



## **Soutenance de thèse :**

# **Capacités à améliorer la caractérisation des aérosols par le futur lidar à Haute Résolution Spectrale de la mission AOS (the Atmosphere Observing System)**

Par **Flavien CORNUT** (GMGEC/PLASMA)

**Le 30 mars 2023 à 10h**

Amphithéâtre du CIC

Lien BJ : <https://bluejeans.com/568029304/7652>

### **Jury**

**M. Patrick CHAZETTE**, Rapporteur

**M. Oleg DUBOVIK**, Rapporteur

**M. Jean-Christophe RAULT**, Examineur

**M. Jean Luc ATTIE**, Examineur

**Mme Sophie GODIN-BEEKMANN**, Examinatrice

**M. Adrien DESCHAMPS**, Examineur

**M. Laaziz EL AMRAOUI**, Directeur de thèse

**M. Juan CUESTA**, Co-directeur de thèse

## Résumé

Cette thèse évalue les bénéfices d'un Lidar satellitaire à Haute Résolution Spectrale à 532 nm dans le cadre du programme spatial international Atmosphere Observing System (NASA, CNES, JAXA, CSA) pour améliorer l'observation des aérosols et leur description dans un Modèle de Chimie Transport, avec une attention particulière à leur distribution verticale. L'objectif scientifique de cette mission est d'approfondir nos connaissances sur les aérosols et les nuages et notamment leurs interactions avec le climat et l'environnement. Les lidars à rétrodiffusion élastique (exemple CALIOP) sont limités par leur difficulté à séparer le signal moléculaire du signal particulaire, source de grandes incertitudes pour l'étude des aérosols. La technique à Haute Résolution Spectrale s'émancipe de cette contrainte en exploitant le phénomène de décalage Doppler induit par l'agitation thermique des particules et molécules dans l'atmosphère.

Dans ce contexte, une expérience dite d'Observing Simulation System Experiment est réalisée à partir d'un Nature Run et d'un Control Run simulés via le modèle de Météo-France MOCAGE (Modèle de Chimie Atmosphérique à Grande Échelle) forcé par différents champs météorologique. Les Observations Synthétiques sont simulées à partir du logiciel de simulation de signal lidar BLISS (Backscatter Lidar Signal Simulator), développé par le CNES en considérant les paramètres instrumentaux du lidar AOS. Une première étude illustre l'apport des observations satellitaires à Haute Résolution Spectrale pour la mesure des aérosols par rapport à une configuration lidar classique. Cette étude est menée sur trois cas d'études caractéristiques d'un évènement de poussières désertiques, de fumées issue de feux de biomasse, ou de pollution anthropique. Dans les trois cas, les observations synthétiques à Haute Résolution Spectrale sont plus précises et robustes face à des variations importantes de propriétés optiques des aérosols au sein d'une même colonne, des distributions verticales complexes et multi-couches, ou des concentrations importantes. Le réalisme des observations Synthétiques est abordé, notamment en terme de simulation du bruit instrumental du au rayonnement de fond solaire.

Des jeux d'Observations Synthétiques sont ensuite simulés dans le cadre de l'expérience d'assimilation afin de répondre aux problématiques scientifiques de l'apport de la voie 532 nm à Haute résolution spectrale pour la modélisation des aérosols. Le Nature Run est simulé sur une période de 5 mois, centré sur un épisode de poussières désertiques important détecté en Europe du sud autour du 25 mars 2018. Les mesures lidar depuis l'espace sont caractérisées par des bonnes résolutions verticales, mais des largeurs de fauchées étroites, pouvant complexifier l'étude des panaches s'ils ne sont pas traversés précisément par les orbites. Sur la période d'étude, l'intense évènement de poussières désertiques est rencontré plusieurs fois par le satellite, dont deux fois dans la même journée le 25 mars. Sur cette journée, une étude comparative de l'impact de l'assimilation d'observations lidar avec et sans Haute Résolution Spectrale a montré le bénéfice significatif de cette technologie, notamment lors de couches d'aérosols denses, qui peuvent conduire à des phénomènes de saturation des observations de type Backscatter classiques. Une étude statistique plus large en terme d'épaisseur optique sur 5 mois et sur l'ensemble du bassin méditerranéen a également montré un impact positif et significatif des observations lidar pour l'amélioration de la distribution des aérosols dans l'espace, en terme d'abondance et de variabilité.

## Abstract

This thesis evaluates the benefits of a High Spectral Resolution Lidar satellite at 532 nm in the context of the international space programme Atmosphere Observing System (NASA, CNES, JAXA, CSA) to improve the observation of aerosols and their description in a Chemistry Transport Model, with particular emphasis on their vertical distribution. The scientific objective of the mission is to improve our knowledge of aerosols and clouds, and in particular their interactions with climate and the environment. Elastic backscattering lidars (e.g. CALIOP) are limited by the difficulty of separating the molecular signal from the particle signal, which is a source of great uncertainty in aerosol studies. The High Spectral Resolution technique overcomes this limitation by exploiting the Doppler shift phenomenon induced by the thermal motion of particles and molecules in the atmosphere.

In this context, an Observing Simulation System Experiment is performed from a Nature Run and a Control Run simulated by the Météo-France model MOCAGE (Modèle de Chimie Atmosphérique à Grande Échelle), forced by different meteorological fields. The Synthetic Observations are simulated using the BLISS (Backscatter Lidar Signal Simulator) lidar signal simulation software developed by CNES, taking into account the instrumental parameters of the Atmosphere Observing System lidar. A first study illustrates the contribution of High Spectral Resolution lidar satellite observations to aerosol measurements compared to a classical lidar configuration. This study is carried out on three case studies characteristic of a desert dust event, smoke from biomass fires or anthropogenic pollution. In all three cases, High Spectral Resolution synthetic observations are more accurate and robust to variations in aerosol optical properties within the same column, complex and multilayered vertical distributions, or high concentrations. The realism of the synthetic observations is mentioned, especially with respect to the simulation of the instrumental noise due to solar background radiation.

Different sets of synthetic observations are then simulated in the assimilation experiment to address the scientific questions of the contribution of the high spectral resolution 532 nm channel to aerosol modelling. The Nature Run is simulated over a 5-month period, centred on a large desert dust event detected in southern Europe around 25 March 2018. Lidar measurements from space are characterised by good vertical resolution but narrow swath widths, which can complicate the study of plumes if they are not accurately crossed by the orbits. During the study period, the satellite overpass the intense desert dust event several times, including twice on the same day on 25 March. On this day, a comparative study of the impact of assimilating lidar observations with and without high spectral resolution showed the significant benefit of this technology, particularly in the presence of dense aerosol layers, which can lead to saturation phenomena in conventional backscatter observations. A larger statistical study in terms of optical thickness over 5 months and over the whole Mediterranean basin has also shown a positive and significant impact of lidar observations in improving the spatial distribution of aerosols in terms of abundance and variability.