

## Distorsions gravitationnelles faibles avec Euclid : impact des erreurs de mesure de PSF et de forme sur l'estimation des paramètres cosmologiques

### DESCRIPTION ET PROBLEMATIQUE

Le projet spatial Euclid, qui observera le ciel en optique et en infrarouge, permettra de construire des cartes de très grandes échelles, et de mesurer les distorsions gravitationnelles jusqu'à des redshifts très élevés. Grâce à ces mesures de cisaillement gravitationnel, nous pourrions reconstruire des cartes de matières noires de 15000 degrés carrés, soit la moitié du ciel.

Le CEA a une très forte implication dans le projet EUCLID. La France a obtenu la responsabilité de *Organization Unit Level 3*, et le CEA a un rôle important dans les groupes de travail correspondants. Nous sommes donc fortement impliqués dans le développement d'algorithmes.

L'un des problèmes majeurs, pour atteindre les objectifs scientifiques et estimer les paramètres cosmologiques avec la précision requise, est la nécessité de modéliser la fonction d'étalement du point (Point Spread Function ou PSF en anglais) du satellite (PSF) avec une très grande précision. Ce champ de PSF peut être calculé à partir des étoiles contenues dans les images observées. Il doit prendre en compte la variation spatiale et spectrale de la réponse de l'instrument. Une difficulté supplémentaire vient du problème de sous échantillonnage des images. Il s'agit ensuite de pouvoir évaluer l'impact des erreurs sur les paramètres cosmologiques.

### DESCRIPTION

#### GROUPE/LABO/ENCADREMENT

La thèse se déroulera au sein du groupe de recherche pluridisciplinaire, CosmoStat, au service d'Astrophysique du CEA sous la direction de Jean-Luc Starck et de Martin Kilbinger. L'équipe est très impliquée dans le projet Euclid et le weak lensing, avec de nombreuses responsabilités (Jean-Luc Starck est leader de l'unité OULE3, en charge de définir les algorithmes utilisés pour dériver les produits finaux et également du Work Package OULE3-Weak Lensing. Martin Kilbinger est responsable OU-Shear France, l'unité en charge des mesures de formes et co-responsable du Weak Lensing Scientific Working Group, et Sandrine Pires est en charge de l'intégration des codes de weak lensing dans le Data Processing Center). Jean-Luc Starck a une grande visibilité internationale dans le domaine AstroStatistics, il est en particulier vice-président de l'IAA (International Astrostatistics Association) en charge de la section

Astronomy/Astrophysics. Il a été lauréat ERC Advanced Grant, et a écrit trois livres. L'équipe a une très forte expertise dans différents domaines (mesure de PSFs, mesure de formes, problèmes inverses, weak lensing, etc.), et l'étudiant sera à l'interface entre les scientifiques et les ingénieurs qui travaillent sur l'optique de l'instrument. L'étudiant thésard disposera donc d'un environnement idéal pour mener à bien ses travaux.

### TRAVAIL PROPOSE

Le but de cette thèse est de trouver une méthode robuste permettant de construire le champ de PSF tridimensionnel (deux dimensions spatiales et une dimension spectrale) en utilisant des outils d'interpolation sur la variété associée aux PSFs. Cette variété n'étant pas connue, il faudra l'apprendre via des outils modernes d'apprentissage basés sur la parcimonie de l'information.

Ce champ de PSF pourra ensuite être utilisé dans la mesure des formes des galaxies. L'impact des erreurs de mesures (PSF et mesure de forme) sur l'estimation des paramètres cosmologiques sera étudié.

#### **L'Apprentissage**

Nous n'avons de l'information sur les PSFs qu'à la position des étoiles. La construction du champ de PSFs nécessite donc une interpolation de cette information, spatialement et spectralement. En général cette interpolation est faite à partir d'une simple moyenne pondérée des étoiles suivant leur distance Euclidienne au point d'interpolation, soit directement dans l'espace des pixels (comme dans le package PSFext) soit dans l'espace PCA (*principal component analysis*). Aucune de ces deux solutions n'est adaptée, car aucun de ces deux espaces ne sont adéquats pour représenter les PSFs. L'invariance par rotation ou par dilation de la représentation est en pratique nécessaire, et d'une manière plus générale les PSFs vivent sur une variété particulière, mais qui n'est pas connue. De nouvelles approches doivent être développées, qui ne conduisent pas forcément à des décompositions linéaires, comme par exemple le *Multiscale Dictionary Learning* [1] ou encore le *dictionary Learning* avec invariance [2].

#### **La superresolution**

Les données sont sous échantillonnées et un problème de super résolution se rajoute au problème d'interpolation. Des travaux récents [3] ont montré comment une contrainte de parcimonie peut améliorer de manière significative la reconstruction

d'une PSF Euclid super résolue. Cette technique de super résolution devra donc s'intégrer dans le mécanisme d'interpolation.

#### ***La synergie instrument-algorithme***

Le CEA (équipe de Jerome Amiaux) a développé un banc de test optique permettant d'acquérir des PSFs Euclid réalistes. Des données existent déjà, et d'autres pourront être obtenues en fonction des besoins. Les résultats devront être également validés sur ces simulations en collaboration avec l'équipe instrumentation.

#### ***La Propagation des erreurs***

La propagation des erreurs systématiques et statistiques sur les paramètres cosmologiques est un problème loin d'être résolu. Des méthodes, développées dans le cadre de la collaboration Euclid, intègre des estimations d'erreur. Par exemple, les méthodes Bayésiennes explore la distribution a posteriori des paramètres de forme et des méthodes de maximum de vraisemblance donnent des estimations d'erreur correspondant au modèle. Les futurs relevés grand-champs comme Euclid seront dominés par les erreurs systématiques, et non statistiques, il est donc important de pouvoir quantifier et exploiter cette information lors de l'estimation des paramètres cosmologiques.

### FORMATION ET COMPETENCES REQUISES

Le sujet s'adresse aux ingénieurs diplômés ou titulaires d'un master 2 recherche en Astronomie, Traitement du Signal, Statistique ou Mathématiques Appliquées.

### COMPETENCES ACQUISES

A l'issue de sa thèse, l'étudiant maîtrisera des outils mathématiques sophistiqués, le savoir faire pour estimer les paramètres cosmologiques à partir de données weak lensing, et aura une très bonne connaissance du projet Euclid. Il pourra alors soit continuer dans le domaine académique, soit exploiter ses compétences dans le domaine industrie.

### COLLABORATIONS/PARTENARIATS

Le projet est développé dans le cadre collaboration internationale.

### CONTACTS

Page web du laboratoire: <http://www.cosmostat.org>

#### Directeur de thèse :

Dr. Jean-Luc Starck: [jstarck@cea.fr](mailto:jstarck@cea.fr)

<http://jstarck.cosmostat.org>

#### Co-encadrant :

Dr. Martin Kilbinger [martin.kilbinger@cea.fr](mailto:martin.kilbinger@cea.fr)

<http://www.cosmostat.org/people/kilbinger>