

(French version below)

PhD. Position at GSMA/Université de Reims Champagne-Ardenne/CNRS, Reims, France.

Title : Study of deep convection cases flown over during the STRATEOLE 2 balloon campaigns and their impact on the lower equatorial stratosphere.

Key-words: Deep convection, lower stratosphere, long duration balloons, overshoots, water vapour, cyclone.

Profile and required skills:

Atmospheric physics, atmospheric modelling, Python and Fortran programming, use and analysis of large dataset analysis.

PhD discipline: Atmospheric Physics

Supervisor: Emmanuel RIVIERE – GSMA – emmanuel.riviere@univ-reims.fr

Description of the research problem:

The French-American project Stratéole 2, supported by CNES on the French side, is dedicated to the study of the dynamics and composition of the equatorial lower stratosphere. Tropospheric air masses enter the stratosphere overwhelmingly through tropical regions and influence both its chemical composition and climate. Among the key species of the tropical lower stratosphere, water vapor is the subject of particular attention due to its climatic and chemical role. While the incoming amount of water vapor at the tropopause depend primarily on the coldest temperature encountered during the slow ascent to the stratosphere, other processes such as waves or deep convection can also modulate water vapor, and their quantification at the global scale is much less known. The Stratéole 2 project is based on three phases of a long-duration pressurized balloon (BPS) campaign above the tropical tropopause and flying over a large portion of the equatorial belt. Two campaigns have already been carried out and another is planned in 2026-27. The balloon-borne instruments measure wind components and temperature perturbations (TSEN and GPS) due to atmospheric waves, but also the size distribution of aerosols (LOAC and LPC) and particles, the morphologies of cloud layers under the balloon (BeCOOL), as well as the abundance of greenhouse gases (Pico-SDLA, RACHuTS). The water vapor measurements obtained by the Pico-SDLA instruments during these campaigns are at the heart of this doctoral project. Due to the long duration of the flights, the balloons can fly over all tropical regions and thus sample the geographic variability of the above-mentioned processes. This doctoral project focuses on deep convection, which is generally more violent and organized over continents than over oceans. Deep convection is one of the water vapor modulation processes that is subject to significant geographical variation.

We propose to study different cases of deep convection highlighted by observations from the Pico-SDLA instrument, during the different phases of the campaign. Of particular interest are cases of

extreme convection, in which the top of the cloud structures has exceeded the tropopause (overshoots). The variability of the convection probed offers the opportunity to study the variability of its impact on the lower stratosphere, which is a missing piece in the parameterization of convection in global climate models. A first case will be a case of continental convection, a second case will be a case of maritime convection, and a priority third case will be the study of extreme convection due to the influence of cyclone Rai, flown over by two Stratéole 2 flights. While it is accepted that certain parts of cyclones can penetrate into the lower stratosphere, the quantification of their impact on stratospheric water vapor is very little studied, due to the difficulty of making measurements in the immediate vicinity of such systems. The flyover of an event by two Stratéole 2 flights is a unique opportunity to better quantify their impact.

The PhD student's work will consist of mesoscale simulations of the various convective cases mentioned above to better quantify their impact on stratospheric water. The atmospheric model used is the Méso-NH model (Météo-France and LAERO) on the GENCI (Idris or Cines) and ROMEO (University of Reims Champagne-Ardenne) supercomputers. This model includes a "model to satellite" approach allowing, from the calculated meteorological fields, to simulate the parameters measured by the satellite (brightness temperatures), helping to validate the simulations with comparable products. Once the simulations have been validated by satellite observations and balloon measurements, stratospheric water budgets will be carried out and will allow to quantify the budgets transported by the different types of convective system and their variability. The simulations will be carried out with different microphysical settings, notably at a single moment or at two moments, with a modulation of the estimated budgets.

Version française

Titre : Étude des cas de convection profonde survolés lors des campagnes ballon STRATEOLE 2 et de leur impact sur la basse stratosphère équatoriale.

Mots clés : Convection profonde, basse stratosphère, ballons longue durée, overshoots, vapeur d'eau, cyclone

Discipline (spécialité): Physique de l'atmosphère

Directeur (ou directrice) de thèse : Emmanuel RIVIERE – GSMA – emmanuel.riviere@univ-reims.fr

Profil et compétences recherchés :

Physique de l'atmosphère, modélisation atmosphérique, programmation en python et en fortran, analyse d'un large jeu de donnée.

