

## M2 SOAC : Fiche de stage de recherche en laboratoire

Laboratoire : Centre National de Recherches Météorologiques (CNRM)

Titre du stage : Implémentation de nouvelles propriétés optiques des nuages de glace dans le modèle ARPEGE-Climat et étude de l'impact sur le bilan radiatif de la Terre

Nom et statut du (des) responsable (s) de stage :

Romain Roehrig, IPEF (CNRM/GMGEC/PHYCLIM) / Quentin Libois, IPEF (CNRM/GMEI)

Coordonnées (téléphone et email) du (des) responsable (s) de stage :

romain.roehrig@meteo.fr, 05 61 07 97 62 / quentin.libois@meteo.fr, 05 61 07 96 03

Sujet du stage :

Le bilan radiatif de la Terre est une composante essentielle du climat, qui dépend fortement de l'effet radiatif des nuages. Les interactions entre rayonnement et nuages relèvent de processus microscopiques encore assez mal représentés dans les modèles de climat, en particulier la phase galce de ces nuages, caractérisée par des formes de cristaux complexes et diverses. Il en résulte que des hypothèses fortes sont généralement faites pour représenter ces cristaux de glace dans les codes radiatifs, hypothèses souvent incohérentes avec la manière dont ils sont représentés dans les schémas microphysiques. Des travaux récents réalisés dans le cadre du projet ICCARE (Ice Crystals in deep convective Clouds: interactions with Aerosols, Radiation and Electricity) sur le code de transfert radiatif ecRad (Hogan and Bozzo, 2018) permettent aujourd'hui de mettre en cohérence schéma microphysique et code radiatif, et d'introduire différentes hypothèses sur la forme des cristaux (colonnes hexagonales, plaquettes, agrégats, etc.). Par ailleurs, des mesures réalisées en laboratoire dans le cadre de la préparation de la mission satellite FORUM (Far infrared Outgoing Radiation Understanding and Monitoring, lancement prévu en 2027), qui mesurera pour la première fois l'ensemble du spectre infrarouge (IR) de la Terre à haute résolution spectrale, ont mis en évidence une dépendance en température de l'indice optique de la glace dans l'IR, actuellement non prise en compte dans les modèles de climat (l'indice optique utilisé correspond à une température de  $-6^{\circ}\text{C}$ , ne couvrant donc pas l'ensemble des situations rencontrées dans l'atmosphère). Des études récentes ont montré que tant la forme des cristaux (Yi, 2022) que la dépendance en température des propriétés optiques des cristaux (Ren et al., 2025) avaient un impact important sur le bilan radiatif de la Terre.

L'objectif du stage est double. Il s'agira dans un premier temps de mettre en cohérence le schéma microphysique du modèle ARPEGE-Climat du CNRM (Roehrig et al., 2020) et le code ecRad, pour ce qui concerne la forme des cristaux et leur distribution en taille. Il s'agira de s'appuyer sur les travaux réalisés récemment au CNRM pour le modèle Mésos-NH. A cette occasion, une dépendance en température des propriétés optiques dans l'IR sera également ajoutée. Une fois ces nouvelles paramétrisations implémentées dans ARPEGE-Climat, des simulations climatiques seront réalisées pour analyser la sensibilité de l'effet radiatif des nuages et du climat modélisés, à la forme des cristaux de glace et à la dépendance en température de l'indice optique de la glace. Ces premières simulations n'étant pas a priori calibrées, une étape supplémentaire cherchera un meilleur équilibre énergétique du modèle pour aboutir à une meilleure estimation de cette sensibilité. Ces travaux contribueront à une meilleure représentation de l'impact radiatif des nuages et une meilleure estimation de leur réponse au réchauffement climatique.

Bibliographie :

- Hogan, R. J., & Bozzo, A. (2018). A flexible and efficient radiation scheme for the ECMWF model. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 10(8), 1990-2008.
- Ren, T., Yang, P., Brindley, H. E., L'Ecuyer, T. S., & Maestri, T. (2025). Temperature-dependent optical properties of ice crystals in the far-Infrared regime. *Geophysical Research Letters*, 52(12), e2025GL116735.
- Roehrig et al., 2020: The CNRM Global Atmosphere Model ARPEGE-Climat 6.3: Description and Evaluation. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 12(7), e2020MS00207.
- Yi, B. (2022). Diverse cloud radiative effects and global surface temperature simulations induced by different ice cloud optical property parameterizations. *Scientific Reports*, 12(1), 10539.