

## DIPLÔME NATIONAL DE DOCTORAT

(Arrêté du 25 mai 2016)

Date de la soutenance : **03 mai 2024**

Nom de famille et prénom de l'auteur : **Monsieur BARON Maël**

Titre de la thèse : « *Mesure et modélisation du miroir dichroïque du télescope spatial Euclid* »



### Résumé

Le télescope spatial Euclid a été mis en orbite le 1<sup>er</sup> juillet 2023 par SpaceX jusqu'au point de Lagrange L2. Ses objectifs scientifiques sont l'étude de la matière noire et de l'énergie noire, qui sont deux grandes énigmes de la cosmologie moderne. Pour cela, Euclid dispose de deux instruments, VIS et NISP. VIS est une caméra d'imagerie visible de 36 CCD à très haute définition, permettant de mesurer précisément la forme des galaxies. NISP est un spectrophotomètre infrarouge permettant de mesurer les distances de ces galaxies. Les informations obtenues par ces deux instruments permettent d'appliquer deux sondes cosmologiques : le Weak Lensing et le Galaxy-Clustering, essentielles pour caractériser l'énergie noire et la matière noire.

Pour permettre l'utilisation simultanée des deux instruments sur le même champ de vue, un miroir « dichroïque » a été placé dans le télescope. Celui-ci laisse passer la lumière infrarouge vers NISP et réfléchit la lumière visible vers VIS. Ce miroir est constitué d'un ensemble de 182 couches minces  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  et  $\text{SiO}_2$  qui ont été déposées sur un substrat de silice. En fonction de l'épaisseur des couches, des indices de réfraction des matériaux, et de la longueur d'onde, des effets d'interférences apparaissent qui sont alors soit constructives soit destructives. L'épaisseur des couches a donc été optimisée pour permettre une réflexion presque totale sur la bande visible de 510 à 950 nm.

Cependant, il a été découvert que les infimes variations d'épaisseur dans les couches de ce miroir conduisent à une erreur de front d'onde (WFE) en réflexion, qui est très complexe : dans le cas d'un miroir métallique, la WFE est constante et est facilement caractérisable, mais dans le cas du miroir dichroïque, comportant un empilement de couches minces, la WFE varie chromatiquement. Cette WFE contribue ensuite à la fonction d'étalement du point ou PSF du télescope. La PSF correspond à l'image obtenue par le télescope lorsqu'un point source est observé, comme une étoile. Plus la PSF est étalée, moins le télescope est performant, à moins de la caractériser très précisément pour la « retirer » des images obtenues.

L'instrument VIS a pour objectif d'étudier la forme des galaxies, ce qui le rend donc extrêmement sensible à la PSF. Un vaste travail de calibration de la PSF a été mis en place au sein du projet Euclid, pour la mesurer et la modéliser, en fonction de la longueur d'onde, de la position dans le champ, du

temps, ainsi que d'autres paramètres physiques. Ce travail implique de caractériser l'ensemble des contributeurs à la PSF dans Euclid, dont le miroir dichroïque qui induit une chromaticité sur la PSF.

L'objectif de cette thèse est donc de caractériser la WFE en réflexion d'une réplique (« spare ») du miroir dichroïque. Pour cela, l'ESA a mis à disposition un banc métrologique très innovant, conçu par l'entreprise française Imagine Optic. Ce banc permettra de mesurer (entre – autres) la WFE du miroir dichroïque sur toute la bande visible, avec une extrême précision, et dans diverses configurations optiques (incidence, polarisation). Le travail de la thèse porte sur l'utilisation du banc mais aussi sur sa mise en route, car cet instrument inédit sans aucun autre modèle existant jusqu'alors.

Un autre aspect de la thèse est de modéliser le miroir spare ainsi que toutes ses couches, afin de prédire la WFE dans n'importe quelle condition d'illumination qui ne peut pas être atteinte avec le banc d'Imagine Optic. Le modèle obtenu du miroir « spare », basé sur la physique des couches minces, est un premier pas vers la caractérisation de la PSF induite par le « vrai » miroir qui est actuellement placé dans le télescope.