

# Thèse au Centre National de Recherches Météorologiques

Laboratoire : Centre National de Recherches Météorologiques, Météo-France

Titre: Rôle des congestus dans la transition de la convection peu profonde à la convection profonde

Responsables:

Catherine Rio, CR, CNRS, 05 61 07 94 75, [catherine.rio@meteo.fr](mailto:catherine.rio@meteo.fr)

Fleur Couvreur, ICPEF, Météo-France, 05 61 07 96 33, [fleur.couvreur@meteo.fr](mailto:fleur.couvreur@meteo.fr)

Sujet de thèse :

La représentation des processus en jeu lors de la transition entre la phase peu profonde de la convection atmosphérique associée à des nuages bas de type cumulus et la phase profonde de la convection associée aux orages précipitant reste un défi pour les modèles de prévision atmosphérique et de climat. Lors de cette transition, les cumulus grossissent et humidifient progressivement la moyenne troposphère (Chaboureau et al., 2004), favorisant l'apparition de nuages de plus en plus étendus verticalement, les congestus, puis le déclenchement de cellules convectives orageuses. Ce pré-conditionnement de la convection profonde par la convection peu profonde joue un rôle à différentes échelles, que ce soit pour l'occurrence de précipitations convectives en fin d'après-midi sur continent (Guichard et al., 2004), le passage de la phase inhibée à la phase active de la convection dans le mode de variabilité intra-saisonnière de l'oscillation de Madden-Julian (Del Genio et al., 2012) ou l'impact des cumulus d'alizés sur la largeur et l'intensité de la zone de convergence inter-tropicale (Neggers et al., 2007).

Les simulations haute résolution de type LES (Large-Eddy Simulation), avec une résolution allant de la dizaine à la centaine de mètres sur des domaines d'une centaine de kilomètres, résolvent explicitement les circulations au sein de la convection peu profonde et profonde. Dans les modèles de prévision à échelle kilométrique de type CRM (Cloud Resolving Model), les circulations associées à la convection peu profonde ne sont plus résolues explicitement et leurs effets sur les champs résolus par le modèle doivent être pris en compte via un ensemble d'équations décrivant leur comportement appelées paramétrisation physique. Les congestus, dont l'extension horizontale atteint plusieurs kilomètres, sont ainsi partiellement paramétrés et partiellement résolus. Enfin, dans les modèles de circulation générale dont la résolution horizontale est de l'ordre de la centaine de kilomètres, convection peu profonde et convection profonde doivent être paramétrisées. La question se pose alors de la représentation des congestus par l'une ou l'autre des paramétrisations.

L'objectif de cette thèse est d'analyser le rôle des congestus dans la transition de la convection peu profonde à profonde à partir de simulations LES, et d'améliorer leur représentation dans un modèle à échelle kilométrique dans lequel une paramétrisation de la convection peu profonde est active. Pour cela, plusieurs simulations seront réalisées avec le modèle non-hydrostatique Méso-NH (Lac et al., 2018), en mode LES d'une part et en mode CRM d'autre part avec activation de la paramétrisation de la convection peu profonde de Pergaud et al. (2009). On se basera sur des simulations de cas d'étude réalistes ou idéalisés permettant de simuler la transition à différentes échelles : transition à l'échelle du cycle diurne, transition lors du passage de la phase inhibée à active de convection associées à l'oscillation de Madden Julian, ou encore transition entre les régimes d'alizés et la zone de convergence intertropicale dans les Tropiques. Un algorithme de détection d'objets (Brient et al., 2019) sera appliqué dans les simulations afin d'identifier les différentes populations nuageuses présentes, leurs caractéristiques et leur contribution aux flux de chaleur et d'humidité dans l'atmosphère, en lien avec les taux de mélange entre les différents types nuageux et leur environnement. Des expériences en descente d'échelles pourront également être réalisées avec le modèle de prévision AROME (Seity et al., 2011) dans lequel la même paramétrisation de la convection peu profonde est active.

Les congestus, moins étudiés que les cumulus et les cumulonimbus, jouent pourtant un rôle clé à différentes échelles, et l'amélioration de leur représentation est un enjeu à la fois pour la prévision du temps et les projections climatiques. On s'attachera ainsi à identifier les processus clés pilotant la transition entre convection peu profonde et profonde à partir de l'analyse des simulations LES, et à évaluer et améliorer la représentation des congestus par les paramétrisations physiques à l'oeuvre dans nos modèles.

## Bibliography :

Brient, F., Couvreur, F., Villefranque, N., Rio, C., & Honnert, R. (2019). Object-oriented identification of coherent structures in large eddy simulations: Importance of downdrafts in stratocumulus. *Geophysical Research Letters*, 46(5), 2854-2864.

