

**PROJET DE FIN D'ETUDES**

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

**FICHE DE PROPOSITION DE SUJET**

**Titre du sujet proposé : Comment les propriétés thermodynamiques influencent-elles le cycle de vie du brouillard et son développement vertical ?**

**Organisme ou service proposant le sujet : DESR/CNRM/GMEI/MNPCA**

**Responsable principal du stage : Pauline Martinet**

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 : MARTINET

Prénom : Pauline

téléphone : 0561079031

Mél : martinet.pauline@gmail.com

Autres responsables : Frédéric Burnet

**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**

**Descriptif du sujet :**

Malgré le fort impact sociétal des épisodes de **brouillard**, une bonne prévision des heures de formation et de dissipation du brouillard ainsi que de son épaisseur et de la baisse de visibilité associée reste toujours difficile même avec les modèles de prévision numérique du temps (PNT) les plus avancés (Antoine et al. 2023, Bell et al 2021). Il est donc essentiel de mieux comprendre les processus de fine échelle gouvernant le cycle de vie du brouillard ainsi que les sources d'erreurs dans les modèles actuels de PNT. Un nombre restreint de cas d'études ont souligné l'importance d'une bonne initialisation des **profils verticaux de température et d'humidité** dans la **couche limite** afin d'améliorer la prévision du brouillard, en particulier dans le cas des brouillards radiatifs.

Le but du stage est de généraliser ces résultats et de caractériser les propriétés thermodynamiques conditionnant la formation et le développement du brouillard avec une approche statistique en utilisant les données de la **campagne de mesures SOFOG3D** qui s'est déroulée durant l'hiver 2019-2020 dans le sud-ouest de la France (<http://www.umn-cnrm.fr/spip.php?article1086>). Un réseau dense d'observations 3D (mesures in situ et télédétection), déployé afin de mieux comprendre les erreurs de modélisation du modèle AROME, a permis d'échantillonner une centaine d'épisodes sur tout le domaine. Le travail proposé consiste à analyser ces données afin de :

- Quantifier la **variabilité spatiale** à l'échelle régionale des **propriétés thermodynamiques** de l'atmosphère au cours des différentes phases du brouillard (pré-brouillard, formation, phase mature, dissipation).

- Mieux comprendre comment les **propriétés thermodynamiques** (stratification verticale et évolution temporelle) influencent la **formation du brouillard**, sa **durée** et ses propriétés **microphysiques** (contenu intégré en eau liquide, durée, épaisseur) selon le type de brouillard (radiatif, affaïssement de stratus, advectif).
- Évaluer la capacité du modèle de prévision **AROME** à reproduire le **lien statistique** entre **propriétés thermodynamiques et microphysiques** en comparaison à celui dérivé des observations.

Pour cela, les données issues du réseau de radiomètres micro-ondes (MWR) au sol déployé spécifiquement pour cette campagne (Martinet et al. 2022) donneront accès aux profils de température, d'humidité ainsi qu'au contenu intégré en eau liquide à haute résolution temporelle sur tout l'hiver. En plus de l'évolution temporelle et verticale des paramètres thermodynamiques fournie par les MWRs, le radar à nuage BASTA, déployé à la fois au super-site dans les Landes, et sur le site d'Agen permettra de connaître l'épaisseur du brouillard et d'obtenir une information sur le contenu en eau liquide par le biais des données de réflectivité radar. Les données de visibilité au sol permettront enfin de quantifier la durée de chaque épisode de brouillard. Le travail consistera en une analyse statistique des gradients verticaux et temporels de température et d'humidité qui seront mis en regard des caractéristiques du brouillard (occurrence, épaisseur, durée, eau liquide intégrée) en comparant les propriétés du site d'Agen à celles obtenues au super-site. Les épisodes de brouillard seront classés et étudiés selon le type de brouillard observé. Les gradients verticaux et temporels de température et d'humidité ainsi que les propriétés microphysiques seront moyennés sur les différentes phases du cycle de vie selon les critères proposés par (Dione et al. 2023) : il s'agit d'évaluer si cette analyse préliminaire menée sur 5 épisodes du super-site est généralisable au site d'Agen, et s'il est possible d'établir des relations statistiques entre propriétés thermodynamiques et microphysiques. Si le temps le permet, la même méthodologie sera appliquée aux prévisions AROME (profils de température, humidité et eau liquide). On évaluera ainsi si le lien statistique entre propriétés thermodynamiques et microphysiques dérivé des observations est comparable à celui dérivé du modèle AROME.

#### Références :

- Antoine, S., R. Honnert, Y. Seity, B. Vié, F. Burnet, and P. Martinet. Evaluation of an improved AROME configuration for fog forecasts during the SOFOG3D campaign. *Weather and forecasting*, 38(9), 1605-1620, 2023
- Bell, A., Martinet, P., Caumont, O., Vié, B., Delanoë, J., Dupont, J.-C., and Borderies, M.: W-band radar observations for fog forecast improvement: an analysis of model and forward operator errors, *Atmos. Meas. Tech.*, 14, 4929–4946, <https://doi.org/10.5194/amt-14-4929-2021>, 2021.
- Dione, C., Haefelin, M., Burnet, F., Lac, C., Canut, G., Delanoë, J., Dupont, J.-C., Jorquera, S., Martinet, P., Ribaud, J.-F., and Toledo, F.: Role of thermodynamic and turbulence processes on the fog life cycle during SOFOG3D experiment, *EGUsphere* [preprint], <https://doi.org/10.5194/egusphere-2023-1224>, 2023.
- Martinet, P., Unger, V., Burnet, F., Georgis J.-F., Hervo M., Huet T., Löhnert U., Miller E., Orlandi E., Price J., Schröder M., and Thomas G. A dataset of temperature, humidity, and liquid water path retrievals from a network of ground-based microwave radiometers dedicated to fog investigation. *Bull. of Atmos. Sci. & Technol.* 3, 6 (2022). <https://doi.org/10.1007/s42865-022-00049->

#### Livrable attendu :

- Codes python commentés et documentés pour la réalisation des différentes figures.
- Rapport de stage
- Présentation orale des travaux

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

- CNRM Toulouse
- Durée : environ 6 mois
- Période : février à juillet 2024