



# Observation de la Terre depuis l'Espace par interférométrie optique

## Earth observation from Space using optical interferometry

Soutenance de thèse – Hiyam Debary

**Jeudi 9 février 2023 à 14h00**

Observatoire de Paris - Salle du Conseil  
61 Avenue de l'Observatoire, 75014 Paris

### Devant le jury composé de

Maud Langlois	CRAL, Université Lyon 1	Rapporteuse
Sylvestre Lacour	LESIA, Observatoire de Paris PSL	Rapporteur
François Reynaud	Xlim, Université de Limoges	Examineur
Loïc Denis	LHC, IOGS, Université de Saint-Etienne	Examineur
Jérôme Loicq	CSL, Université de Liège & TU Delft	Examineur
Vincent Michau	DSG, ONERA	Directeur de thèse
Laurent Mugnier	DOTA, ONERA	Co-directeur de thèse
Sébastien Lopez	Airbus Defence & Space	Encadrant

### Résumé

Cette thèse a porté sur l'imagerie de la Terre par interférométrie optique, en s'attachant plus précisément au concept SPIDER, proposé initialement par la société américaine Lockheed-Martin. Il s'agit d'une application récente d'interférométrie optique, où un télescope imageur conventionnel est remplacé par un interféromètre optique effectuant ses mesures dans le plan pupillaire. Le signal est collecté par des pupilles jointives et est ensuite combiné à travers des circuits photoniques intégrés (PICs), permettant une augmentation significative du nombre de fréquences spatiales mesurées. Ainsi, j'ai exploré théoriquement les limitations introduites par un tel imageur interférométrique, et proposé plusieurs améliorations.

La première partie de mon travail a porté sur l'étape d'estimation d'une grandeur physique appelée visibilité complexe, caractéristique des interférogrammes et regroupant le contraste et la position des franges. J'ai établi une synthèse exhaustive, grâce à un formalisme analytique, des performances de deux estimateurs statistiques pour l'estimation de la visibilité complexe à partir de différents échantillonnages de l'interférogramme. Cette étude a été faite dans deux cas : un premier cas simple où le bruit prépondérant est homogène, et un second cas plus complexe où le bruit prépondérant est inhomogène, en particulier un bruit photonique. Cela m'a permis d'identifier les méthodes ayant des performances supérieures à celles de l'état de l'art. Ces schémas pourraient également être utilisés dans les interféromètres astronomiques.

La deuxième partie de ma thèse a porté sur les architectures de recombinaison. En m'appuyant sur des résultats de la théorie combinatoire, jamais utilisés jusqu'à présent en interférométrie optique, j'ai proposé une méthode pour explorer de manière exhaustive des architectures de recombinaison. En utilisant cette méthode, j'ai développé un outil permettant de construire l'architecture de recombinaison optimale. Cette approche m'a permis de proposer plusieurs types d'architectures de recombinaison permettant d'améliorer significativement la couverture fréquentielle du concept SPIDER proposée habituellement dans la littérature. J'ai notamment mis en évidence l'intérêt d'un système hybride combinant un télescope monolithique avec un interféromètre optique de type SPIDER.

La dernière partie de cette thèse a été consacrée à la comparaison d'un interféromètre type SPIDER et d'un imageur optique conventionnel, tous deux utilisés dans des conditions représentatives de l'observation de la Terre depuis un satellite en orbite basse. Des simulations numériques d'images qui pourraient être obtenues par un instrument de type

SPIDER ont mis en évidence la présence de repliement de champ. Comme attendu, une adaptation du dispositif de prise de vue est nécessaire pour compenser le défilement rapide de la scène et augmenter le temps de pose, ce quel que soit le type d'imageur. Une adaptation de la prise de vue interférométrique est proposée en ce sens. J'ai comparé le comportement d'un interféromètre de type SPIDER et d'un imageur classique en termes de robustesse au bruit de façon analytique : si l'imageur classique se compare favorablement à l'imageur interférométrique à basses et moyennes fréquences spatiales, l'interféromètre présente un meilleur rapport signal-à-bruit à hautes fréquences spatiales.

### **Mots clés**

Interférométrie, optique, circuits photoniques intégrés, couverture fréquentielle.

