

ECOLE DOCTORALE DES SCIENCES DE L'ENVIRONNEMENT
D'ILE DE France N° 129
Proposition de sujet de thèse pour la rentrée 2025

Nom du Laboratoire d'accueil : **LMD** N° UMR : **8539**
Nom du Directeur du laboratoire : **Freddy Bouchet**
Adresse mail : freddy.bouchet@lmd.ipsl.fr

Nom de l'Equipe d'accueil : EMC3

Nom et prénom du Directeur de thèse **HDR** : **Frédéric Hourdin**
Pourcentage d'encadrement (minimum 50%) : 100 %
Adresse mail : frederic.hourdin@lmd.ipsl.fr

• **Titre de la thèse en Français :**

Modélisation des couplage entre variabilité méso-échelle du contenu en eau de l'atmosphère et le cycle de vie de la convection

• **Titre de la thèse en Anglais :**

Modeling the coupling between mesoscale variability of atmospheric water content and the convective life cycle

• Résumé Sujet en Français (1 page maximum) :

La représentation des nuages et de la convection dans les modèles de climat est une des principales sources d'incertitudes dans les projections du changement climatique. Elle est centrale pour la représentation de la pluie et du rayonnement. Représenter ces processus au travers de paramétrisations est un enjeu scientifique de premier ordre pour les sciences du climat. Les modèles à convection paramétrisée permettent d'une part de réaliser des simulations de plusieurs milliers d'années avec des modèles globaux couplant atmosphère et océan avec des mailles horizontales relativement grossières. Ces simulations sont la base de l'anticipation des conséquences climatiques de l'activité humaine ; elles permettent seules de quantifier l'incertitude associée aux limites de notre connaissance du système [1]. Les modèles à convection paramétrisée offrent également un cadre particulièrement efficace pour la compréhension des processus atmosphériques et de leur rôle dans la circulation générale et le climat. Dans la maille d'un modèle de climat (typiquement 25 à 300 km de côté), on doit rendre compte du fait que le nuage ne se crée pas d'un coup sur la maille quand on atteint la saturation à l'échelle de cette maille et on introduit donc une paramétrisation de la distribution sous-maille de l'eau, le nuage étant alors défini comme la fraction de la maille sur laquelle l'humidité dépasse sa valeur à saturation. Les mouvements convectifs eux mêmes sont représentés au travers d'approches dites « en flux de masse » dans lesquelles on divise la maille horizontale en différents compartiments associés à des vitesses verticales différentes. Jusqu'alors, la distribution sous-maille de l'eau était calculée de manière "diagnostique" en fonction de l'état de la colonne atmosphérique, en tenant compte par exemple du fait que la présence de panaches convectifs tend à accroître la largeur de cette distribution en amenant de l'air humide de la surface à des niveaux plus secs. Pour différentes raisons, il est apparu que ce modèle diagnostique était insuffisant et un modèle pronostique, plus sophistiqué, est en construction pour le modèle LMDZ. Des premières preuves de l'intérêt de cette proposition ont été faites en mode uni-colonne : on compare avec des forçages imposés une simulation d'un cas de convection avec des simulations 3D à très haute résolution (~100m) dites LES de la même scène [2].

La première partie de la thèse consistera à compléter ce modèle en faisant de la variance de l'eau une variable d'état à part entière du modèle. Il s'agira à la fois de développer des paramétrisations manquantes et de prendre en compte la variance de la vapeur d'eau comme une variable d'état du modèle, advectée à grande échelle, ce qui forcera à repenser plus fondamentalement le sens des variables d'état associées à la vapeur d'eau dans ces différentes phases.

La seconde partie portera sur la prise en compte de cette variabilité dans la représentation du cycle de vie de la convection. En effet, beaucoup de travaux issus d'observations ou de simulation LES suggèrent que le développement des cellules convectives, la transition de la convection peu profonde vers la convection profonde, et l'organisation de la convection sont sensibles aux variations horizontales du contenu en vapeur d'eau de l'atmosphère à méso-échelle, un des mécanismes étant que les panaches se développent préférentiellement dans une atmosphère déjà humidifiée. La variabilité de la vapeur d'eau peut donc à la fois contrôler le déclenchement et l'intensité de la convection mais aussi son organisation. Dans cette partie, on profitera de l'originalité du modèle LMDZ d'avoir une paramétrisation relativement unique des poches froides créées par réévaporation des pluies sous les cumulo-nimbus, élément essentiel du cycle de vie de la convection et de son organisation. On se basera également sur l'analyse de simulations LES d'événements convectifs réalisées avec le modèle non-hydrostatique MESO-NH pour explorer les relations possibles entre la variabilité de l'eau et les propriétés des panaches convectifs (collaboration Catherine Rio, CNRM). Le travail de thèse bénéficiera du caractère collectif du travail autour du modèle LMDZ, de l'organisation de la communauté nationale autour de ces questions dans le cadre du Groupement de recherche national Dephy. Il bénéficiera également des outils d'apprentissage machine développés par l'équipe en collaboration avec MétéoFrance et l'Université de Exeter, permettant de réajuster automatiquement les paramètres du modèle après l'introduction d'une nouvelle paramétrisation. L'arrivée de ces outils a permis de réouvrir le travail sur les paramétrisations, particulièrement actif depuis quelques années.

