

## **PROJET DE FIN D'ETUDES**

### **INGENIEURS DE L'ECOLE NATIONALE DE LA METEOROLOGIE**

#### **FICHE DE PROPOSITION DE SUJET**

**Titre du sujet proposé : Développement et évaluation d'une descente d'échelle statistique des prévisions Arome sur la Réunion avec des méthodes de deep learning**

**Organisme ou service proposant le sujet : CNRM/GMAP**

**Responsable principal du stage :**

Responsable principal (le responsable principal est l'interlocuteur direct de l'Ecole. C'est à lui, en particulier, que seront adressés les courriers ultérieurs) :

NOM : RAYNAUD

Prénom : Laure

téléphone : 05 61 07 96 48

Mél : laure.raynaud@meteo.fr

Autres responsables : Ghislain Faure ([ghislain.faure@meteo.fr](mailto:ghislain.faure@meteo.fr), CNRM/GMAP), Sylvie Malardel ([sylvie.malardel@meteo.fr](mailto:sylvie.malardel@meteo.fr), LACY/Cylones), Quoc-Phi Duong ([quoc-phi.duong@meteo.fr](mailto:quoc-phi.duong@meteo.fr), LACY/Cyclones)

**Le stage présente-t-il un caractère de confidentialité ? : Non**

Le stage peut-il être effectué à distance ?: Oui

#### **1) Description du sujet – livrables attendus**

Les prévisions Arome déterministes opérationnelles sur les domaines Outre-Mer utilisent une résolution spatiale de 2.5km. En 2022, l'augmentation de résolution à 1.3km permettra d'améliorer la performance des prévisions, en particulier pour les événements à enjeux tels que les cyclones tropicaux et les fortes pluies. Des résolutions hectométriques permettraient de gagner encore en réalisme, en particulier sur l'île de la Réunion dont le relief est complexe. Néanmoins, le coût des prévisions Arome à des résolutions de quelques centaines de mètres ne permet pas d'envisager leur utilisation opérationnelle avant plusieurs années.

Une alternative moins coûteuse à cette descente d'échelle dynamique est la descente d'échelle statistique. L'objectif est d'apprendre une relation statistique entre les prévisions basse résolution (par exemple 2.5km ou 1.3km) et les prévisions haute résolution (par exemple 500m). Les méthodes de descente d'échelle les plus classiques reposent sur des interpolations simples ou des approches de régression linéaire. Récemment, plusieurs études ont montré que

des méthodes d'apprentissage profond tels que les réseaux de neurones convolutionnels offrent des perspectives intéressantes pour la descente d'échelle (Vandal et al., 2018; Baño-Medina et al., 2019, Leinonen et al., 2020; Hählein et al. 2020, Sha et al., 2020).

L'objectif du travail proposé est de développer une première descente d'échelle à 500m des prévisions Arome sur la Réunion, par apprentissage profond, et pour des variables de temps sensible telles que la température, le vent et les précipitations. Pour cela il s'agira :

1. de sélectionner et d'implémenter une ou plusieurs architectures de réseaux de neurones adaptées au problème de descente d'échelle, en s'appuyant en partie sur la littérature existante
2. de préparer les jeux de données d'entraînement et de validation pour les réseaux, à partir des simulations Arome basse et haute résolution réalisées par l'encadrement en amont du stage
3. de réaliser des expériences de sensibilité des descentes d'échelle à différents réglages des méthodes statistiques et configurations des jeux de données d'apprentissage
4. d'évaluer la pertinence des prévisions Arome 500m obtenues sur des situations à enjeux variées (fortes pluies, risque de feu de forêt, etc.)

Le stage requiert un réel intérêt pour la prévision numérique du temps et les méthodes d'intelligence artificielle. Une bonne connaissance des réseaux de neurones convolutionnels et de leur implémentation Python est requise.

Livrables attendus : codes, rapport, support de soutenance.

## **2) lieu du stage, durée ou période**

Ce stage de 6 mois se déroulera dans l'équipe RECYF du Centre National de Recherche Météorologique (CNRM), à Toulouse. Des interactions régulières avec l'équipe Cyclones du Lacy seront organisées.

## **3) Références bibliographiques**

Vandal T., E. Kodra, S. Ganguly, A. Michaelis, R. Nemani and A.R. Ganguly, 2018 : Generating high resolution climate change projections through single image super-resolution: an abridged version. International Joint Conference on Artificial Intelligence Organization. Proceedings of the Twenty-Seventh International Joint Conference on Artificial Intelligence, 7, 5389–5393. <https://doi.org/10.2496>.

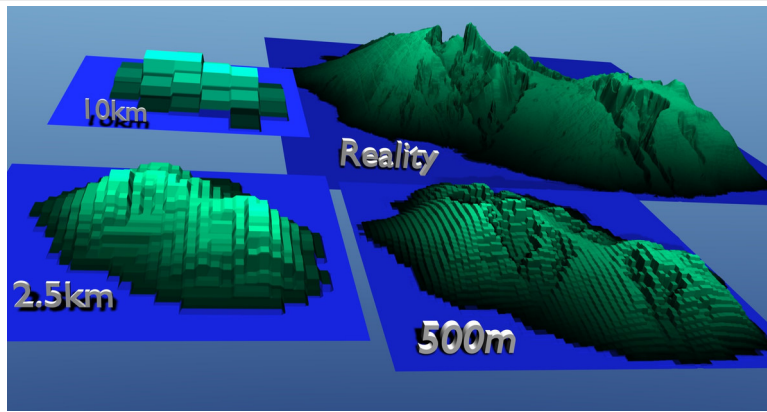
Bano-Medina J., R. Manzananas and J. M. Gutierrez, 2019 : Configuration and intercomparison of deep learning neural models for statistical downscaling. Geosci. Model Dev., 13, 2109–2124, 2020. <https://doi.org/10.5194/gmd-13-2109-2020>.

Leinonen J., D. nerini and A. Berne, 2020 : Stochastic Super-Resolution for Downscaling Time-Evolving Atmospheric Fields with a Generative Adversarial Network. IEEE Transactions In Geoscience and Remote Sensing, 2020. <https://arxiv.org/abs/2005.10374>.

Hählein K., M. Kern, T. Hewson and R. Westermann, 2020 : A comparative study of convolutional neural network models for wind field downscaling. Meteorol. Appl., 27, <https://doi.org/10.1002/met.1961>.

Sha, Y., Gagne II, D. J., West, G., & Stull, R., 2020 : Deep-Learning-Based Gridded Downscaling of Surface Meteorological Variables in Complex Terrain. Part I : Daily Maximum and Minimum 2-m Temperature, *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 59(12), 2075-2092. Retrieved Jul 27, 2021, from <https://journals.ametsoc.org/view/journals/apme/59/12/jamc-d-20-0058.1.xml>

Sha, Y., Gagne II, D. J., West, G., & Stull, R., 2020 : Deep-Learning-Based Gridded Downscaling of Surface Meteorological Variables in Complex Terrain. Part II: Daily Precipitation, *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 59(12), 2075-2092. Retrieved Jul 27, 2021, from <https://journals.ametsoc.org/view/journals/apme/59/12/jamc-d-20-0058.1.xml>



Relief de La Réunion selon la résolution horizontale du modèle