

ECOLE DOCTORALE DES SCIENCES DE L'ENVIRONNEMENT
D'ILE DE France N° 129
Proposition de sujet de thèse pour la rentrée 2020

Nom du Laboratoire d'accueil : LATMOS

N° UMR : 8190

Nom du Directeur du laboratoire : François Ravetta

Adresse complète du laboratoire : 11 boulevard d'Alembert, 78280 Guyancourt

Nom de l'Equipe d'accueil et adresse si différente de celle du laboratoire :

Statistiques Processus Atmosphère Cycle de l'Eau (LATMOS/Guyancourt)

Nom du Directeur de thèse **HDR** : Hélène Brogniez (LATMOS)

Téléphone : 01 80 28 52 36

Mail : helene.brogniez@latmos.ipsl.fr

Collaborations :

- Pierre-Emmanuel Kirstetter (Univ of Oklahoma, USA) : analyses probabilistes et précipitations
- Hélène Chepfer (LMD/Sorbonne Université) : variabilité des nuages et bilan énergétique

Titre de la thèse en Français

Etudes multi-échelles de la variabilité du climat tropical : connexion vapeur d'eau et nuages

Titre de la thèse en Anglais

Multiple scales studies of the tropical climate variability : relationships between water vapor and clouds

Résumé du sujet proposé (1 page max)

Les questions associées aux modifications climatiques touchent aux ressources en eaux, aux prévisions d'évènements extrêmes (sécheresses, inondations) ou encore aux évolutions sur le long-terme des caractéristiques climatiques locales (étés qui débutent plus tôt, hivers de plus en plus rigoureux ou doux). Répondre à ces questions sociétales requiert de pousser de plus en plus loin dans la caractérisation physique du système climatique. Des études utilisant des modèles numériques de climat (par ex. Stephens & Ellis (2008)), ensuite validées dans les mesures de pluie aux latitudes moyenne (par ex. Fischer & Knutti (2016)), ont montré que l'augmentation de la température globale se traduit en une augmentation des précipitations globales de 2 à 3% par degré de réchauffement, via l'augmentation du contenu en vapeur d'eau (principe de thermodynamique) et renforcé par le refroidissement radiatif associé (plus d'émission de rayonnement IR).

Si l'on considère les processus en jeu, il est important de préciser que les interactions entre vapeur d'eau, nuages, précipitations, et rayonnement (solaire et infrarouge) dans la troposphère sont particulièrement complexes. Elles s'expriment aux petites (microphysique) et moyennes (dizaines de kms) échelles spatiales et temporelles sous influence de la circulation atmosphérique à grande échelle, qu'elles influencent en retour. Ainsi la formation des nuages, leur déploiement vertical ainsi que leur cycle de vie résultent de processus entremêlés mettant en jeu la thermodynamique de l'atmosphère (claire et nuageuse), les échanges radiatifs (solaire et infrarouge thermique) et la dynamique atmosphérique.

Les satellites fournissent une vue incontournable de l'atmosphère terrestre et de ses éléments, et les agences spatiales internationales (CNES, ESA, NASA...) s'engagent fortement dans les missions d'observation sur les nuages, les précipitations, et la vapeur d'eau. En 2018 la NASA a d'ailleurs démarré une étude « A-CCP » dans laquelle le CNES et le LATMOS sont fortement impliqués, ainsi que l'Université

d'Oklahoma. L'étude « Aerosols - Clouds, Convection, Precipitation » proposera une série d'instruments qui permettront d'adresser, entre autres, des questions sur les rétroactions nuageuses et sur les processus associés à la convection et le travail mené se déroulera dans ce contexte international.

L'objectif de cette thèse sera de coupler les observations des satellites Megha-Tropiques (vapeur d'eau), CALIPSO et CloudSat de l'A-Train (nuages et pluie), disponibles sur la période 2011-2018, pour décrire les variations conjointes vapeur d'eau / nuages dans les régions tropicales et adresser les questions liées aux mécanismes de rétroactions atmosphériques : rétroactions des nuages bas (type cumulus, stratocumulus), rétroactions des nuages d'altitude (type cirrus) et leurs imbrications avec la vapeur d'eau. Un travail récent a déjà permis de mettre en évidence, à l'échelle de la ceinture tropicale, des différences importantes selon l'épaisseur optique, la phase du nuage et la dynamique atmosphérique (Högjard-Olsen et al (2020)).

Il s'agira notamment d'exploiter la base de données colocalisée Megha-Tropiques/A-Train développée grâce à une collaboration LATMOS/LSCE/LMD via le projet « SPACEOBS » (Carella et al. (2020)). Cette base de données d'un nouveau genre repose sur une réduction d'échelle de mesures satellites pour atteindre une échelle spatiale <100m, échelle actuellement impossible à atteindre avec les moyens conventionnels d'observation.

