète de la cellule. Il existe classiquement deux familles d'algorithmes d'identification et de suivi des précipitations : ceux qui ont une approche en pixel et ceux qui ont une approche objet (He et al., 2019; Heikenfeld et al 2019). Le premier objectif de la thèse sera de tester une ou deux approches appartenant à l'une ou l'autre de ces familles. Il est démontré toutefois qu'en fonction de la définition même d'une cellule convective (taille minimale, intensité, durée, ...) les résultats obtenus sont sujet à une disparité importante en particulier pour certaines caractéristiques comme le volume précipité ou la distance parcourue par une cellule (Edmund et al., 2023). Dans ces conditions, de nouvelles approches basées sur des méthodes d'IA les plus récentes pourraient s'avérer très intéressantes (e.g Soelistyo et al., 2023, Sun P. et al., 2021, Meinhardt et al., 2022, Tal, 2022). Ainsi, des approches basées sur les transformers ou des approches basées sur des modélisations de type GNN (Graph Neural Network) semblent prometteuses (Tal. 2022).

Les caractéristiques spatiotemporelles de cellules obtenues avec l'une ou plusieurs de ces approches permettront ensuite de réaliser une classification non supervisée du comportement de ces cellules en différentes catégories (par exemple atténuation / amplification à l'approche du centre urbain dense, division, fusion, modification de trajectoire / vitesse, pas d'effet significatif, ...) à l'aide de techniques de clustering et d'une métrique appropriée.

Le partitionnement obtenu sera ensuite mis en relation avec les variables d'intérêt telles que le type d'urbanisation, les paramètres météorologiques pertinents (régime de vent, température, saison, etc ...) et aussi géomorphologiques (orographie, type de couvert végétal, ...).

La suite de l'étude s'attachera à comprendre les effets de la ville « toutes choses égales par ailleurs » sur les modifications des caractéristiques des cellules aux abords du centre urbain dense. Enfin, il sera intéressant d'analyser pour les événements qui ont été influencés par l'ICU les changements de la microphysique de la pluie entre la zone urbaine dense et la zone périurbaine grâce aux deux radars ROXI du LATMOS, l'un situé sur le campus de Jussieu en plein centre de Paris et l'autre sur la plateforme d'observation du SIRTÀ à l'école Polytechnique située à une vingtaine de kilomètres au sud de Paris. Ce type de radar permet

d'analyser avec une échelle spatiale très fine (quelques dizaines de mètres) la distribution verticale des gouttes de pluie facilitant ainsi l'étude des processus physique sous-jacents. Des disdromètres permettant la mesure de la granulométrie des gouttes de pluie pourront compléter l'analyse.

Bibliographie

Edmund P. Meredith, Uwe Ulbrich, and Henning W. Rust : Cell tracking of convective rainfall: sensitivity of climate-change signal to tracking algorithm and cell definition (Cell-TAO v1.0). *Geosci. Model Dev.*, 16, 851–867, 2023

He, T.; Einfalt, T.; Zhang, J.; Hua, J.; Cai, Y. New Algorithm for Rain Cell Identification and Tracking in Rainfall Event Analysis. *Atmosphere* 2019, 10, 532. <https://doi.org/10.3390/atmos10090532>

Heikenfeld, M. and Marinescu, P. J. and Christensen, M. and Watson-Parris, D. and Senf, F. and van den Heever, S. C. and Stier, P. : tobac 1.2: towards a flexible framework for tracking and analysis of clouds in diverse datasets. *Geoscientific Model Development*, 2019, 12, pp.4551-4570.

Jie Liu, Dev Niyogi, Meta-analysis of urbanization impact on rainfall modification. (2019) 9:7301, www.nature.com/scientificreports. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-42494-2>.

Lalonde M., 2024: Urban effects on the hydroclimate: observed and modeled analyses".
Thèse de doctorat de Sorbonne-Université

Lalonde M., Oudin L., Bastin S., 2023: Urban impacts on precipitation: do the diversity of research strategies and urban characteristics preclude general conclusions? *Urban Climate*, 2023, 51, pp.101605. {10.1016/j.uclim.2023.101605}. {insu-04171826}

Meinhardt T. and Alexander Kirillov and Laura Leal-Taixe and Christoph Feichtenhofer. TrackFormer: Multi-Object Tracking with Transformers, 2022

Shepherd, J.M.: A Review of Current Investigations of Urban-Induced Rainfall and Recommendations for the Future. *Earth Interactions*, 9 (2005) No. 12

Soelistyo CJ, Ulicna K and Lowe AR (2023), Machine learning enhanced cell tracking. *Frontier in Bioinform.*, 2023. <https://doi: 10.3389/fbinf.2023.1228989>

Sun P. and Jinkun Cao and Yi Jiang and Rufeng Zhang and Enze Xie and Zehuan Yuan and Changhu Wang and Ping Luo :TransTrack: Multiple Object Tracking with Transformer, 2021

Tal B. and Tammy Riklin Raviv : Graph Neural Network for Cell Tracking in Microscopy Videos. *ECCV* 2022