

## Proposition de Sujet de thèse 2021

Laboratoire (et n° de l'unité) dans lequel se déroulera la thèse :  
CNRM - UMR 3589

**Titre du sujet proposé** : **Turbulence et circulations à résolution décimétrique dans les nuages convectifs**

**Nom et statut** (PR, DR, MCf, CR, ...) des responsables de thèse (préciser si HDR) :  
Ricard Didier (CNRM, IPCEF, HDR), Christine Lac (CNRM, HDR)

Coordonnées (téléphone et e-mail) du (des) responsable(s) de thèse :  
05 61 07 93 78 [didier.ricard@meteo.fr](mailto:didier.ricard@meteo.fr) [christine.lac@meteo.fr](mailto:christine.lac@meteo.fr)

### Résumé du sujet de la thèse

Les nuages convectifs sont associés à de fortes vitesses verticales et d'intenses circulations turbulentes. Des études récentes (Verrelle et al, 2015, 2017 ; Strauss et al, 2019) ont montré que les modèles atmosphériques de type CRM (Cloud Resolving Model) avec une résolution kilométrique tendent à sous-estimer la turbulence au sein des nuages et surestimer les vitesses verticales. Une simulation de type LES (Large Eddy Simulation) avec une résolution de 5 mètres a permis d'étudier plus en détail les structures typiques associées à un cumulus congestus (Strauss et al, 2021) : cœur ascendant à flottabilité positive, larges tourbillons au sommet formant une circulation toroïdale et enveloppe subsidente entourant le nuage. Cette LES a aussi servi à caractériser la turbulence au sein de ce nuage, celle-ci est de plus fine échelle sur les bords qu'à l'intérieur du nuage. A cette fine résolution, la production dynamique de la turbulence sous-maille, due au cisaillement de vent domine sur la production thermique, liée à la flottabilité. Les bords sont caractérisés par une présence accrue de subsidences et portent la marque d'une inversion de flottabilité due en partie aux effets de refroidissement liés à l'évaporation des gouttelettes nuageuses. Même s'il existe des subsidences au sommet du nuage, elles sont peu nombreuses et peu pénétrantes. L'entraînement latéral domine en effet sur l'entraînement sommital.

Dans le cadre de cette thèse, on propose de réaliser des simulations à très fine résolution (décimétrique) avec le modèle Méso-NH (Lac et al, 2018) pour caractériser les circulations au sein des nuages convectifs (du cumulus au cumulonimbus), ainsi que les structures turbulentes associées. Nous souhaitons ainsi poursuivre l'étude des processus physiques à l'interface nuageuse et généraliser les résultats précédents obtenus pour un nuage particulier avec différents tests de sensibilité : sur la maturité des nuages convectifs considérés ; sur le cisaillement de vent, afin notamment de mesurer son impact sur la dissymétrie entre les parties amont et aval du nuage ou sur les instabilités ; sur l'humidité de l'environnement et sur la présence d'hydrométéores mixtes.

On cherchera également à déterminer si l'introduction d'un refroidissement radiatif, par activation du schéma de rayonnement, renforce l'entraînement sommital. La prise en compte d'un schéma microphysique dit à 2 moments, qui décrit de manière pronostique la concentration des hydrométéores en plus de leur masse, permettra d'analyser la notion de mélange homogène/hétérogène aux bords des nuages, et d'introduire une interaction directe entre turbulence et microphysique, à travers le processus d'activation des gouttelettes notamment. Le modèle Méso-NH utilisera ainsi des paramétrisations sophistiquées comme la turbulence 3D du schéma CBR (Cuxart et al, 2000), le schéma microphysique LIMA (Vié et al. , 2016) ou le schéma radiatif ecRad (Hogan et Bozzo, 2016).

Une analyse par des traceurs lagrangiens est envisagée pour caractériser les échanges entre le nuage et son environnement. On souhaite également extraire et identifier au mieux les structures cohérentes au sein des nuages simulés (nombre, taille, forme...) En effet, il peut exister au sein des écoulements turbulents des tourbillons cohérents qui ont une durée de vie grande devant leur temps de retournement, comme ceux de la circulation toroïdale. Ces structures cohérentes indiquent une turbulence non locale. Les caractéristiques sur les structures turbulentes obtenues à l'aide d'analyses multi-résolution basées sur des ondelettes fourniront des indications utiles pour la paramétrisation de la turbulence non locale dans les nuages. En particulier, la taille caractéristique de ces

structures sera à comparer à la longueur de mélange utilisée dans le schéma de turbulence CBR, ce qui pourra donner des pistes d'amélioration dans la formulation de cette longueur. Les circulations à fine échelle et les structures cohérentes au sein des nuages simulés pourront être visualisées à l'aide d'outil de visualisation 3D adapté aux grands volumes de données (de type Paraview).

