Ecole Nationale de la Météorologie
Direction des Etudes
42, avenue Gaspard Coriolis
BP 45712
31057 TOULOUSE Cedex 1

PROJET DE FIN D'ETUDES
INGENIEURS DE L'ECOLE NATIONALE DE LA METEOROLOGIE
FICHE DE PROPOSITION DE SUJET
/
FINAL YEAR INTERNSHIP PROJECT
ENGINEERING STUDENTS – NATIONAL SCHOOL OF METEOROLOGY
PROPOSAL FORM

1- Titre du sujet proposé / Proposed project title:

Évaluation du modèle régional de climat CNRM-AROME sur les extrêmes de pluie et leur lien avec la grande échelle sur les Petites Antilles

2 - Organisme ou service proposant le sujet / Organization or department proposing the topic:

Centre National de Recherches Météorologiques (CNRM) :

- Groupe de Météorologie de Moyenne Échelle (GMME)
- Groupe de Météorologie de Grande Échelle et Climat (GMGEC)

3 - Responsable principal du stage / Main internship supervisor:

Responsable principal (le responsable principal est l'interlocuteur direct de l'Ecole. C'est à lui, en particulier, que seront adressés les courriers ultérieurs) :
The main supervisor is the primary contact for the School. All official correspondence will be addressed to this person:

NOM / **Last name** : CORNILLAULT Prénom / **First name**: Erwan

téléphone / **phone** : 0561079606 Mél / **Email**: erwan.cornillault@meteo.fr

Equipe : DESR/CNRM/GMME/TROPICS & GMGEC/PHYCLIM

Autres responsables / Other supervisors (if any):
NOM / **Last name** : CASNIN Prénom / **First name**: Amarys

téléphone / **phone** : 0561079618 Mél / **Email**: amarys.casnin@meteo.fr

Equipe : DESR/CNRM/GMGEC/MOSCA

4 - Le stage présente-t-il un caractère de confidentialité ? / Is the internship subject to confidentiality? Non

5 - Le stage peut-il être effectué à distance ? / Can the internship be carried out remotely?
Non

6 - Description du sujet – livrables attendus / Project description – Expected deliverables

Contexte

Les inondations, première conséquence des événements de précipitations extrêmes (EPEs), sont les catastrophes les plus fréquentes sur le globe et les premières causes de dommages humains et matériels (CRED & UNDRR, 2020), notamment sur les territoires français d'Outre-Mer (OM). Dans le futur, l'exposition aux EPEs sera plus grande à cause d'un accroissement des populations et de leur concentration dans des zones urbaines (e.g., Tellman et al., 2021). L'aléa sera aussi plus élevé à cause de l'augmentation de l'intensité des EPEs dans un climat futur (Gimeno et al., 2022 ; Neelin et al., 2022). Tout ceci accroît le risque et les conséquences potentielles associées aux EPEs.

Dans les Tropiques, l'activité pluvieuse est fortement modulée par des modes de variabilité intrasaisonnière (échelle 2-90 jours, Serra et al. 2014) que sont les Ondes Équatoriales Couplées à la Convection (incluant les ondes d'est, CCEWs), ainsi que l'Oscillation de Madden-Julian (MJO). Cette échelle de variabilité est celle pilotant le plus la mise en place d'un contexte favorable à un EPE (p. ex., Cornillault et al. 2024 ; Latos et al. 2026 ; Peyrillé et al. 2023). Des travaux récents du CNRM montrent que les EPEs sont associés, pour chaque OM, à des régimes de temps typiques mêlant activité tropicale (co-occurrence de phases actives de CCEWs et MJO) et perturbations des moyennes latitudes (Cornillaut, 2025) en cohérence avec la littérature (Moron et al., 2016 ; Olaguera et al., 2021 ; Pariyar et al., 2020) et obtenus à partir d'une classification automatique basée sur des champs 2D de grande échelle, comme l'eau précipitable (PW) et le vent, ainsi que les CCEWs (Cornillault et al., in prep).

Actuellement, la plupart des modèles de climat ont une résolution trop grossière (allant de la vingtaine de km pour les modèles régionaux – RCMs – à 250 km pour les modèles globaux - GCMs) pour représenter les petites îles comme les OMs et sous-estiment parfois fortement l'intensité des pluies à cause d'une représentation de la convection profonde paramétrée et non explicite. Les simulations à résolution kilométrique sont essentielles pour les petites îles tropicales, car elles permettent de mieux les représenter (surfaces, contraste terre-mer, reliefs), ainsi que les événements localisés les impactant (Dutheil et al. 2021 ; Caillaud et al. 2021 ; Evans et al. 2024 ; Zhang et al. 2016).

