

**PROPOSITION DE SUJET DE THESE**

**Intitulé : Evaluation de la disponibilité du lien optique satellite-sol en présence de nuages et d'aérosols**

Référence : **PHY-DOTA-2020-03**  
(à rappeler dans toute correspondance)

**Début de la thèse : 01/10/2020**

**Date limite de candidature : 01/06/2020**

**Mots clés :**

**clustering, deep learning, modélisation, nuages, aérosols**

**Profil et compétences recherchées :**

Master 2 recherche ou école d'ingénieur avec compétences en analyse de données, deep learning, statistiques ou transfert radiatif atmosphérique / télédétection

**Présentation du projet doctoral, contexte et objectif**

La connaissance de la disponibilité de la mesure est essentielle pour le choix des stations de réception pour l'établissement d'une liaison satellite-sol (applications de télécommunication ou d'observation de la Terre). La disponibilité de la mesure est en particulier compromise par la nébulosité : la connaissance de l'occurrence des nuages sur le globe est donc un élément-clé, que ce soit pour la sélection des sites ou des combinaisons de sites de réception les plus favorables pour l'établissement des liaisons optiques satellite-sol, ou bien pour connaître le taux d'opérabilité d'un système d'observation satellitaire pour une zone géographique donnée.

La plupart des études se basent sur des statistiques de couverture nuageuse afin de répondre à ces questions. Elles se limitent en général à estimer les conditions de propagation en ciel clair, tous les nuages étant considérés comme totalement opaques. Une estimation plus réaliste de la disponibilité du lien optique passe par la prise en compte dans les bilans de liaison des nuages optiquement fins, qui n'atténuent pas complètement le lien optique et permettent donc son établissement, même dégradé. La présence d'aérosols troposphériques est également un facteur d'atténuation qui est aujourd'hui mal documenté. Il apparaît donc important d'évaluer l'impact conjoint des aérosols et des nuages optiquement fins sur la transmission optique, en particulier en configuration LEO (Low Earth Orbit).

Il est possible, à l'aide de données lidar satellitaires, comme CALIOP qui est embarqué sur le satellite CALIPSO, d'accéder à des bases de données de grande taille de propriétés optiques des nuages et des aérosols, à l'échelle mondiale. Il faut ensuite exploiter ces bases de données pour construire des climatologies qui permettent de calculer des statistiques de transmission pour une liaison satellite-sol. Les travaux que nous avons menés ces dix dernières années ont abouti à la mise au point d'un générateur de scènes basé sur une approche Monte Carlo [Gressier2019], qui exploite l'ensemble des profils de la base, ici de taille réduite et provenant uniquement de CALIOP, et d'une première climatologie de paramètres optiques associés aux aérosols et aux nuages, qui permet d'évaluer la disponibilité du lien optique dans le domaine visible, c'est-à-dire d'évaluer la probabilité d'avoir une atténuation supérieure à un seuil donné.

Afin d'améliorer la représentativité de ces outils, le premier objectif de la thèse sera de pouvoir exploiter des bases de données de plus grande taille, issues de plusieurs satellites. Il ne sera alors plus possible de considérer l'ensemble des profils pour l'approche Monte Carlo. Afin d'effectuer une sélection pertinente d'un nombre restreint de profils à considérer, il faudra adapter des méthodes de clustering basées sur du deep learning aux profils verticaux atmosphériques associés aux aérosols et aux nuages, dans le but d'extraire des profils représentatifs. Ces profils peuvent être assimilés à une collection d'images 2D, et bénéficier des méthodologies utilisées dans le domaine du traitement de séquences temporelles ou de l'imagerie dans différentes bandes spectrales. Les profils représentatifs, pondérés par la probabilité d'occurrence du cluster associé, seront ensuite utilisés pour calculer les statistiques de transmission pour une liaison satellite-sol. On

constate en effet un essor important dans la littérature des méthodes de deep clustering depuis 2016, avec des performances bien supérieures à celles des méthodes classiques comme les k-means. L'idée est de combiner et d'optimiser conjointement un réseau de neurones profond pour extraire des caractéristiques non linéaires bien adaptées au clustering et une méthode de clustering classique comme les k-means [Guo2017][Fard2018] ou la régression logistique [Dizaji2017], appliquée dans l'espace des caractéristiques.

Un des points clés sera la fusion de données provenant de capteurs multiples : actifs, passifs, satellitaires, basés au sol, de résolutions spatiales et temporelles différentes,... L'exploitation des produits des satellites météorologiques géostationnaires, tels que Météosat Seconde Génération, permettrait ainsi d'avoir des données avec une bonne résolution spatiale (quelques kms au nadir) et temporelle (une mesure toutes les 15 minutes), et d'améliorer la robustesse de nos statistiques. En contrepartie, les nuages subvisuels ne sont pas détectés. L'exploitation des produits issus des modèles de prévisions météorologiques ou des réanalyses, comme CAMS (Copernicus Atmosphere Monitoring Service) pour les aérosols, pourrait également permettre de compléter nos données.

Enfin, le deuxième objectif de la thèse sera d'étendre le domaine d'application de nos outils, par exemple pour la surveillance de la Terre par un capteur satellitaire infrarouge, en transposant les résultats du visible vers le domaine spectral pertinent. Nous disposons des données nécessaires pour les nuages mais, pour les aérosols, il n'existe pas à ce jour de banques de données de propriétés optiques des aérosols à l'échelle globale en infrarouge. Une méthodologie de transposition de bande doit donc être développée pour disposer des propriétés optiques dans l'infrarouge à partir de mesures dans le visible. Elle reposera a minima sur la connaissance du type ou du mélange d'aérosols, des indices de réfractions associés et la mise en œuvre de codes radiatifs de Mie ou de T-Matrix.

A. Gressier A, K. Caillault, Aerosols Impact on Optical Satellite Transmission, Conf. Pegasus Europe, 2019.

X. Guo, L. Gao, X. Liu, J. Yin, Embedded Clustering with Local Structure Preservation, IJCAI, 2017

M. M. Fard, T. Thonet, E. Gaussier, Deep k-Means: Jointly Clustering with k-Means and Learning Representations, 2018, arXiv : 1806.10069v1.

K. Z. Dizaji, A. Herandi, C. Deng, W. Cai, H. Huang Deep Clustering via Joint Convolutional Autoencoder Embedding and Relative Entropy Minimization, 2017, arXiv : 1704.06327.

#### **Collaborations envisagées : LATMOS**

#### **Laboratoire d'accueil à l'ONERA**

Département : Département Optique et Techniques Associées

Lieu (centre ONERA) : Palaiseau

**Contact** : Sidonie Lefebvre / Karine Caillault

Tél. : 01 80 38 63 76 / 63 50

Email :

[sidonie.lefebvre@onera.fr](mailto:sidonie.lefebvre@onera.fr) / [karine.caillault@onera.fr](mailto:karine.caillault@onera.fr)

#### **Directeur de thèse**

Nom : Laurent Barthès

Laboratoire : LATMOS

Tél. : 01 80 28 52 26

Email : [laurent.barthes@latmos.ipsl.fr](mailto:laurent.barthes@latmos.ipsl.fr)

Pour plus d'informations : <https://www.onera.fr/rejoindre-onera/la-formation-par-la-recherche>