

## Ecole Doctorale des Sciences Fondamentales

**Titre de la thèse : Impact des conditions environnementales sur les propriétés microphysiques et radiatives des nuages en phase mixte en Arctique.**

Directeur de thèse : Frédéric Szczap

Unité de rattachement : Laboratoire de Météorologie Physique (LaMP)

Equipe : Microphysique des nuages et précipitations (MNP)

Etablissement de rattachement : Université Clermont Auvergne (UCA)

Courriel et téléphone : [Frederic.Szczap@uca.fr](mailto:Frederic.Szczap@uca.fr) 0473407357

Co-encadrant éventuel : Olivier Jourdan et Guillaume Mioche

Unité de rattachement : Laboratoire de Météorologie Physique (LaMP)

Etablissement de rattachement : Université Clermont Auvergne (UCA)

### Résumé :

L'Arctique est particulièrement sensible au changement climatique, avec un réchauffement deux fois plus rapide que la moyenne mondiale (phénomène d'amplification arctique). Les nuages et en particulier les nuages bas en phase mixte

(MPCs) caractérisés par une coexistence d'eau surfondue et de cristaux de glace semblent jouer un rôle primordial sur le bilan radiatif en Arctique de par leur persistance, leur ubiquité et leurs propriétés microphysiques particulières. Néanmoins, leurs distributions spatiales et saisonnières, leurs effets radiatifs ainsi que leur impact sur le cycle hydrologique sont encore mal connus compte-tenu du manque d'observations *in situ* et des limites des techniques de télédétection spatiale dans ces régions. De nombreuses incertitudes accompagnent nos connaissances sur les interactions entre les différents processus dynamiques, radiatifs, microphysiques associés aux MPCs et les conditions environnementales à plus grande échelle (état de surface, origine des masses d'air, situation météorologique). Ce complexe entrelacs de rétroactions et d'interactions à différentes échelles reste encore très mal représenté dans les différents modèles limitant notre capacité à prédire les effets du changement climatique dans ces régions. Depuis 2017, la plateforme de mesure aéroportée (PMA) du LaMP a été déployée lors de trois campagnes de mesures au large de l'archipel du Svalbard pour caractériser les propriétés microphysiques et optiques *in situ* des MPCs dans des conditions environnementales contrastées. Une base de données sans précédent des propriétés des nuages a été acquise lors des campagnes aéroportées ACLOUD à la fin du printemps 2017 (Arctic Cloud Observations Using airborne measurements during polar Day), AFLUX au début du printemps 2019 (Joint Aircraft campaign observing FLUXes of energy and momentum in the cloudy boundary layer over polar sea ice and ocean) et MOSAiCACA lors de l'été 2020 (Multidisciplinary drifting Observatory for the Study of Arctic Climate). L'analyse de ces mesures en synergie avec les observations concomitantes de télédétection (notamment radar/lidar) et de flux radiatifs effectuées lors de ces campagnes devrait nous permettre d'améliorer notre compréhension des processus microphysiques responsables de la glaciation, de la distribution de phase ainsi que leurs rôles sur la persistance des MPCs et leur impact radiatif.

## Ecole Doctorale des Sciences Fondamentales

L'objectif principal de cette thèse sera d'étudier l'impact des conditions environnementales sur les propriétés microphysiques et radiatives des nuages en phase mixte en Arctique. Une première étape consistera à analyser les données *in situ* des propriétés des nuages (contenu en eau et en glace, concentration, taille des hydrométéores, propriétés de diffusion) afin de caractériser leur distribution horizontale et verticale en fonction de l'origine des masses d'air (type d'aérosols), l'état de surface (eau libre, banquise) ainsi que les conditions thermodynamiques.

Ces analyses permettront d'évaluer la variabilité des propriétés microphysiques et optiques des MPCs ainsi que l'échelle d'inhomogénéité du partitionnement eau glace dans différentes conditions météorologiques. Dans un deuxième temps, le candidat développera des paramétrisations du nombre de cristaux de glace et de la répartition eau/glace en fonction de la quantité d'aérosols, de la température et de l'humidité pour différentes conditions de surface. Des relations entre le contenu en eau/glace, l'extinction et la réflectivité radar pourront également être établies pour contribuer à l'amélioration des algorithmes de télédétection spatiale. La troisième étape de la thèse se focalisera sur l'évaluation de l'effet radiatif de ces nuages pour des conditions environnementales ciblées. Pour cela, le candidat s'appuiera sur le générateur de nuages 3DCLOUD contraint par les observations *in situ* pour calculer les propriétés radiatives (flux, profils verticaux des taux de chauffages) de ces nuages à l'aide d'un modèle de transfert radiatif 3D (SHDOM). Une attention particulière sera portée sur l'effet des hétérogénéités de phase de ces nuages sur leurs propriétés radiatives.

Ce sujet s'inscrit dans la continuité d'études précédemment menées par l'équipe encadrante (Mioche *et al.*, 2017 ; Mioche et Jourdan, 2018 ; Szczap *et al.*, 2014) sur les propriétés microphysiques des nuages Arctiques avec toutefois une spécificité marquée sur l'influence des conditions environnementales à grande échelle ainsi sur que l'impact radiatif. Les travaux envisagés lors de cette thèse s'intègrent idéalement dans les objectifs des projets financés IPEV-MPC<sup>2</sup>EA et CNES-EECLAT ainsi que dans le projet (MPC)<sup>2</sup> soumis à l'ANR en 2020. Le candidat pourra également s'appuyer sur des collaborations solides avec les groupes allemands du DLR, de l'IGM (Université de Cologne) et du LIM (Université de Leipzig) impliqués dans le projet transrégional (AC)<sup>3</sup> financeur des campagnes de mesures aéroportées.

### Références bibliographiques :

Mioche, G., O. Jourdan, J. Delanoë, C. Gourbeyre, M. Monier, G. Febvre, R. Dupuy, F. Szczap, A. Schwarzenboeck and J.-F. Gayet: Characterization of Arctic mixed-phase cloud properties at small scale and coupling with satellite remote sensing, *Atmos. Chem. Phys.*, 17, 12845-12869, doi:10.5194/acp-17-12845-2017, 2017.

Mioche, G., and O. Jourdan, Spaceborne remote sensing and airborne in situ observations of Arctic mixed-phase clouds, in *Mixed-Phase Clouds : Observations and Modelling*, p. 300, edited by Constantin Andromache, Cambridge, MA, 121-150, 10.1016/B978-0-12-8105498.00006-4, 2018.

Szczap, F., Y. Gour, T. Fauchez, C. Cornet, T. Faure, O. Jourdan, G. Penide, and P. Dubuisson, A flexible three-dimensional stratocumulus, cumulus and cirrus cloud generator (3DCLOUD) based on drastically simplified atmospheric equations and the Fourier transform framework, *Geosci. Model Develop.*, 7, 1779-1801, doi: 10.5194/gmd-7-1779-2014, 2014.