Chaboureaud, J. P., Guichard, F., Redelsperger, J. L., & Lafore, J. P. (2004). The role of stability and moisture in the diurnal cycle of convection over land. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society: A journal of the atmospheric sciences, applied meteorology and physical oceanography*, 130(604), 3105-3117.

Del Genio, A. D., Chen, Y., Kim, D., & Yao, M. S. (2012). The MJO transition from shallow to deep convection in CloudSat/CALIPSO data and GISS GCM simulations. *Journal of Climate*, 25(11), 3755-3770.

Guichard, F., Petch, J. C., Redelsperger, J. L., Bechtold, P., Chaboureaud, J. P., Cheinet, S., ... & Tomasini, M. (2004). Modelling the diurnal cycle of deep precipitating convection over land with cloud-resolving models and single-column models. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society: A journal of the atmospheric sciences, applied meteorology and physical oceanography*, 130(604), 3139-3172.

Lac, C., Chaboureaud, J. P., Masson, V., Pinty, J. P., Tulet, P., Escobar, J., ... & Wautelet, P. (2018). Overview of the Meso-NH 20 model version 5.4 and its applications, Geoscientific Model Development Discussions.

Neggers, R. A., Neelin, J. D., & Stevens, B. (2007). Impact mechanisms of shallow cumulus convection on tropical climate dynamics. *Journal of Climate*, 20(11), 2623-2642.

Pergaud, J., Masson, V., Malardel, S., & Couvreur, F. (2009). A parameterization of dry thermals and shallow cumuli for mesoscale numerical weather prediction. *Boundary-layer meteorology*, 132(1), 83-106.

Seity, Y., Brousseau, P., Malardel, S., Hello, G., Bénard, P., Bouttier, F., ... & Masson, V. (2011). The AROME-France convective-scale operational model. *Monthly Weather Review*, 139(3), 976-991.

## Role of congestus in the transition from shallow to deep convection

The representation of the processes at play during the transition between shallow convection associated with low cumulus-type clouds and deep convection associated with precipitating thunderstorms remains a challenge for atmospheric forecasting and climate models. During this transition, the cumulus clouds grow and progressively moisten the middle troposphere (Chaboureaud et al., 2004), leading to the formation of increasingly vertically extended clouds, the congestus clouds, and then the triggering of convective thunderstorm cells. This preconditioning of deep convection by shallow convection plays a role at different scales, whether for the occurrence of convective precipitation in the late afternoon over the continent (Guichard et al., 2004), the transition from the suppressed to the active phase of convection in the intraseasonal variability mode of the Madden-Julian oscillation (Del Genio et al., 2012) or the impact of trade wind cumulus on the width and intensity of the Inter Tropical Convergence Zone (Neggers et al., 2007).

High-resolution LES (Large-Eddy Simulation) simulations, with a resolution ranging from tens to hundreds of metres over domains of a hundred kilometres, explicitly resolve circulations within shallow and deep convection. In kilometre-scale forecasting models such as CRM (Cloud Resolving Model), the circulations associated with shallow convection are no longer explicitly resolved and their effects on the variables resolved by the model must be taken into account via a set of equations describing their behaviour, called physical parameterisation. The congestus, whose horizontal extension reaches several kilometres, an intermediate scale, is thus partially parameterised and partially resolved. Finally, in general circulation models whose horizontal resolution is of the order of a hundred kilometres, shallow convection and deep convection are both parameterised. The question then arises as to whether congestus should be represented by one or the other parameterisation.

The objective of this thesis is to analyse the role of congestus in the transition from shallow to deep convection from LES simulations, and to improve their representation in a km-scale model in which a shallow convection parameterisation is active. To this end, several simulations will be performed with the non-hydrostatic Méso-NH model (Lac et al., 2018), in LES mode on the one hand and in CRM mode on the other hand with activation of the shallow convection parameterisation of Pergaud et al. (2009). We will use realistic or idealized case studies to simulate the transition at different scales: transition at the scale of the diurnal cycle, transition from the suppressed to the active phase of convection associated with the Madden Julian Oscillation, or transition between the trade wind regimes and the inter-tropical convergence zone in the tropics. An object detection algorithm (Brient et al., 2019) will be applied in the simulations to identify the different cloud populations, their characteristics and their contribution to the heat and moisture fluxes in the atmosphere, in relation to the mixing rates between the different cloud types and their environment. Potentially, downscaling experiments will also be performed with the AROME forecast model (Seity et al., 2011) in which the same parameterisation of shallow convection is active.

Congestus clouds, less studied than cumulus and cumulonimbus, nevertheless play a key role on different scales, and the improvement of their representation is a key issue for both weather forecasting and climate projections. We will thus focus on identifying the key processes driving the transition from shallow to deep convection based on the analysis of LES simulations, and on evaluating and improving the representation of congestus by the physical parameterizations used in our models.