

essentiellement du manque de connaissance sur la turbulence atmosphérique en raison du nombre limité d'observations dans cette région.

Une première campagne Strateole-2 - 8 ballons - a été menée avec succès en novembre-décembre 2019. Des observations complémentaires par un grand radar ST (Stratosphère-Troposphère) et des radiosondages ont été effectués à Sumatra (Indonésie). Cette thèse vise à améliorer notre compréhension de la turbulence et de ses impacts dans la HTBS tropical en se basant sur la combinaison unique des observations de ballons SP (observations quasi-lagrangiennes), et de mesures eulériennes (ou quasi-eulériennes), de radars et de radiosondages. L'objectif est double : 1. détecter et quantifier la turbulence dans la HTBS à partir des observations, et 2. déterminer les mécanismes qui produisent cette turbulence. Le projet mettra également en place des études de modélisation à échelle fine (modèle WRF) contraintes par les observations, ce qui permettra d'aborder la question de la génération des zones de turbulence en lien avec des processus dynamiques à plus grande échelle. Ces travaux ouvriront la voie à une meilleure modélisation des processus petite échelle dans les modèles climatiques, et à une meilleure estimation de leur contribution au transport vertical.

Les travaux scientifiques seront notamment axés sur :

1. La détection et la quantification de la turbulence à partir des mesures des ballons SP. Les mouvements des ballons dans un milieu turbulent sont mal connus. Un travail doit être fait sur la fonction de transfert haute fréquence du ballon en se basant sur l'analyse des données et sur la modélisation.
2. Documenter la variabilité spatiale et temporelle de la turbulence TTL sur la bande tropicale en se basant sur les observations des ballons SP en synergie avec les mesures eulériennes (radars, radiosondages) et les réanalyses. Une telle étude permettra d'identifier des régions spécifiques où la turbulence est particulièrement active, et de rechercher des liens avec les processus météorologiques (la convection, l'activité des ondes, etc.)
3. Améliorer notre compréhension de la génération et de la durée de vie des événements turbulents dans la HTBS. Ce travail tirera pleinement parti des observations lagrangiennes et eulériennes et d'un modèle numérique (WRF). Le caractère lagrangien des observations fournira des informations sans précédent sur la durée de vie des couches turbulentes qui détermine leur efficacité globale de mélange des traceurs.

La thèse sera supervisée par Richard Wilson (LATMOS) et Albert Hertzog (LMD). Les deux chercheurs ont une grande expertise de la dynamique atmosphérique basée sur différents moyens d'observation, radar, lidar et in situ. Albert Hertzog pilote le projet Strateole-2.

• **Résumé Sujet en Anglais (1 page maximum) :**

Strateole-2 is an international scientific project (mostly France, USA) aiming at providing observations of the tropical upper troposphere-lower stratosphere (UTLS) to better understand dynamical and transport processes in this region. The uniqueness of the project comes from the use of long-duration stratospheric balloons developed by CNES (called superpressure balloons), which are able to fly for several months at targeted altitudes.

The tropical UTLS is a key region of the Earth climate system. Regarding chemistry, this region is the gateway to the stratosphere and mesosphere for tropospheric species, whether of anthropogenic origins or not. Among these species, water vapor holds particular attention because of its role in ozone depletion, and in the radiative balance of the Earth. Besides chemistry, the TTL is also an important region for dynamical coupling between the troposphere and stratosphere. Deep tropical convection actually leads to the generation of a wide range of waves trapped in the equatorial wave guide, e.g. synoptic scale waves (Kelvin and Rossby waves), and gravity waves that all contribute to modulate the stability of the TTL and therefore to initiate instabilities, i.e. turbulence, in the flow.

Yet, the precise mechanisms responsible for the transport of air constituents through the TTL remain largely unknown. Most of our current knowledge is indeed based on transport studies performed with state-of-the-art reanalysed wind fields, which suffer from significant uncertainties in the tropics and barely represent small-scale processes, i.e. turbulence and mixing.

The role played by turbulent mixing in the vertical transport of constituents in the TTL is yet poorly known. Current estimates of vertical diffusivity in the TTL vary by at least 2 orders of magnitudes. This wide range of values is basically the result of a lack of knowledge of TTL turbulence due to the limited number of observations in this region as well as the limitation of current observation techniques.

A first Strateole-2 campaign - 8 balloons - was successfully carried out in November-December 2019. Complementary observations by a large ST radar (Stratosphere-Troposphere) and radio-soundings were conducted in Sumatra

(Indonesia). This thesis aims at improving our understanding of turbulence and its impacts in the tropical UTLS based on the unique combination of observations from long-duration balloons (quasi-Lagrangian observations), and from Eulerian (or quasi-Eulerian) measurements, radar and radio-soundings. The objective is twofold: 1. detecting and quantifying turbulence in the UTLS from the observations, and 2. pinning down mechanisms that produce this turbulence. The project will also set up fine-scale modeling studies (WRF model) constrained by those observations, which will enable to resolve the onset of turbulence patches and their links with larger scale dynamical processes. These achievements will pave the way for improved modeling of these processes in climate models, and better estimating their contribution to transport and wave dissipation in the tropical UTLS.

The scientific work will notably focus on:

1. Detection and quantification of turbulence from measurements of SP balloons. The balloons motions in a turbulent environment are poorly known. Work needs to be done on the high-frequency transfer function of the SP balloon based on data analysis and modelling.
2. Documentation of the spatial and temporal variability of TTL turbulence over the tropical band based on observations of SP balloons in synergy with Eulerian measurements (radar, radiosondes) and reanalyses. Such a study will make it possible to identify specific regions where turbulence is particularly active, and to seek links with meteorological processes (convection, wave activity, etc.).
3. Improve our understanding of the generation and lifetime of turbulent events in the UTLS. This work will take full advantage of Lagrangian and Eulerian observations and a numerical model (WRF). The Lagrangian character of the observations will provide unprecedented information on the lifetime of turbulent layers which determines their overall tracer mixing efficiency.

The thesis will be supervised by Richard Wilson (LATMOS) and Albert Hertzog (LMD). The two researchers have extensive expertise in atmospheric dynamics based on various means of observation, radar, lidar and in situ. Albert Hertzog is leading the Strateole-2 project.

• Type de financement autre que ED 129, précisez si envisageable ou acquis (CNES, CEA, ADEME etc...) :

• Encadrement :

. Liste des autres doctorants que vous encadrez ou co-encadrez au 1^{er} janvier 2020
(Nom, Université d'inscription, type de financement, date de soutenance envisagée)