

M2 SOAC : Fiche de stage de recherche en laboratoire

Laboratoire : Laboratoire d'Aérodynamique (LAERO), Université de Toulouse, CNRS, UPS, IRD

Titre du stage : Étude de la sensibilité des systèmes convectifs aux processus microphysiques liés à la formation secondaire de glace

Nom et statut du (des) responsable (s) de stage : Christelle Barthe (LAERO, chercheur CNRS) et Samira El Gdachi (LAERO, Post-doc CNRS)

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

Christelle Barthe : christelle.barthe@cnrs.fr (05 61 33 27 43)

Samira El Gdachi : samira.el-gdachi@cnrs.fr

Sujet du stage :

De nombreux nuages (appelés nuages mixtes) contiennent à la fois des gouttelettes d'eau liquide et des cristaux de glace. Les nuages convectifs profonds sont l'un des nombreux types de nuages à phase mixte. Étant donné que la phase des nuages joue un rôle dans leur évolution, la formation des précipitations et les propriétés radiatives à l'échelle régionale et mondiale (Korolev et al. 2017), il est très important de comprendre les processus microphysiques des nuages, en particulier les processus de formation de glace dans les nuages à phase mixte. Les gouttelettes de nuages surfondues gèlent de manière homogène lorsque la température est inférieure à -38°C , tandis qu'elles se nucléent de manière hétérogène à l'aide d'aérosols servant de particules de nucléation de la glace (INP) dans la plage de température comprise entre 0°C et -38°C . Les observations in situ des nuages en phase mixte révèlent que les concentrations en nombre de cristaux de glace sont souvent supérieures aux concentrations en INP de plusieurs ordres de grandeur (Field et al. 2017 ; Lauber et al. 2021 ; Luke et al. 2021 ; Georgakaki et al. 2022). Cet écart a été attribué à des sources d'INP inconnues et à des processus de production secondaire de glace (SIP). Les SIP opèrent principalement via trois mécanismes : Hallett–Mossop, actif entre -3 et -8°C , où le givrage de gouttelettes surfondues sur des particules glacées (ex. graupel) éjecte des éclats de glace ; l'éclatement des gouttes lors de la congélation, lorsque des gouttes surfondues se fragmentent en plusieurs cristaux ; et la fragmentation lors de collisions glace–glace (neige, agrégats, graupel), qui brise les hydrométéores et génère des cristaux secondaires. Ces voies peuvent multiplier rapidement les concentrations en nombre de cristaux de glace, renforcer le givrage et réorganiser la microphysique précipitante, d'où la nécessité de mieux les quantifier et de les représenter explicitement pour améliorer la simulation et la prévision des systèmes convectifs.

Ce stage vise à identifier et quantifier la contribution des mécanismes de production secondaire de glace (SIP) au cycle de vie et à la structure interne d'un système convectif tropical.

Le cas d'étude correspond au système observé pendant la campagne HAIC, Guyane française (2015). Il sera modélisé avec Meso-NH (Lac et al., 2018) intégrant des développements récents effectués dans le cadre de l'ANR ICCARE (Barthe, 2022 ; <https://iccare.aeris-data.fr>). À partir d'une simulation de référence, on conduira une étude de sensibilité en activant/désactivant les mécanismes de SIP. L'évaluation combinera des diagnostics microphysiques et thermodynamiques pour confronter les sorties du modèle aux observations HAIC. Les résultats de ce stage permettront d'affiner la représentation des mécanismes intégrés dans le modèle, tout en approfondissant notre compréhension de leurs mécanismes d'interaction et de leur influence sur la simulation de la convective. Cette approche développera donc des compétences en modélisation numérique, en traitement des données observées, et fournira une introduction aux processus microphysiques nuageux.

Korolev et al. (2017) "Mixed-phase clouds: Progress and challenges." Meteorological Monographs 58 : 5-1.

Field et al. (2017): Secondary ice production: Current state of the science and recommendations for the future. Ice Formation and Evolution in Clouds and Precipitation: Measurement and Modeling Challenges, Meteor. Monogr., No. 58, Amer. Meteor. Soc., <https://doi.org/10.1175/AMSMONOGRAPHS-D-16-0014.1>.

Lauber et al. (2018): Secondary ice formation during freezing of levitated droplets. J. Atmos. Sci., 75, 2815–2826, <https://doi.org/10.1175/JAS-D-18-0052.1>

Luke et al. (2021): New insights into ice multiplication using remote-sensing observations of slightly supercooled mixed-phase clouds in the Arctic. Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 118, e2021387118, <https://doi.org/10.1073/pnas.2021387118>.

Georgakaki et al. (2022): Secondary ice production processes in wintertime alpine mixed-phase clouds. Atmos. Chem. Phys., 22, 1965–1988, <https://doi.org/10.5194/acp-22-1965-2022>.

Wurtz et al. (2023): Improvements to the parameterization of snow in AROME in the context of ice crystal icing. Quart. J. Roy. Meteor. Soc., DOI:10.1002/qj.4437

Grzegorzczak et al. (2025): Investigating secondary ice production in a deep convective cloud with a 3D bin microphysics model: Part I-Sensitivity study of microphysical processes representations. Atmospheric Research, 313, 107774.

Huang et al. (2021): Microphysical processes producing high ice water contents (HIWCs) in tropical convective clouds during the HAIC-HIWC field campaign: evaluation of simulations using bulk microphysical schemes. Atmospheric Chemistry and Physics, 21(9), 6919–6944.

Lac et al. (2018): Overview of the Meso-NH model version 5.4 and its applications. Geoscientific Model Development, 11, 1929–1969.

Barthe, C., ICCARE : un projet pour comprendre le rôle des cristaux de glace dans le développement des orages. La Météorologie, 119, <https://doi.org/10.37053/lameteorologie-2022-0076>, 2022.