Dans le cadre du projet SOCLE-OM à Météo-France, visant à mettre en place des services climatiques sur l'ensemble des Outre-Mer, toute une suite de GCMs et RCMs a été évaluée, corrigée et mise à disposition sur le portail DRIAS pour chaque OM et incluant des diagnostics orientés vers plusieurs secteurs d'activité. Notamment, des configurations du modèle CNRM-AROME à 2,5 km de résolution et à convection profonde résolue (Casnin et al. In prep ; Quenum et al. 2026 ; Caillaud et al. 2026) ont été mises en place sur la Polynésie française, la Nouvelle-Calédonie et les Petites Antilles. Néanmoins, ces dernières n'ont encore été que très peu évaluées ; aucune analyse sur le lien entre la grande échelle et la pluie, dont les EPEs, n'a encore été menée.

Objectifs du stage

L'objectif du stage est d'évaluer la capacité de CNRM-AROME à correctement représenter les EPEs, autant en occurrence qu'en localisation et en intensité, et avec un focus sur la Martinique et la Guadeloupe. Aussi, le ou la stagiaire s'intéressera au lien entre l'occurrence des EPEs et la grande échelle, à la fois dans la configuration "évaluation" (hindcast) du modèle (forcée par ERA5) et "historique" (forcée par le RCM CNRM-ALADIN, lui-même forcé par le GCM NorESM2).

Après une étape préliminaire d'évaluation de la climatologie du modèle (PW, pluie, vent,

…), le stage portera d'abord sur le comportement moyen des EPEs dans AROME (cycle annuel, contribution des cyclones tropicaux, condition moyenne de grande échelle) et sa comparaison avec les résultats obtenus avec les stations du réseau Météo-France et la réanalyse ERA5 (Cornillault et al., 2024 ; Cornillault, 2025). Ensuite, on regardera le lien entre l'occurrence des EPEs et celle des phases actives des CCEWs et de la MJO, afin de caractériser si AROME reproduit bien le lien EPEs-CCEWs.

La seconde étape ira plus loin pour évaluer la capacité d'AROME à reproduire des EPEs au bon endroit selon l'environnement de grande échelle. Pour cela, les situations de grande échelle favorisant les EPEs aux Antilles identifiées avec ERA5 seront comparées à celles qu'AROME modélise et seront analysées en fonction des biais déjà constatés sur la climatologie d'AROME et sur le lien EPEs-CCEWs. Cette comparaison se fera par une méthode d'analogue, où diverses métriques seront testées (distance euclidienne, corrélation linéaire et score de Teweles-Wobus, voir Blanc et al. 2022).

7 - Lieu du stage, durée ou période / Internship location, duration or period

Le stage aura lieu à Toulouse dans les locaux du CNRM (bâtiment Navier), au sein de l'équipe TROPIC²S (TROpical Processes, Intraseasonal variability, Convection and Cloud Studies) du Groupe de Météorologie de Moyenne Échelle (GMME). La durée est d'environ 6 mois avec une date de début au cours du mois de février

Bibliographie

Blanc, A., Blanchet J., et Creutin J.-C.. 2022. « Characterizing Large-scale Circulations Driving Extreme Precipitation in the Northern French Alps ». *International Journal of Climatology* 42 (1): 465-80. https://doi.org/10.1002/joc.7254.

Caillaud, C., Harader-Coustau, E., Li, S., Alias, A., Casnin, A., Chevé, M., Corneille, L., Gévaudan, M., Lemonsu, A., Le, H.-H., Monteiro, D., Machado, T., Nabat, P., Noirot, L., Quenum, G. M. L. D., Somot, S., and Bador, M. (2026). Technical note: configuration and first evaluation of the kilometre-scale regional climate model CNRM-AROME46t1. Publisher: Zenodo.

Caillaud, C., Somot, S., Alias, A., Bernard-Bouissières, I., Fumière, Q., Laurantin, O., Seity, Y., and Ducrocq, V. (2021). Modelling Mediterranean heavy precipitation events at climate scale: an object-oriented evaluation of the CNRM-AROME convection-permitting regional climate model. Climate Dynamics, 56:1717–1752.

Casnin, A., Gévaudan, M., Caillaud, C., Harader-Coustau, E., Alias, A. … (in prep). Technical note: configuration and first evaluation of the kilometre-scale regional climate model CNRM-AROME46t1h over the Lesser Antilles

Cornillault, E., Peyrille, P., Couvreux, F., & Roehrig, R. (2024). Large-scale drivers of tropical extreme precipitation events: the example of French overseas territories. Geophysical Research Letters, 51 (15), e2024GL108770. https://doi.org/10.1029/2024GL108770

Cornillault, E. 2025. « Événements extrêmes sur les territoires outre-mer : mécanismes physiques et développement d'outils de prévision aux échelles synoptique et subsaisonnière ». Thèses, Université de Toulouse. https://meteofrance.hal.science/tel-05350912.