Description de la problématique de recherche

Le projet franco-américain Stratéole 2, soutenu par le CNES côté français, est dédié à l'étude de la dynamique et la composition de la basse stratosphère équatoriale. C'est en très grande majorité par les régions tropicales que les masses d'air troposphériques rentrent dans la stratosphère et influent à la fois sur sa composition chimique et sur le climat. Parmi les espèces clé de la basse stratosphère tropicale, la vapeur d'eau est sujette à une attention particulière par son double rôle climatique et chimique. Alors que les quantités entrantes de vapeur d'eau à la tropopause dépendent au premier ordre de la température la plus froide rencontrée lors de l'ascension lente vers la stratosphère, d'autres processus comme les ondes ou la convection profonde peuvent également moduler la vapeur d'eau, et leur quantification à l'échelle globale est beaucoup moins bien connue. Le projet Stratéole 2 s'appuie sur trois phases d'une campagne de ballons pressurisés (BPS) longue durée au-dessus de la tropopause tropicale et survolant une large portion de la ceinture équatoriale. Deux campagnes ont déjà été réalisées et une autre reste à venir (2026-27). Les instruments sous ballon mesurent les composantes de vent et les perturbations de température (TSEN et GPS) dus aux ondes atmosphériques mais également la répartition en taille des aérosols (LOACet LPC) et particules, les morphologies de couches nuageuses sous le ballon (BeCOOL), ainsi que l'abondance des gaz à effet de serre (Pico-SDLA, RACHuTS). Les mesures de vapeur d'eau obtenues par les instruments Pico-SDLA lors de ces campagnes sont au cœur de ce projet doctoral. De par la longue durée des vols, les ballons peuvent survoler toutes les régions tropicales et ainsi échantillonner la variabilité géographique de certains processus. Ce projet doctoral s'intéresse particulièrement à la convection profonde qui est généralement plus violente et organisée au-dessus des continents qu'au-dessus des océans. La convection profonde est l'un des processus de modulation de la vapeur d'eau qui est sujet à une variation géographique significative.

Nous nous proposons d'étudier les différents cas de convection profonde mis en évidence par les observations de l'instrument Pico-SDLA, lors des différentes phases de la campagne. Un intérêt particulier porte sur les cas de convection extrême, dont le sommet des structures nuageuses a dépassé la tropopause (overshoots). La variabilité de la convection sondée offre l'opportunité d'étudier la variabilité de son impact sur la basse stratosphère, qui est une pièce manquante dans la paramétrisation de la convection dans les modèles globaux du climat.

Un premier cas sera un cas de convection continentale, un deuxième cas sera un cas de convection maritime, et un troisième événement, prioritaire, sera l'étude de convection extrême due à l'influence du cyclone Rai, survolé par deux vols de Stratéole 2. S'il est admis que certaines parties des cyclones peuvent pénétrer dans la basse stratosphère, la quantification de leur impact sur la vapeur d'eau stratosphérique est très peu étudiée, à cause de la difficulté à effectuer des mesures à proximité immédiate de tels systèmes. Le survol d'un événement par deux vols de Stratéole 2 est une occasion inédite de mieux quantifier leur impact.

Le travail du doctorant consistera en la simulation à méso-échelle des différents cas convectifs précités pour mieux quantifier leur impact sur le l'eau stratosphérique. Le modèle atmosphérique utilisé est le modèle Méso-NH (Météo-France et LAERO) sur les supercalculateurs du GENCI (Idris ou Cines) et de ROMEO (Université de Reims Champagne-Ardenne). Ce modèle inclut une approche « model to satellite » permettant, à partir des champs météorologiques calculés, de simuler les paramètres mesurés par le satellite (températures de brillance), aidant à valider les simulations avec des produits comparables. Une fois les simulations validées par les observations satellites et par les mesures sous ballon, des bilans d'eau stratosphériques seront réalisées et

permettrons de quantifier les bilans transportés par les différents types de système convectif et leur variabilité. Les simulations seront réalisées avec différents réglages microphysiques, notamment à un seul moment ou à deux moments, avec une modulation des bilans estimés.