



CNRM, UMR 3589



SOUTENANCE DE THESE CNRM

lundi 1^{er} juillet 2024 à 14h

Par **Théophile COSTABLOZ**

(CNRM/GMEI)

Profils verticaux des propriétés microphysiques du brouillard et leur évolution au cours de son cycle de vie

salle Noilhan, Navier

Composition du jury :

Mme Maud LERICHE (Université du Québec à Montréal Faculté des Sciences,CANADA)

Rapporteure

M. Martial HAEFFELIN (Institut Pierre-Simon Laplace) Rapporteur

M. Pascal LEMAITRE (Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire) Rapporteur

M. Julien DELANOE (Laboratoire atmosphères et observations spatiales), Examineur

M. Pierre TULET (Laboratoire d'aérodynamique), Examineur

Mme Céline PLANCHE (Université Clermont Auvergne), Examinatrice

Mme Christine LAC (Centre National de Recherches Météorologiques) Directrice de thèse

M. Frédéric BURNET (Centre National de Recherches Météorologiques) Co-directeur de thèse

Lien Webex : <https://meteo.webex.com/meet/mfbj121>

Résumé

Le brouillard est un phénomène difficile à prévoir en raison de sa faible extension verticale et de l'équilibre complexe des processus radiatifs, microphysiques, turbulents et dynamiques régissant son cycle de vie. Malgré une évolution croissante des moyens de mesure par télédétection, les propriétés microphysiques de la structure verticale du brouillard demeurent peu documentées. L'objectif de cette thèse est de caractériser l'évolution du profil vertical des propriétés microphysiques du brouillard et les principaux processus qui les pilotent durant son cycle de vie à partir des observations de la campagne SOFOG3D qui s'est déroulée dans le sud-ouest de la France durant l'hiver 2019/2020. Un dispositif instrumental inédit a été déployé, combinant mesures par télédétection (radiomètre micro-ondes et radar nuage) et mesures in situ au sol et sous ballon captif. Cette thèse se décline en 3 axes.

Le premier est centré sur l'analyse des propriétés microphysiques au sol des trente épisodes de brouillard échantillonnés au super-site, essentiellement de type radiatif et radiatif-advectif. De faibles concentrations de gouttelettes sont observées, ainsi que des distributions dimensionnelles majoritairement bimodales, associées au développement vertical du brouillard.

Le second porte sur les observations in situ sous ballon captif de 140 profils verticaux collectés dans 8 épisodes de brouillards fins et 4 brouillards développés. Une évolution conjointe des propriétés microphysiques et thermodynamiques sur la verticale a été mise en évidence. Les résultats montrent qu'après la formation du brouillard en conditions stables, le contenu en eau liquide et le diamètre des gouttelettes présentent des valeurs maximales au sol puis diminuent avec l'altitude. A l'inverse quand le brouillard devient optiquement épais, après la déstabilisation du profil de température, une augmentation du contenu en eau liquide et de la concentration avec l'altitude est observée. Ces observations in situ de l'adiabaticité ont été confrontées à l'adiabaticité équivalente, dérivée du modèle conceptuel de Toledo et al. (2021), alimenté par des mesures par télédétection et d'observations en surface. La comparaison montre un accord satisfaisant entre les deux approches. Le dernier axe a cherché à déterminer les processus microphysiques clés pilotant le cycle de vie. Nous mettons en évidence des zones de concentrations de petites gouttelettes plus élevées proche du sommet résultant probablement du processus d'activation des aérosols. L'analyse des distributions dimensionnelles indique une croissance des gouttelettes majoritairement par le processus de condensation, mais la formation de spectres bimodaux proche de la surface est expliquée par le processus de coalescence. Ces nouvelles connaissances sur l'évolution des propriétés microphysiques du brouillard au cours de son cycle de vie vont ainsi permettre d'évaluer et améliorer les schémas microphysiques des modèles numériques.

Abstract

Fog is a difficult phenomenon to forecast due to its limited vertical extent and the complex interactions between radiative, microphysical, turbulent and dynamic processes driving its life cycle. Despite increasing developments in remote sensing techniques, the microphysical properties of the fog vertical structure remain poorly documented. This thesis aims to characterize the evolution of the vertical profile of the fog microphysical properties and the main processes driving its life cycle, using observations from the SOFOG3D campaign which was conducted in southwest France during the winter of 2019/2020. An innovative instrumental set-up was deployed, combining remote sensing measurements (microwave radiometer and cloud radar) and in situ measurements at ground level and under a tethered balloon. This thesis is divided into three parts.

The first axis focuses on the analysis of the microphysical properties at ground level of the 30 fog episodes sampled at the super-site, mainly radiative and radiative-advective fogs. Low droplet concentrations were observed, with mostly bimodal droplet size distributions associated with the fog vertical development.

The second axis deals with in situ observations of 140 vertical profiles collected under a tethered balloon during 8 thin fog episodes and 4 thick fogs. A combined evolution of the vertical microphysical and thermodynamic properties is highlighted. Results show that after fog formation, under stable conditions, liquid water content and droplet diameters show maximum values at ground level and decrease with height. In contrast, when the fog becomes optically thick, following the destabilisation of the temperature profile, an increase in liquid water content and concentration with height is observed. These in situ observations of adiabaticity were compared with the equivalent adiabaticity, derived from the conceptual model of Toledo et al (2021), based on remote sensing measurements and surface observations. The comparison shows satisfactory agreement between the two approaches.

The last axis aimed at determining the main microphysical processes driving the fog life cycle. We find areas of higher concentration of small droplets near the top, resulting probably from aerosol activation. Analysis of the droplet size distributions indicates that droplet growth is mainly the result of the condensation process, but formation of bimodal spectra near the surface is explained by the coalescence process. This new knowledge of the evolution of the fog microphysical properties

during its life cycle make it possible to evaluate and improve the microphysical schemes in numerical models.