Cornillault, E., Peyrille, P., Couvreux, F., & Roehrig, R. (in prep). Weather patterns classification of extreme precipitation events in a tropical island: the case of La Réunion

CRED, et UNDRR. 2020. *The Human Cost of Disasters: An Overview of the Last 20 Years (2000-2019)*. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED). https://reliefweb.int/report/world/human-cost-disasters-overview-last-20-years-2000-2019.

Dutheil, C., Menkes, C., Lengaigne, M. *et al.* Fine-scale rainfall over New Caledonia under climate change. *Clim Dyn* **56**, 87–108 (2021). https://doi.org/10.1007/s00382-020-05467-0

Evans, J.P., Belmadani, A., Menkes, C. *et al.* Higher-resolution projections needed for small island climates. *Nat. Clim. Chang.* **14**, 668–670 (2024). https://doi.org/10.1038/s41558-024-02028-9

Gimeno, L., Sorí, R., Vázquez, M., et al. 2022. « Extreme Precipitation Events ». *WIREs Water* 9 (6): e1611. https://doi.org/10.1002/wat2.1611.

Latos, B., Ferrett, S., Lefort, T., et al. 2026. « The Role of Equatorial Waves in Triggering Precipitation Extremes in the Maritime Continent ». Monthly Weather Review. *Monthly Weather Review* 154 (3): 333-68. https://doi.org/10.1175/MWR-D-25-0073.1.

Moron, V., Gouirand, I., & Taylor, M. (2016). Weather types across the Caribbean basin and their relationship with rainfall and sea surface temperature. Climate Dynamics, 47 (1), 601-621. https://doi.org/10.1007/s00382-015-2858-9.

Neelin, J. D., Martinez-Villalobos, C., Stechmann, S. N., et al. 2022. « Precipitation Extremes and Water Vapor: Relationships in Current Climate and Implications for Climate Change ». *Current Climate Change Reports* 8 (1): 17-33. https://doi.org/10.1007/s40641-021-00177-z.

Olaguera, L. M. P., Caballar, M. E., De Mata, J. C., Dagami, L. A. T., Matsumoto, J., & Kubota, H. (2021). Synoptic conditions and potential causes of the extreme heavy rainfall event of January 2009 over Mindanao Island, Philippines. Natural Hazards, 109 (3), 2601-2620. https://doi.org/10.1007/s11069-021-04934-z.

Pariyar, S. K., Keenlyside, N., Sorteberg, A., Spengler, T., Chandra Bhatt, B., and Ogawa, F.. 2020. « Factors affecting extreme rainfall events in the South Pacific ». *Weather and Climate Extremes* 29 (septembre): 100262. https://doi.org/10.1016/j.wace.2020.100262.

Peyrillé, P., Roehrig, R., et Sanogo, S., 2023. « Tropical Waves Are Key Drivers of Extreme Precipitation Events in the Central Sahel ». *Geophysical Research Letters* 50 (20): e2023GL103715. https://doi.org/10.1029/2023GL103715.

Quenum, G. M. L. D., Lemonsu, A., Corneille, L., Harader-Coustau, E., Caillaud, C., Somot, S., Monteiro, D., Machado, T., Li, S., Chev´e, M., & Richard, Y. (2026). Automatic mapping of urban heat islands based on high-resolution climate simulations with application to french cities. Urban Climate, 69, 103117. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.uclim.2026.103117

Serra, Y. L., Jiang, X., Tian, B., Amador-Astua, J., Maloney, E. D., et Kiladis, G. N., 2014. « Tropical Intraseasonal Modes of the Atmosphere ». *Annual Review of Environment and Resources* 39 (1): 189-215. https://doi.org/10.1146/annurev-environ-020413-134219.

Tellman, B., J. A. Sullivan, C. Kuhn, et al. 2021. « Satellite Imaging Reveals Increased Proportion of Population Exposed to Floods ». *Nature* 596 (7870): 7870. https://doi.org/10.1038/s41586-021-03695-w.

Zhang, C., Y. Wang, K. Hamilton, and A. Lauer, 2016: Dynamical Downscaling of the Climate for the Hawaiian Islands. Part I: Present Day. *J. Climate*, **29**, 3027–3048, https://doi.org/10.1175/JCLI-D-15-0432.1.