Étapes proposées du travail :

- 1) Etablir des climatologies vapeur d'eau/nuages conditionnées notamment par les types nuageux, en se basant sur une approche « objet ». La ségrégation des situations pourra se faire selon des critères variés : dynamique atmosphérique (ascendance/subsidence), température de surface de la mer, nuages bas, systèmes convectifs organisés ou non, océans/continents...
- 2) Exploiter ces situations pour dégager des modes et des échelles de variations, qui pourront être confrontés à des simulations régionales (modèles WRF, Méso-NH entre autres).
- 3) Evaluer la représentativité de ces modes de variation avec les mesures collectées lors de campagnes de mesures (ex : campagnes EUREC4A, Stratéole, CINDY-DYNAMO...)

Ce travail sera réalisé en collaboration avec le LMD et l'Université d'Oklahoma, et inclura des séjours.

Summary of the project (1 page max)

The questions associated with climate change relate to water resources, forecasts of extreme events (droughts, floods) or even long-term changes in local climatic characteristics (summers that start earlier, winters becoming more severe or soft). Answering these societal questions requires pushing further and further in the physical characterization of the climate system. Studies using numerical climate models (eg Stephens & Ellis (2008)), then validated in rain measurements at mid-latitudes (eg Fischer & Knutti (2016)), have shown that the increase in global temperature translates into an increase in global precipitation of 2 to 3% per degree of warming, via the increase in the water vapor content (thermodynamics principle) and reinforced by the associated radiative cooling (more emission of radiation IR).

When considering the processes involved, it is important to note that the interactions between water vapor, clouds, precipitation, and radiation (solar and infrared) in the troposphere are particularly complex. They are expressed at small (microphysics) and medium (tens of kms) spatial and temporal scales under the influence of large-scale atmospheric circulation, which they influence in return. Thus the formation of clouds, their vertical deployment as well as their life cycle result from intertwined processes involving the thermodynamics of the atmosphere (clear and cloudy), the radiative exchanges (solar and thermal infrared) and atmospheric dynamics.

Satellites provide an essential view of the Earth's atmosphere and its elements, and international space agencies (CNES, ESA, NASA, etc.) are heavily involved in observation missions on clouds, precipitation, and vapor from 'water. In 2018 NASA also launched an "A-CCP" study in which CNES and LATMOS are strongly involved, as well as the University of Oklahoma. The study "Aerosols - Clouds, Convection, Precipitation" will propose a series of instruments which will make it possible to address, among others questions on cloud feedbacks and on the processes associated with convection and the work carried out, will

take place in this international context.

The objective of this thesis will be to couple the observations of the Megha-Tropics (water vapor), CALIPSO and CloudSat satellites of the A-Train (clouds and rain), available over the period 2011-2018, to describe the variations water vapor / clouds in tropical regions and address questions related to atmospheric feedback mechanisms: low cloud feedbacks (cumulus, stratocumulus type), altitude cloud feedbacks (cirrus type) and their overlaps with d'water. Recent work has already made it possible to highlight, at the scale of the tropical belt, significant differences according to optical thickness, cloud phase and atmospheric dynamics (Hogjard-Olsen et al (2020)).

This will notably involve exploiting the co-located Megha-Tropics / A-Train database developed thanks to a LATMOS / LSCE / LMD collaboration via the "SPACEOBS" project (Carella et al. (2020)). This new kind of database is based on a downscaling of satellite measurements to reach a spatial scale <100m, a scale currently impossible to reach with conventional means of observation.

Proposed stages of work:

- 1) Establish water vapor / cloud climatologies conditioned in particular by cloudy types, based on an "object" approach. The segregation of situations can be done according to various criteria: atmospheric dynamics (ancestry / subsidence), sea surface temperature, low clouds, convective systems organized or not, oceans / continents...
- 2) Exploit these situations to identify modes and scales of variation, which could be compared to regional simulations (WRF, Meso-NH models among others).
- 3) Evaluate the representativeness of these modes of variation with the measures collected during measurement campaigns (eg EUREC4A, Stratéole, CINDY-DYNAMO campaigns, etc.)

This work will be done in collaboration with LMD and the University of Oklahoma, and will include stays.

References :

- Carella G., Vrac M., Brogniez H., P. Yiou and Chepfer H. (2020) Statistical downscaling of water vapour satellite measurements from profiles of tropical ice clouds, Earth System Science Data, 12, 1-20.
- Hogjard-Olsen E., Brogniez H., and Chepfer H. (2020) Observed evolution of the tropical atmospheric water cycle with sea surface temperature, Journal of Climate (sous presse).
- Stephens G. (2005) Cloud feedbacks in the climate system: a critical review, Journal of Climate, 18, 237-273.
- Stephens G. & Ellis T. (2008) Controls of global-mean precipitation increases in global warming GCM experiments, Journal of Climate, 21 6141-55
- Fischer E. & Knutti R. (2016) Observed heavy precipitation increase confirms theory and early models, Nature Climate Change, 6, 986-91

Type de financement autre que ED129 (envisageable ou acquis) :

La thèse va être proposée en co-tutelle internationale avec l'Université d'Oklahoma, via le programme d'Action Doctorale Internationale de Paris-Saclay. Le financement n'est pas acquis.

Liste des autres doctorants que vous encadrez au 1^{er} janvier 2020

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

E. Höjgard-Olsen, Université Paris-Saclay, bourse MESR, soutenance prévue en septembre 2020.