

Laboratoire de météorologie Dynamique (LMD/IPSL)

**Equipe «Etude et Modélisation du Climat et
du Changement Climatique (EMC3)**

Thèse proposée par Jean-Louis Dufresne et Nicolas Rochetin
jean-louis.dufresne@lmd.ipsl.fr, nicolas.rochetin@lmd.ipsl.fr

- **Proposition de sujet de thèse:** Impact radiatif de l'organisation et de l'hétérogénéité méso-échelle des nuages et de la vapeur d'eau dans les régions d'alizés
- **PhD proposal :** Radiative impact of the organisation and mesoscale heterogeneity of clouds and water vapour in the trade wind areas
- **Résumé (see English below) :**

Les nuages jouent un rôle essentiel dans la dynamique du climat présent mais aussi dans les projections de changement climatique. C'est notamment le cas des nuages bas de couche limite qui ont un fort effet d'albédo, un faible effet de serre, et qui sont omniprésents au-dessus des océans tropicaux.

Dans les tropiques, les propriétés des nuages d'alizés (cumulus et strato-cumulus essentiellement) dépendent fortement de la dynamique de la couche limite et de celle de la troposphère libre. Néanmoins, des travaux récents issus de simulations numériques haute-résolution et d'observations, réalisés dans le cadre de la campagne d'observation EUREC4A (<http://eurec4a.eu/index.php?id=4058>), incitent à reconsidérer bon nombre de paradigmes couramment adoptés par la communauté des modélisateurs du climat en matière de convection peu profonde. Cela concerne en particulier l'hypothèse selon laquelle les nuages de couche-limite arborent une distribution quasi-homogène sur des grandes échelles spatiales (de l'ordre de la centaine de kilomètres).

Le projet EUREC4A a ainsi permis de montrer :

- que les nuages d'alizés affichaient 4 formes d'organisation à méso-échelle (quelques dizaines de kilomètres) récurrentes.
- que des écoulements type "courant de densité" :
 - structurent largement l'organisation spatiale des cumulus d'alizés et de la vapeur d'eau de basses-couches.
 - sont donc suspectées d'être à l'origine de fortes hétérogénéités de rayonnement.

- que les nuages d'alizés avaient un cycle diurne marqué avec un pic d'activité en fin de nuit, une caractéristique jusqu'ici bien identifiée pour la convection profonde sur océans, mais pas dans les régimes d'alizés

En somme, la mise en évidence d'agrégats nuageux formant des motifs récurrents, associés à des circulations convectives persistant plusieurs heures, et cadencées par le cycle diurne, pose la question du rôle des couplages convection-rayonnement à méso-échelle ; une échelle spatiale jusqu'ici très peu explorée pour l'étude des cumulus d'alizés.

Sujet

Cette thèse portera donc sur la caractérisation des hétérogénéités à méso-échelle des nuages et de la vapeur d'eau, c'est-à-dire des conditions propices à leur émergence et/ou à leur maintien dans le temps dans les régions d'alizés, avec un focus particulier sur le rôle du rayonnement. Ce travail se situera dans le cadre de l'exploitation de la campagne d'observation EUREC4A.

Le travail comportera notamment les étapes suivantes :

- analyse de simulations atmosphériques 3D à très hautes résolution (Large Eddy Simulations) existantes. Une étude détaillée des processus de couche-limite (thermiques, courants de densité, courants ascendants et descendants) et des nuages simulés, par l'intermédiaire de méthodes de détection et de suivi d'objets déjà existantes, permettra de mettre en évidence les mécanismes de couplages convection-rayonnement propres à chacune des 4 organisations nuageuses à méso-échelle identifiées lors de la campagne EUREC4A.
- calcul radiatif 3D des différentes scènes nuageuses par méthode de Monte-Carlo sur le domaine étudié, dans le visible et l'infrarouge sur la base d'un code existant qui sera amené à évoluer. On cherchera notamment à identifier les caractéristiques essentielles de hétérogénéités spatiales des nuages qui doivent être prises en compte pour une bonne estimation des flux et des bilans radiatifs.
- comparaison des résultats de simulations aux observations satellitales, in situ et aéroportées issues de la campagne EUREC4A, afin d'en mesurer la robustesse et les limites.
- réflexion sur des questions connexes i) de modélisation du climat (modèle LMDZ), concernant la représentation des hétérogénéités de couche limite à méso-échelle impliquant le rayonnement, ii) de couplages océan-atmosphère impliquant les tourbillons océaniques à méso-échelle (également bien documentés lors de la campagne EUREC4A).

