

Impact du processus d'activation sur les propriétés microphysiques des brouillards et sur leur cycle de vie

Marie Mazoyer

Résumé

Le brouillard est un phénomène météorologique complexe mettant en œuvre des processus de fine échelle, et l'interaction subtile entre processus radiatifs, dynamiques, turbulents et microphysiques qui les régit rend leur prévision difficile. Les gouttelettes d'eau qui composent les brouillards sont formées par l'activation des particules d'aérosols, et comprendre l'impact des propriétés des aérosols sur le cycle de vie du brouillard reste un défi. L'objectif de cette thèse est d'étudier l'impact du processus d'activation sur la microphysique des brouillards et sur leur cycle de vie. Elle s'articule sur deux volets, expérimental et numérique.

Dans le cadre du projet PréViBoss, une plateforme de mesures in-situ des propriétés du brouillard a été déployée durant les hivers 2010-2013 au SIRTA au sud de Paris permettant de caractériser la distribution dimensionnelle des particules d'aérosols et des gouttelettes, ainsi que la capacité des particules d'aérosols à agir en tant que noyaux de condensation nuageux (CCN). Ces données sont analysées afin de documenter les propriétés microphysiques du brouillard et leur évolution au cours de leur cycle de vie. La particularité de ce travail réside dans le grand nombre d'épisodes de brouillard analysés. Ainsi, 48 épisodes ont permis d'étudier l'évolution microphysique des brouillards et 23 épisodes ont permis d'étudier le processus d'activation à la formation des brouillards à travers une méthode originale. Les valeurs de sursaturation critique et les concentrations de CCN ont été caractérisées et reliées aux propriétés des aérosols (distribution, concentration et hygroscopicité). Il s'avère que c'est la valeur de la sursaturation détermine la concentration de gouttelettes, indépendamment de la concentration de particules d'aérosols activables disponibles. L'évolution microphysique des 48 épisodes de brouillards suit 4 phases aux comportements distincts, et est principalement régie par les processus de condensation/évaporation et activation/dé-activation. La concentration caractéristique en gouttelettes des brouillards est déterminée durant la première phase, elle est ensuite modulée au cours du cycle de vie du brouillard.

Des simulations en mode LES d'un cas de brouillard observé lors de PréViBoss ont ensuite été réalisées avec le modèle Méso-NH, afin d'évaluer l'impact de la microphysique sur la durée de vie du brouillard. Elles permettent d'explorer précisément les interactions entre aérosols et processus physiques. Un schéma microphysique à deux moments a été utilisé au sein duquel deux schémas d'activation ont été comparés : le premier diagnostique une sursaturation maximale, alors que le second considère une évolution pseudo-pronostique de la sursaturation. Le second schéma calcule les valeurs de sursaturations réellement atteintes et il permet de tenir compte de processus supplémentaires comme la condensation ou le mélange. Les concentrations de CCN calculées avec ce nouveau schéma sont significativement moins élevées, mais restent toutefois surestimées par rapport aux observations. La représentation de la dynamique pourrait en être responsable. Des tests de sensibilité à la concentration d'aérosols montrent un impact limité sur le cycle de vie du brouillard, excepté pour des cas extrêmes, pour lesquels une très faible concentration d'aérosols retarde la dissipation du brouillard. Ce sont les conditions dynamiques, thermodynamiques et de surface qui pilotent principalement le cycle de vie du brouillard à travers leur impact sur la stabilité de la couche limite. En outre, la prise en compte d'hétérogénéités de surface modifie très sensiblement le cycle de vie du brouillard au travers de la turbulence qu'elles génèrent. La variabilité spatio-temporelle qui en découle doit ainsi être prise en compte dans de futurs dispositifs expérimentaux.

Composition du jury : Directeurs de thèse : Frédéric BURNET (CNRM), Christine LAC (CNRM) et Jean-Louis Brenguier (CNRM) - Rapporteurs : Martial HAEFFELIN (IPSL), Luc Musson-Genon (CEREA) et Pierre TULET (LACY) - Invités : Thierry ELIAS (HYGEOS) et Jean-Pierre PINTY (LA).