



# Téledétection par imagerie hyperspectrale pour la cartographie des émissions de particules d'aérosols dans l'atmosphère

## Remote sensing by hyperspectral imagery for the mapping of aerosol particle emissions in the atmosphere

Soutenance de thèse - Gabriel Calassou

**02 Décembre 2022 à 14h00**

Auditorium ONERA, 2 Avenue Édouard Belin, 31400 Toulouse

### Devant le jury composé de :

Jean-François LEON	Univ. Toulouse III - Paul Sabatier / LAERO	Directeur de thèse
Nadège MARTINY	Univ. de Bourgogne, Centre de Recherche de Climatologie	Rapportrice
Rodolphe MARION	Commissariat à l'Énergie Atomique et aux énergies alternatives	Rapporteur
Malik CHAMI	Univ. de la Sorbonne / LATMOS	Examineur
Dominique SERCA	Univ. Paul Sabatier Toulouse III, Laboratoire d'Aérogologie	Examineur
Hervé DELBARRE	Univ. du Littoral Côte d'Opale	Examineur
Pierre-Yves FOUCHER	ONERA	Co-directeur de thèse
Xavier BRIOTTET	ONERA	Invité
Camille DESJARDINS	CNES	Invitée

### Résumé :

La dégradation de la qualité de l'air en raison de l'émission de particules fines dans l'atmosphère (encore nommées aérosols) est un problème environnemental et sanitaire majeur. Les sources d'émission d'aérosols sont nombreuses et diversifiées (trafic routier, industrie, chauffage, ...) et les mécanismes de dispersion et de modification physico-chimique de ces particules restent complexes à représenter dans les modèles de prévision de la qualité de l'air. L'évolution spatio-temporelle des émissions de panaches industriels reste encore mal appréhendée, mais sa connaissance demeure primordiale pour le suivi de la qualité de l'air dans le voisinage des sources. La collecte d'observations est donc essentielle pour améliorer nos connaissances sur ces émissions et de leurs impacts. Les mesures in-situ n'offrent toutefois pas une spatialisation géographique adéquate autour des sites d'émission. Plusieurs travaux menés en partie par l'ONERA ont permis de montrer la sensibilité de l'imagerie hyperspectrale aéroportée dans le domaine réflectif (0.4-2.5  $\mu\text{m}$ ) pour la caractérisation des propriétés des particules émises par la source. L'utilisation des produits satellites pourrait permettre de compléter les données déjà existantes pour le suivi d'émissions d'aérosols. L'objectif de cette thèse est alors d'évaluer la sensibilité de l'imagerie hyperspectrale satellitaire pour la détection et la caractérisation des propriétés physico-chimiques des aérosols industriels nécessaires à la réalisation d'un bilan de masse pour les fines particules.

Cela nécessite d'être capable de modéliser les interactions entre les aérosols d'un panache avec le flux solaire. De plus, une connaissance de l'information spectrale des sols en dessous du panache est nécessaire pour modéliser le signal des aérosols du panache. Ce signal ou réflectance de surface est modélisé par une méthode de fusion s'appuyant sur l'utilisation d'une donnée exogène provenant généralement d'une donnée multispectrale dont le temps de revisite est de quelques jours. Une caractérisation des propriétés des aérosols est ensuite réalisée par l'intermédiaire d'un algorithme d'optimisation utilisant le formalisme Bayésien. Cela permet de restituer conjointement des paramètres dont les signatures spectrales peuvent être partiellement similaires et d'analyser les incertitudes statistiques associées aux restitutions. Ensuite, un bilan de masse, puis une estimation du flux et de son incertitude est réalisé.

Pour mener à bien cette étude, une première application de ce processus d'inversion a été réalisée sur une image hyperspectrale aéroportée d'un site sidérurgique, puis une seconde sur des images PRISMA sur différents sites industriels : une centrale à charbon, un site d'exploitation pétrolière et un site sidérurgique. Les images satellitaires PRISMA ont une résolution spatiale de 30 m et une résolution spectrale de 10 nm. Une telle approche a permis de montrer la sensibilité de la donnée hyperspectrale satellite à différents types d'aérosols tout en adaptant notre modélisation aux différentes géométries d'émissions rencontrées. Enfin, cela nous a permis de restituer des débits de particules pour le mode d'accumulation variant entre 131 et 394  $\text{g.s}^{-1}$  pour des rayons médians moyens variant entre 0.10 et 0.12  $\mu\text{m}$  pour les sites étudiés à partir des données PRISMA.

### Mots clés :

Aérosols, Téledétection, Hyperspectral