

## Ecole Doctorale des Sciences Fondamentales

**Titre de la thèse : Formation des cristaux de glace dans les systèmes nuageux convectifs : propriétés et impacts.**

Directeur de thèse : Wolfram Wobrock

Unité de rattachement : Laboratoire de Météorologie Physique (LaMP)

Equipe : Microphysique des Nuages et des Précipitations

Etablissement de rattachement : Université Clermont Auvergne

Courriel et téléphone : [Wolfram.WOBROCK@uca.fr](mailto:Wolfram.WOBROCK@uca.fr) / 04 73 40 73 64

Co-encadrant éventuel : Céline Planche ([celine.planche@uca.fr](mailto:celine.planche@uca.fr))

Unité de rattachement : Laboratoire de Météorologie Physique (LaMP) Etablissement de rattachement : Université Clermont Auvergne

### Résumé :

Des lacunes importantes existent dans notre compréhension actuelle des interactions aérosols-nuages, ce qui se reflète dans les incertitudes liées aux prévisions météorologiques et aux projections climatiques. Un aspect clé encore mal compris est le rôle de la phase glace et des particules d'aérosol atmosphériques sur lesquelles se forment les cristaux de glace. Le fait qu'un nuage soit principalement composé d'eau ou de glace influence fortement ses propriétés et se répercute sur son cycle de vie, la formation des précipitations associées et l'équilibre énergétique radiatif. L'impact des particules d'aérosol sur la formation des cristaux de glace et l'évolution des cristaux de glace est soupçonné de jouer un rôle dominant dans la détermination des propriétés physiques des nuages.

Les cristaux de glace peuvent se former dans les nuages à des températures inférieures à 0°C via différents processus. Un des processus, appelé nucléation hétérogène, implique la présence de particules d'aérosol appelées noyaux glaçogènes (INPs pour ice-nucleating particles). La capacité des particules d'aérosol à agir comme INPs dépend fortement de leurs propriétés physiques et chimiques. Un autre processus permettant la formation des cristaux de glace est le processus de nucléation homogène. Contrairement à la nucléation hétérogène, l'eau gèle sans la présence d'INPs à des températures inférieures à  $\approx -36^\circ\text{C}$ .

Lors de ces dernières années, divers systèmes nuageux ont été observés grâce à des sondes in-situ microphysiques aéroportées ou à des instruments de télédétection (radars...) durant des campagnes de mesures qui se sont déroulées sous différentes conditions météorologiques : sous conditions tropicales lors des campagnes HAIC (2014 à Darwin, Australie et 2016 à Cayenne, Guyane française), et aux moyennes latitudes - sous conditions méditerranéennes - lors des campagnes HyMeX (2012) et EXAEDRE (2018).

En utilisant le module de microphysique détaillée (DESCAM) (qui permet de décrire de manière résolue les particules d'aérosol, les cristaux de glace et les gouttes) couplé à un cadre dynamique tridimensionnel d'un modèle de nuage, des différences significatives dans la concentration en nombre entre les spectres observés et modélisés de particules de glace ont été trouvées à des altitudes dont la température était comprise entre 0°C et -20°C. Dans cette gamme de températures, la nucléation hétérogène est un processus clé pour la formation des cristaux de glace.

## Ecole Doctorale des Sciences Fondamentales

Cependant, des processus de production de glace secondaire (tels que l'éclatement des cristaux lors du givrage ou l'éclatement des gouttelettes lors de leur congélation) peuvent aussi se produire et entraîner une augmentation substantielle de la concentration en nombre des cristaux de glace.

Cette thèse sera une étape vers une meilleure compréhension de la formation de la phase glace dans différents systèmes nuageux convectifs. Une attention particulière sera accordée au rôle des processus secondaires de multiplication de la glace et de la nucléation hétérogène et à leurs conséquences sur les spectres de particules nuageuses. Cet objectif sera atteint sur la base d'analyses de mesures aéroportées des nuages et de la modélisation avec microphysique détaillée.

En utilisant le schéma de microphysique détaillée DESCAM, le candidat simulera des cas idéalisés avec des conditions atmosphériques contrastées afin d'évaluer l'impact (i) de la représentation du processus de nucléation hétérogène et (ii) d'une représentation explicite des mécanismes de multiplication de la glace. Dans les étapes suivantes, des analyses statistiques comparatives entre les résultats de la modélisation et les observations, en mettant l'accent sur la nucléation hétérogène ou la production de glace secondaire seront effectuées pour ajuster, si nécessaire, chaque mécanisme de formation de glace (comme l'efficacité, les propriétés des particules de glace : concentration et taille) aux conditions atmosphériques réelles observées au cours des différentes campagnes.