

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'un passage à l'échelle des prévisions Arome sur l'Europe avec des méthodes d'Intelligence Artificielle Générative.

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

Responsable principal du stage :

NOM : SANCHEZ

Prénom : Victor

téléphone : 05 61 07 90 53

Mél : victor.sanchez@meteo.fr

Autres responsables : Angélique Bonamy, Laure Raynaud

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

L'utilisation de l'intelligence artificielle (IA) pour la Préviation Numérique du Temps (PNT) se démocratise progressivement depuis plusieurs années. Les algorithmes d'apprentissage profond et les approches génératives ont d'ailleurs récemment fait leur preuve dans ce domaine d'application. Désormais, ces méthodes ont la capacité de produire des champs physiques avec une certaine cohérence physique, pour un coût numérique très inférieur aux méthodes classiques d'intégration numérique.

Le stage proposé se place dans le cadre de Destination Earth ([DestinE](#)). DestinE est une initiative de la Commission européenne dans le cadre du programme EU Digital Europe. Ce projet vise à déployer plusieurs jumeaux numériques de la Terre, qui aideront à surveiller et à prévoir les changements environnementaux et l'impact humain, afin de développer et de tester des scénarios qui soutiendraient le développement durable et les politiques européennes correspondantes pour le Green Deal. L'IA, et en particulier l'apprentissage profond, sont un des axes développés dans DestinE.

Le travail durant le stage sera à destination du projet DE_371, auquel l'équipe d'accueil participe. L'objectif du projet DE_371 est de démontrer que des méthodologies utilisant les algorithmes d'IA à l'état de l'art peuvent aider à améliorer l'estimation de l'incertitude des prévisions, en permettant de produire des prévisions d'ensemble de grande taille et à haute résolution spatiale et temporelle.

L'objectif du travail proposé est d'utiliser des techniques d'IA dites génératives comme les Réseaux Antagonistes Génératifs (GAN) [1] pour améliorer les performances du système opérationnel de prévision d'ensemble Arome. L'équipe d'accueil a développé un prototype StyleGAN [2][3] capable de générer des membres Arome physiquement cohérents sur un quart sud-est de la France et pour quelques variables de surface. Ce stage se propose d'utiliser ce prototype comme base de développement. Les résultats encourageants mènent vers plusieurs pistes d'approfondissement et d'amélioration, qui feront l'objet du présent stage, parmi lesquelles :

- Adaptation du modèle à une extension du domaine actuel.
- Exploration de méthodes de Transfer Learning [4] sur le domaine nordique (Norvège, Suède).
- Evaluation des prévisions StyleGAN sur des événements à fort impact.

Le ou la stagiaire pourra disposer de moyens de calculs sur GPU importants (plate-forme Météo France et/ou super-calculateur EuroHPC), au sein d'une équipe expérimentée et motivée. Il ou elle bénéficiera des outils et méthodes déjà développés dans l'équipe. Ce stage sera l'occasion de développer ses compétences, notamment :

- expérience de développement d'algorithmes d'apprentissage profond à l'état de l'art
- manipulation d'une infrastructure de calcul haute-performance
- gestion d'une base de code commune et ajout de fonctionnalités
- interactions avec des partenaires internationaux (centres météorologiques en Norvège et Suède)

Ce stage requiert un réel intérêt pour la prévision numérique du temps (des connaissances préalable à ce sujet seraient un plus mais ne sont pas nécessaire). De solides compétences en statistiques et une bonne maîtrise du langage Python seront également nécessaires. Une connaissance préalable du fonctionnement des réseaux de neurones profonds (en particulier des réseaux convolutifs CNN) est souhaitée. Une première expérience d'une bibliothèque de Deep Learning (PyTorch, TensorFlow, ...) serait un plus.

Livrables attendus : codes, rapport, support de soutenance.

2) Lieu du stage, durée ou période

Ce stage de 6 mois se déroulera dans l'équipe Prévisibilité du Centre National de Recherche Météorologique (CNRM), à Toulouse. Des réunions régulières avec les ingénieurs du projet seront organisées.

3) Références bibliographiques

[1] Goodfellow, I., Pouget-Abadie, J., Mirza, M., Xu, B., Warde-Farley, D., Ozair, S., ... & Bengio, Y. (2020). Generative adversarial networks. *Communications of the ACM*, 63(11), 139-144. <https://dl.acm.org/doi/pdf/10.1145/3422622>.

[2] Karras, T., Laine, S., Aittala, M., Hellsten, J., Lehtinen, J., & Aila, T. (2020). Analyzing and improving the image quality of stylegan. In *Proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 8110-8119). https://openaccess.thecvf.com/content_CVPR_2020/papers/Karras_Analyzing_and_Improving_the_Image_Quality_of_StyleGAN_CVPR_2020_paper.pdf

[3] Brochet, C., Raynaud, L., Thome, N., Plu, M., & Rambour, C. (2023). Multivariate Emulation of Kilometer-Scale Numerical Weather Predictions with Generative Adversarial Networks: A Proof of Concept. *Artificial Intelligence for the Earth Systems*, 2(4), 230006. <https://doi.org/10.2496>.

[4] Lee, D., Lee, J. Y., Kim, D., Choi, J., & Kim, J. (2022). Fix the noise: Disentangling source feature for transfer learning of StyleGAN. arXiv preprint arXiv:2204.14079. <https://arxiv.org/pdf/2204.14079>