Les données à très fine résolution des LES seront également utilisées pour étudier la relation entre l'intensité des ascendances au sein des nuages et le taux d'expansion de l'enveloppe du nuage afin de préparer la mission spatiale franco-israélienne (CNES-ISA) **C<sup>3</sup>IEL** (Cluster for Climate and Cloud Imaging of Evolution and Lightning) dont les imageurs visibles CLOUD restitueront la vitesse de développement tridimensionnel des nuages.

Une meilleure connaissance des caractéristiques turbulentes des nuages convectifs, en lien avec les schémas radiatif et microphysique, doit permettre in-fine d'améliorer les paramétrisations des modèles de prévision numérique du temps.

#### Nature du travail attendu et compétences souhaitées

Ce travail nécessitera la réalisation de LES sur de grandes grilles avec le modèle Méso-NH. Des diagnostics (statistiques, traceurs, ...) seront utilisés sur ces grands volumes de données numériques ainsi qu'une analyse des processus physiques.

Profil des candidats:

- Master 2 ou une qualification équivalente en physique de l'atmosphère, en océanographie, physique de l'environnement ou en climat avant de débiter la thèse
- connaissances en physique de l'atmosphère et en turbulence
- une bonne pratique de l'anglais à l'écrit et à l'oral pour présenter des résultats scientifiques
- bonnes capacités en programmation et traitement de données (Fortran, Shell, Python ou similaire)
- expérience en modélisation numérique

#### **A propos du CNRM**

Le Centre National de Recherches Météorologiques (CNRM, [www.cnrm-game-meteo.fr](http://www.cnrm-game-meteo.fr)), est une unité de recherche mixte (<sup>UMR</sup> 3589) affiliée à Météo-France et au CNRS. Il regroupe 80 chercheurs et 150 ingénieurs, techniciens et personnels administratifs. Chaque année, le CNRM accueille entre 15 et 20 nouveaux doctorants.

#### **Candidatures :**

Les candidats devront envoyer une lettre de motivation, avec un CV, une copie de leurs diplômes avec le relevé de notes correspondantes, le résumé du sujet de leur Master, ainsi que le nom de deux personnes de référence incluant leur adresse email et leur numéro de téléphone avant la date limite.

La date limite pour postuler est le 15 mai 2021.

#### Références bibliographiques

Cuxart, J., P. Bougeault, and J.-L. Redelsperger, 2000. A turbulence scheme allowing for mesoscale and large-eddy simulations, *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 126, 1-30.

Hogan, Robin J., and Alessio Bozzo, 2016. ECRAD: A new radiation scheme for the IFS. European Centre for Medium-Range Weather Forecasts.

Lac, C., J.-P. Chaboureaud, V. Masson, J.-P. Pinty, P. Tulet, J. Escobar, M. Leriche, C. Barthe, B. Aouizerats, C. Augros, P. Aumond, F. Auguste, P. Bechtold, S. Berthet, S. Bieilli, F. Bosseur, O. Caumont, J.-M. Cohard, J. Colin, F. Couvreur, J. Cuxart, G. Delautier, T. Dauhut, V. Ducrocq, J.-B. Filippi, D. Gazen, O. Geoffroy, F. Gheusi, R. Honnert, J.-P. Lafore, C. Lebeaupin Brossier, Q. Libois, T. Lunet, C. Mari, T. Maric, P. Mascart, M. Mogé, G. Molinié, O. Nuissier, F. Pantillon, P. Peyrillé, J. Pergaud, E. Perraud, J. Pianezze, J.-L. Redelsperger, D. Ricard, E. Richard, S. Riette, Q. Rodier, R. Schoetter, L. Seyfried, J. Stein, K. Suhre, M. Taufour, O. Thouron, S. Turner, A. Verrelle,

B. Vié, F. Visentin, V. Vionnet, and P. Wautelet, 2018. Overview of the Meso-NH model version 5.4 and its applications, *Geosci. Model Dev.*, *11*, 1929-1969.

Strauss, C, Ricard, D, Lac, C, and, A. Verrelle, 2019. Evaluation of turbulence parametrizations in convective clouds and their environment based on a large-eddy simulation. *Q J R Meteorol Soc.*, 1– 23.

Strauss, C, Ricard, D, Lac, C, 2021. Dynamics of the cloud-environment interface and turbulence effects in a LES of a growing cumulus congestus. Submitted to JAS.

Verrelle, A., D. Ricard, and C. Lac, 2017. Evaluation and improvement of turbulence parameterization inside deep convective clouds at kilometer-scale resolution, *Mon. Weather Rev.*, *145*, 3947-3967.

Verrelle, A., D. Ricard, and C. Lac, 2015. Sensitivity of high-resolution idealized simulations of thunderstorms to horizontal resolution and turbulence parameterization, *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, *141*, 433-448.

Vié, B., J.-P. Pinty, S. Berthet, and M. Leriche, 2016. LIMA (v1.0): a quasi two-moment microphysical scheme driven by a multimodal population of cloud condensation and ice freezing nuclei, *Geosci. Model Dev.*, *9*, 567-586.