

Stage de recherche master 2 – Ingénieur

Analyse des cellules de pluie par réseaux de neurones graphiques

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

Thématiques : machine learning pour l'analyse météorologie urbaine, représentation par réseaux graphiques, classification automatique, IA

Coordonnées des responsables : Laurent Barthès (laurent.barthes@latmos.ipsl.fr), Assaad Zeghina (assaad.zeghina@latmos.ipsl.fr), Nathan Darellis (nathan.darellis@latmos.ipsl.fr)

Gratification de stage : 600€/mois environ+ indemnité pass navigo

Période et durée : 5-6 mois à partir de mars 2027

Poursuite en thèse : une demande de bourse auprès de l'école doctorale ED129 sera déposée

Contexte scientifique

Les précipitations résultent d'interactions complexes entre l'atmosphère et la surface. En milieu urbain, l'urbanisation peut modifier les échanges thermiques, la circulation atmosphérique et les concentrations en aérosols, et ainsi influencer les caractéristiques des précipitations. Le relief, la végétation et les surfaces aquatiques environnantes peuvent également jouer un rôle. L'influence respective de ces facteurs reste cependant difficile à caractériser, et les études récentes ne conduisent pas à un consensus général sur les effets des environnements urbains sur les précipitations (Shepherd et al., 2002 ; Liu & Niyogi, 2019).

Un travail préliminaire réalisé au LATMOS a permis d'extraire des cellules de pluie à partir des cartes radar de Météo-France et de suivre leur évolution dans l'espace et le temps. Nous disposons ainsi d'une base de plus de 100 000 trajectoires de cellules centrées sur la région Île-de-France.

L'objectif général est de développer de nouvelles méthodes d'analyse de ces trajectoires afin de mieux caractériser les différents comportements des cellules de pluie et d'étudier leurs relations avec l'environnement survolé et les conditions météorologiques.

Objectifs et déroulement du stage

L'approche envisagée repose sur une **représentation des cellules de pluie par des graphes spatio-temporelles (Wu et al., 2021)**, dans lesquels les sommets décrivent les cellules ou leurs états successifs, et les arêtes représentent les relations entre elles. Cette représentation permet d'envisager une analyse conjointe des caractéristiques individuelles des cellules, de leur évolution et de leurs relations spatio-temporelles. Le stage comportera plusieurs étapes :

1. Bibliographie et définition de la représentation par graphe

Une étude bibliographique permettra d'identifier les méthodes d'apprentissage sur graphes adaptées à l'analyse de trajectoires. Une première représentation sera définie à partir de variables telles que la surface, l'intensité, la vitesse et l'évolution des cellules, ainsi que des caractéristiques de leur environnement.

2. Développement d'un modèle d'apprentissage sur graphes

En s'appuyant sur des travaux préliminaires réalisés au laboratoire utilisant des réseaux de neurones sur graphes, notamment des architectures de type *Graph Attention Network* (GAT) (Chen et al., 2026 ; Veličković, 2018)., un modèle sera développé. Plusieurs choix de représentation et de modélisation pourront être explorés afin d'identifier ceux qui décrivent le mieux le comportement des cellules (Rossi et al., 2020).

3. Analyse des comportements et des régimes de précipitation

Les représentations obtenues seront étudiées à l'aide de méthodes de classification non supervisée et de visualisation. L'objectif sera d'identifier différents régimes d'évolution des cellules, puis d'analyser leurs relations avec les conditions météorologiques et les types de surfaces traversées : zones urbaines, forêts, surfaces agricoles ou relief.

Une attention particulière sera portée à l'interprétabilité des résultats et à l'apport de la représentation par graphe par rapport à une analyse classique des trajectoires.

Profil recherché

Ce stage s'adresse à des étudiants de Master 2 ou de dernière année d'école d'ingénieur en science des données, intelligence artificielle, informatique ou mathématiques appliquées. Une bonne maîtrise de Python est nécessaire ; des connaissances en apprentissage profond et en PyTorch sont souhaitées. Un intérêt pour les sciences de l'environnement et les applications de l'intelligence artificielle aux données physiques sera apprécié. Des connaissances préalables en météorologie ne sont pas indispensables.

Les développements seront réalisés sur le cluster GPU du mésocentre de l'IPSL. (https://documentations.ipsl.fr/MESO_User/hal_gpu_cluster/access.html).

References

C. Chen, S. Hou, Y. Yuan, G. Zhong and L. Qiao, "Edge-Gated Graph Attention Network for Graph Classification," 2026 IEEE International Conference on Big Data and Smart Computing (BigComp), Guangzhou, China, 2026, pp. 358-361, doi: 10.1109/BigComp68355.2026.00061.

Liu, Jie, and Dev Niyogi. "Meta-analysis of urbanization impact on rainfall modification." *Scientific reports* 9.1 (2019): 7301.

Veličković, P., G. Cucurull, A. Casanova, A. Romero, P. Liò and Y. Bengio : Graph Attention Networks. ICLR, 2018

Wu, Z., Pan, S., Chen, F., Long, G., Zhang, C., & Yu, P. S. (2021). A comprehensive survey on graph neural networks. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, 32(1), 4–24. <https://doi.org/10.1109/TNNLS.2020.2978386>

Rossi, E., Chamberlain, B., Frasca, F., Eynard, D., Monti, F., & Bronstein, M. (2020). Temporal graph networks for deep learning on dynamic graphs. *arXiv*. <https://arxiv.org/abs/2006.10637>

Shepherd, J. M., Pierce, H., & Negri, A. J. (2002). Rainfall modification by major urban areas: Observations from spaceborne rain radar on the TRMM satellite. *Journal of Applied Meteorology*, 41(7), 689–701..

Rossi, E., Chamberlain, B., Frasca, F., Eynard, D., Monti, F., & Bronstein, M. (2020). Temporal graph networks for deep learning on dynamic graphs. *arXiv*. <https://arxiv.org/abs/2006.10637>