Ce travail sera réalisé dans l'équipe EMC3 du Laboratoire de Météorologie Dynamique sur le campus de Jussieu. Ces travaux impliquent également des

collaborateur(trices) au Centre National de Recherches Météorologiques (CNRM, Météo France, Toulouse), pour ce qui concerne le volet modélisation haute-résolution, et du Max Planck Institute for Meteorology (MPI-M, Hambourg), pour ce qui concerne l'analyse des observations EUREC4A. L'étudiant(e) sera donc fortement impliqué dans ces collaborations (congrès et/ou visites scientifiques dans ces laboratoires partenaires).

• **Abstract :**

Clouds play an essential role in the dynamics of the present climate but also in climate change projections. This is particularly true for shallow clouds, which have a strong albedo effect, a weak greenhouse effect, and are ubiquitous over tropical oceans.

In the tropics, the properties of trade wind clouds (mainly cumulus and strato-cumulus) are strongly linked to the dynamics of the boundary layer and the free troposphere. Nevertheless, recent work based on high-resolution numerical simulations and observations conducted as part of the EUREC4A observation campaign (<http://eurec4a.eu/index.php?id=4058>) suggests a re-consideration of many of the paradigms commonly adopted by the climate modelling community for shallow convection. This concerns in particular the hypothesis that boundary layer clouds have a quasi-homogeneous distribution on large spatial scales (of the order of a hundred kilometres).

The EUREC4A project has thus allowed to reveal:

- that the trade wind clouds showed 4 recurrent mesoscales (a few tens of kilometres) forms of organisation.
- that "density current" type flows:
 - largely structure the spatial organisation of the trade wind cumulus and water vapour field in the low levels.
 - therefore, are thought to be at the origin of strong radiation heterogeneities.
- that the trade winds clouds had a marked diurnal cycle with a peak of activity at the end of the night, a characteristic so far well identified for deep convection over oceans, but not in trade wind regimes

In other words, the finding of cloudy aggregates forming recurrent patterns, associated with convective circulations that persist for several hours and are modulated by the diurnal cycle, raises the question of the role of mesoscale convection-radiation couplings, a spatial scale that has been little explored for the study of trade wind cumulus so far.

Subject

This PhD will therefore focus on the characterisation of mesoscale heterogeneities of clouds and water vapour, i.e. on the conditions that favour their

emergence and/or their maintenance over time in trade wind regions, with a particular emphasis on the role of radiation. This work will be in the framework of the exploitation of the EUREC4A observation campaign.

The work will include the following steps:

- analysis of existing very high resolution 3D atmospheric simulations (Large Eddy Simulations). A detailed study of boundary layer processes (thermals, density currents, updrafts and downdrafts) and simulated clouds, using existing object detection and tracking methods, will allow to highlight the convection-radiation coupling mechanisms specific to each of the 4 mesoscale cloud organisations identified during the EUREC4A campaign.
- 3D radiative calculations of the different cloud scenes using the Monte-Carlo method in the area studied, in the visible and infrared on the basis of an existing code that will be further developed. In particular, the aim will be to identify the essential characteristics of the spatial heterogeneities of the clouds which must be taken into account for a good estimation of the radiative fluxes and budgets.
- comparison of simulation results with satellite, in situ and airborne observations from the EUREC4A campaign, in order to evaluate their robustness and limitations.
- investigations on other related issues such as i) climate modelling (LMDZ model), concerning the representation of mesoscale boundary layer heterogeneities involving radiation, ii) ocean-atmosphere couplings involving mesoscale ocean eddies (also well documented during the EUREC4A campaign).

This PhD will be carried out in the EMC3 team of the Laboratoire de Météorologie Dynamique on the Jussieu campus. This work also involves colleagues at the Centre National de Recherches Météorologiques (CNRM, Météo France, Toulouse), for the high-resolution modelling component, and at the Max Planck Institute for Meteorology (MPI-M, Hamburg), for the analysis of EUREC4A observations. The student will therefore be strongly involved in these collaborations (congresses and/or scientific visits to these laboratories).