● Résumé Sujet en Anglais (1 page maximum) :

The representation of clouds and convection in climate models is one of the main sources of uncertainty in climate change projections. It is central to the representation of rain and radiation. Representing these processes through parameterizations is a major scientific challenge for climate science. Parameterized convection models enable simulations to be carried out over several thousand years, using global models coupling atmosphere and ocean with relatively coarse horizontal grids. These simulations are the basis for anticipating the climatic consequences of human activity; they alone enable us to quantify the uncertainty associated with the limits of our knowledge of the system [1]. Parameterized convection models also offer a particularly effective framework for understanding atmospheric processes and their role in general circulation and climate. In the mesh of a climate model (typically 25 to 300 km), it cannot be assumed that the cloud is created all at once on the mesh when saturation is reached on the scale of this mesh, and so a parameterization of the sub-grid distribution of water is introduced, the cloud then being defined as the fraction of the mesh over which humidity exceeds its saturation value. Convective motions themselves are represented through so-called "mass flux" approaches, in which the horizontal mesh is divided into different compartments associated with different vertical velocities. Until now, the sub-mesh distribution of water was computed "diagnostically" as a function of the state of the atmospheric column, taking into account, for example, the fact that the presence of convective plumes tends to increase the width of this distribution by bringing moist air from the surface to drier levels. For a variety of reasons, this diagnostic model has proved inadequate, and a more sophisticated prognostic model is currently under construction for the LMDZ model. Initial proofs of the value of this proposal have been made in uni-column mode: a simulation of a convection case is compared with very high-resolution (~100m) 3D LES simulations of the same scene using imposed forcings [2].

The first part of the thesis will consist in completing this model by making the variance of water a state variable in its own right in the model. This will involve both the development of missing parameterizations and the inclusion of water vapor variance as a state variable in the model, advected by the large scale dynamics, leading to a more fundamental rethinking of the meaning of the state variables associated with water vapor in these different phases.

The second part will focus on how this variability can be taken into account in the representation of the convection life cycle. Indeed, many works based on observations or LES simulations suggest that the development of convective cells, the transition from shallow to deep convection, and the organization of convection are sensitive to horizontal variations in the water vapor content of the mesoscale atmosphere, one mechanism being that plumes preferentially develop in an already humidified atmosphere. Water vapor variability can therefore control both the initiation and intensity of convection, as well as its organization. In this section, we will take advantage of the LMDZ model's originality in having a relatively unique parameterization of the cold pools created by the re-evaporation of rainfall under cumulonimbus clouds, an essential element in the life cycle of convection and its organization. Analysis of LES simulations of convective events using the non-hydrostatic MESO-NH model will also be used to explore possible relationships between water variability and convective plume properties (collaboration with Catherine Rio, CNRM). The thesis work will benefit from the collective nature of the work on the LMDZ model, and from the organization of the national community around these issues within the framework of the Dephy national research group. It will also benefit from the machine learning tools developed by the team in collaboration with MétéoFrance and the University of Exeter, enabling automatic readjustment of model parameters after the introduction of a new parameterization. The arrival of these tools has reopened work on parameterizations, which had been particularly active for some years.

• **Autre type de financement demandé, précisez date de demande ou si déjà acquis (CNES, CEA, ADEME, ANR, Région etc...) : Aucun**

• **Encadrement :**

. **Liste des doctorant.es que vous encadrez ou co-encadrez au 1^{er} janvier 2025**

(Nom, Université d'inscription, type de financement, date de soutenance envisagée)

Mamadou Lamine Thiam, thèse en co-tutelle entre SU et l'université Cheick Anta Diop (Dakar, Sénégal). Soutenance prévue en Juin 2025

Maëlle Coulon-Decorzens, thèse de l'ED129, SU, soutenance prévue en septembre 2025.