

**PROJET DE FIN D'ETUDES**

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

**FICHE DE PROPOSITION DE SUJET**

**Titre du sujet proposé :**

**Amélioration du post-traitement des prévisions d'ensemble des hauteurs de neige récentes par une stratégie d'apprentissage robuste dans l'espace.**

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

**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 : RADANOVICS

Prénom : Sabine

téléphone : 04 76 63 79 03

Mél : sabine.radanovics@meteo.fr

**Autres responsables :** Matthieu LAFAYSSE

**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**

Des prévisions d'ensemble opérationnelles du manteau neigeux sont produites à l'échelle des massifs par tranches d'altitude et au niveau des stations d'observation avec la chaîne de modélisation S2M (Vernay et al., 2015). Dans cette chaîne on utilise en entrée les prévisions d'ensemble Arpège (PEARP) et les dernières observations en montagne pour produire une analyse et des prévisions des variables météorologiques à l'échelle des massifs avec le système SAFRAN et une prévision de l'évolution du manteau neigeux avec le modèle Crocus. La hauteur de la neige récente est une variable importante pour la prévision des risques en particulier d'avalanches, mais aussi la gestion des infrastructures (routes, lignes électriques). C'est également une variable d'intérêt pour le grand public, en lien notamment avec les conditions de ski en montagne. La hauteur de neige récente issue de Crocus sera utilisée pour initialiser le nouveau bulletin montagne et avalanche de Météo-France, appelé bulletin 4-saisons à partir de l'été 2022.

Cependant, la qualité et l'utilité de ces prévisions de hauteur de neige récente peuvent être améliorées par

un post-traitement statistique qui réduit le biais des prévisions et améliore la fiabilité des différents niveaux de probabilité associés à ces prévisions d'ensemble. Nousu et al. (2019) ont implémenté une méthode de post-traitement du type Ensemble Model Output Statistics (EMOS) avec une loi Gamma décalée et censurée pour les hauteurs de neige récentes. Les résultats étaient globalement encourageants, mais deux faiblesses ont été soulevées lors des premières expérimentations en temps réel : (1) la calibration manque de robustesse à des endroits avec peu d'observations disponibles, (2) la calibration avec des re-prévisions qui ont moins de membres d'ensemble mène à une sur-correction de la dispersion.

Evin et al. (2021) ont comparé les résultats de Nousu et al. (2019) avec une méthode de type Quantile Regression Forest, permettant d'exploiter davantage de prédicteurs. La plus-value de la méthode est nette sur des données homogènes mais elle manque de robustesse lorsqu'elle est appliquée sur des systèmes opérationnels évolutifs.

L'objectif du projet est (1) d'améliorer la stratégie d'apprentissage de l'EMOS de Nousu et al. (2019), de façon à obtenir des résultats plus robustes dans l'espace et moins sensibles au changement de la taille de l'ensemble et à la manière de construire les perturbations entre les ré-prévisions et la configuration opérationnelle, et (2) d'évaluer la qualité des prévisions post-traitées dans une configuration opérationnelle. Des avancés méthodologiques concernant la prise en compte des incertitudes liés à la limite pluie-neige dans l'EMOS pourront être recherchées.

Le travail consiste donc à

- chercher, implémenter et tester une ou plusieurs méthodes d'apprentissage en s'inspirant par exemple des travaux de Dabernig et al. (2017) et Stauffer et al. (2018). Les données disponibles pour cela sont des observations des hauteurs de neige récente sur des planches à neige issues du réseau nivo-météorologique et les re-prévisions sorties en 2018 basés sur la configuration de la PEARP de décembre 2017. Une nouvelle version des re-prévisions basés sur la configuration de la chaîne en double actuelle est prévu pour le printemps 2022 par le GMAP et pourrait être utilisée si elle arrive à temps.
- effectuer une évaluation détaillée des prévisions post-traitées en mesurant la plus-value des méthodes proposées par rapport aux prévisions opérationnelles

## Livrables

- Rapport de stage
- présentation des résultats lors d'un séminaire ou réunion au CEN
- Implémentation en python documentée et ré-utilisable des méthodes évaluées afin de faciliter le transfert vers l'opérationnel du post-traitement.

## Bibliographie

Dabernig, M., Mayr, G. J., Messner, J. W., and Zeileis, A. (2017). Spatial ensemble post-processing with standardized anomalies. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 143(703):909–916.

Evin, G., Lafaysse, M., Taillardat, M., and Zamo, M. (2021). Calibrated ensemble forecasts of the height of new snow using quantile regression forests and ensemble model output statistics. *Nonlinear Processes in Geophysics Discussions*, 2021:1–23.

Nousu, J.-P., Lafaysse, M., Vernay, M., Bellier, J., Evin, G., and Joly, B. (2019). Statistical post-processing of ensemble forecasts of the height of new snow. *Non-linear Processes in Geophysics*, 26(3):339–357.

Stauffer, R., Mayr, G. J., Messner, J. W., and Zeileis, A. (2018). Hourly probabilistic snow

forecasts over complex terrain: a hybrid ensemble postprocessing approach. *Advances in Statistical Climatology, Meteorology and Oceanography*, 4(1/2):65–86.

Vernay, M., M. Lafaysse, L. Merindol, G. Giraud and S. Morin, 2015. Ensemble forecasting of snowpack conditions and avalanche hazard, *Cold Reg. Sci. Technol.* 120, 251-262 , Doi : 10.1016/j.coldregions.2015.04.010

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

**Centre d'Etudes de la Neige**

**1441 rue de la Piscine, Domaine universitaire - 38400 Saint-Martin-d'Hères**

**6 mois entre février et août 2022**