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

Titre du sujet proposé : Application du Machine Learning à la modélisation de la diffusion par les particules atmosphériques.

Organisme ou service proposant le sujet : DESR/CNRM/GMAP/OBS

Responsable principal du stage :

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

NOM : Thomas
Prénom : Guillaume
Téléphone : 0561078628
Mél : guillaume.thomas@meteo.fr

Autres responsables :

NOM : Dumas
Prénom : Hélène
Téléphone : 0561078478
Mél : helene.dumas@meteo.fr

NOM : Borderies
Prénom : Mary
Téléphone : 0561078470
Mél : mary.borderies@meteo.fr

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

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

1) Description du sujet – livrables attendus

Contexte

Météo-France utilise des modèles de prévision numérique du temps (PNT) pour produire des prévisions météorologiques et assurer la protection des personnes et des biens. Pour cela, deux modèles complémentaires sont utilisés: ARPEGE, un modèle global dédié aux prévisions à l'échelle planétaire, et AROME, un modèle à haute résolution spatiale, optimisé pour les prévisions régionales. Ces modèles reposent sur un état initial obtenu par assimilation de données, *i.e.* un processus qui combine une prévision récente avec diverses sources d'observations (conventionnelles, satellites, radar, etc.). Parmi ces observations, les données satellitaires micro-ondes jouent un rôle clé : selon la fréquence, elles permettent d'observer les nuages et les précipitations sous différentes phases (gouttes d'eau, cristaux de glace, etc.). Les fréquences les plus basses sont plus informatives sur la pluie, alors que les fréquences submillimétriques disponibles à bord de la nouvelle génération de satellites européens, sont plutôt sensibles aux particules de glace. Les observations micro-ondes semblent donc être particulièrement pertinentes pour valider la représentation des nuages dans les modèles de PNT.

Pour assimiler ces observations, il est nécessaire de simuler leur équivalent à partir de variables prévues par les modèles de prévision numérique du temps. Dans le cas d'ARPEGE et d'AROME, cette simulation est effectuée avec le logiciel de transfert radiatif RTTOV. En présence de variables condensées (i.e. hydrométéores), des bases de données contenant des coefficients de diffusion (comme Liu (Liu, 2008) ou ARTS (Eriksson *et al*, 2018)) sont utilisées afin de simuler l'impact de ces particules sur le rayonnement électromagnétique. Ces bases sont pré-calculées pour différentes gammes de températures, fréquences et contenus en hydrométéores et peuvent devenir très volumineuses. Pour concilier précision et efficacité opérationnelle, un compromis est fait sur la résolution des plages de paramètres, ce qui est un frein pour une utilisation de RTTOV pour sur des modèles ayant une représentation des hydrométéores plus raffinée (ex: schéma à plusieurs moments qui prévoient la concentration en plus des contenus des hydrométéores).

Objectifs du stage

Dans ce contexte, le stage propose de développer une approche alternative basée sur l'intelligence artificielle. L'objectif principal est d'implémenter un réseau neurones capable de restituer directement les coefficients de diffusion pour une scène météorologique donnée, sans recourir à l'utilisation des tables pré-calculées. Cette approche permettrait également d'utiliser RTTOV avec des prédicteurs supplémentaires par rapport à ceux actuellement utilisés (ex: concentration en glace des hydrométéores en plus de leurs contenus).

Dans le cadre de ce stage, les missions principales seront :

- Prise en main des bases de données de diffusion électromagnétique et du logiciel de transfert radiatif RTTOV.
- Prétraitement des données : structuration, normalisation et préparation des jeux de données pour l'apprentissage.
- Développement d'un réseau de neurones (architecture, entraînement, validation) pour inférer les coefficients de diffusion en fonction des paramètres

météorologiques (température, fréquence, contenu en hydrométéores, etc.).

- Évaluation des performances : comparaison avec les méthodes d'interpolation actuelles, analyse des erreurs et des gains potentiels.

- Si le temps le permet, les versions tangent linéaires et adjointes de ce nouvel opérateur d'observations seront développées. Cette étape permettra d'assurer que l'opérateur d'observations est utilisable dans les algorithmes d'assimilation utilisés à Météo-France.

Ce stage est une première étape importante pour démontrer la faisabilité de cette méthode. Par la suite, une extension de ce travail sera réalisée afin d'utiliser une représentation plus réaliste des hydrométéores qui aura un impact important sur les coefficients de diffusion simulés.

Bibliographie

- Barlakas, V., Galligani, V. S., Geer, A. J., & Eriksson, P. (2022). On the accuracy of RTTOV-SCATT for radiative transfer at all-sky microwave and submillimeter frequencies. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, *283*, 108137.
- Eriksson, P., Ekelund, R., Mendrok, J., Brath, M., Lemke, O., & Buehler, S. A. (2018). A general database of hydrometeor single scattering properties at microwave and sub-millimetre wavelengths. Earth System Science Data, 10(3), 1301-1326.

- Geer, A. J., Bauer, P., Lonitz, K., Barlakas, V., Eriksson, P., Mendrok, J., ... & Chambon, P. (2021). Bulk hydrometeor optical properties for microwave and sub-mm radiative transfer in RTTOV-SCATT v13. 0. *Geoscientific Model Development Discussions*, *2021*, 1-45.

- Geer, A. J., & Baordo, F. (2014). Improved scattering radiative transfer for frozen hydrometeors at microwave frequencies. *Atmospheric Measurement Techniques*, *7*(6), 1839-1860.

- Liu, G. (2008). A database of microwave single-scattering properties for nonspherical ice particles. Bulletin of the American Meteorological Society, 89(10), 1563-1570.

2) <u>lieu du stage, durée ou période</u> : Le stage se déroulera sur une période de 6 mois au sein de l'équipe DESR/CNRM/GMAP/OBS basée au CNRM à Toulouse, en collaboration avec l'équipe DESR/CNRM/GMAP/ASSIM.