

## Stage/These 2026

---

**Title** Generative AI and Multi-tracer Cosmological Inference: Euclid and 21-cm HI Intensity Mapping

**Laboratory:** IRFU/DAP/CosmoStat, CEA Saclay

**Supervisors:** [Jean-Luc Starck](#) & [Stefano Camera](#)

**Contact:** [jstarck@cea.fr](mailto:jstarck@cea.fr) and [stefano.camera@unito.it](mailto:stefano.camera@unito.it)

**Keywords:** machine learning, generative AI, weak lensing, Euclid, intensity mapping, SKA, cosmological parameter likelihood free inference, high order statistics

**Subject:** Generative Artificial Intelligence and Multi-tracer Cosmological Inference: Euclid and 21-cm HI Intensity Mapping

### Abstract

Current and upcoming cosmological surveys, notably the Euclid space mission and neutral hydrogen (HI) 21-cm intensity mapping experiments offer a unique opportunity to improve our understanding of the formation of large-scale structures and the physical content of the Universe. These complementary probes trace the complex large-scale structure of the cosmos in different ways: weak gravitational lensing, as measured by Euclid, probes the gravitational effects of matter integrated along the line of sight, while HI intensity mapping traces the distribution of matter through the redshifted 21-cm emission of neutral hydrogen in 3D. Their joint analysis could reveal cosmological information that is difficult to access using either probe independently. However, exploiting this complementarity remains challenging because of the computational cost of physical simulations, the complexity of astrophysical and instrumental effects, and the difficulty of extracting the full information encoded in non-Gaussian cosmic fields.

This PhD project will develop novel artificial intelligence methods for forward modelling the joint cosmological signal and perform parameter inference from these multi-tracer observations. First, neural generative models will be developed to learn the mapping between cosmological parameters, the underlying matter distribution, and synthetic weak-lensing and HI intensity maps. These models will aim to accelerate the generation of realistic simulations while preserving the statistical properties of each probe and the correlations between them. Second, neural representations will be investigated to jointly analyse Euclid weak-lensing maps and HI intensity maps, with the goal of exploiting non-Gaussian information and complementary cross-tracer correlations. Finally, these developments will be integrated into simulation-based inference frameworks to constrain cosmological parameters while accounting for astrophysical and instrumental uncertainties.

The methodology will be validated using realistic simulations and applied to available MeerKAT HI intensity-mapping data in combination with Euclid weak-lensing observations, as thanks to the relevant data becoming available already in the coming years. This will provide a concrete observational testbed from the outset of the project. The methods will also be designed to support future applications to SKA-Mid and the next generation of radio surveys. The project aims to establish an AI-driven framework for cosmological inference that more fully exploits the joint information provided by multiple tracers, opening new perspectives for studying dark matter and the formation of cosmic structures.

## Related Publications:

1. A. Gkogkou, V. Bonjean, J.-L. Starck, M. Spinelli and P. Tsakalides, "[Foreground removal in HI 21 cm intensity mapping under frequency-dependent beam distortions](#)", *Astronomy and Astrophysics*, 706, id.A3, 2026.
2. A. Gkogkou et al, "[JESSNet: Joint deconvolution and Sparse Separation Network for HI 21 cm foreground cleaning](#)", in press, 2026.
3. P. Gorbachev et al, "Impact of HI intensity maps foreground cleaning methods on cosmological parameter recovery", submitted, 2026.
4. P. Gorbachev, J.-L. Starck, S. Camera and M. Spinelli, "[Beyond power spectrum to unveil systematics on Hi intensity maps](#)", *Astronomy and Astrophysics*, 710, id.A154, 2026.
5. H. Leterme, A. Tersenov, J. Fadili and J.-L. Starck, "[A plug-and-play approach with fast uncertainty quantification for weak lensing mass mapping](#)", *Astronomy and Astrophysics*, 710, id.A292, 2026.
6. S. Majumdar et al, "[Cosmology with Intensity Mapping via statistics beyond the power spectrum in the SKAO Era](#)", *Advancing Astrophysics with the SKA II (AASKAII)*, 2026.
7. A. Tersenov, S. Guerrini, J.-L. Starck and M. Kilbinger, "The joint wavelet  $\ell_1$ -norm matches neural compression for tomographic weak-lensing inference", submitted, 2026.
8. V. Tinnaneri Sreekanth, S. Codis, A. Barthelemy, and J.-L. Starck, "[Theoretical wavelet  \$\ell\_1\$ -norm from one-point PDF prediction](#)", *Astronomy and Astrophysics*, 691, id.A80, 2024.
9. V. Tinnaneri Sreekanth, J.-L. Starck and S. Codis, "[Generative modeling of convergence maps based in LDT theoretical prediction](#)", *Astronomy and Astrophysics*, 701, id.A170, 2025.

**Sujet:** Intelligence artificielle générative et inférence cosmologique multi-traceurs : Euclid et la cartographie d'intensité HI à 21 cm

## Résumé

Les relevés cosmologiques actuels et à venir, notamment la mission spatiale Euclid et les expériences de cartographie d'intensité de l'hydrogène neutre (HI) à 21 cm, offrent une occasion unique d'améliorer notre compréhension de la formation des grandes structures et du contenu physique de l'Univers. Ces sondes complémentaires permettent de tracer la structure à grande échelle du cosmos de différentes manières : le lentillage gravitationnel faible, mesuré par Euclid, sonde les effets gravitationnels de la matière intégrée le long de la ligne de visée, tandis que la cartographie d'intensité HI retrace en trois dimensions la distribution de matière à partir de l'émission à 21 cm de l'hydrogène neutre, décalée vers le rouge. Leur analyse conjointe pourrait révéler des informations cosmologiques difficiles à extraire de chacune de ces sondes prise individuellement. Toutefois, exploiter pleinement cette complémentarité reste un défi, en raison du coût de calcul des simulations physiques, de la complexité des effets astrophysiques et instrumentaux, ainsi que de la difficulté à extraire toute l'information contenue dans les champs cosmiques non gaussiens.

Cette thèse développera de nouvelles méthodes d'intelligence artificielle pour la modélisation directe (forward modelling) du signal cosmologique conjoint et l'inférence des paramètres à partir de ces observations multi-traceurs. Dans un premier temps, des modèles génératifs neuronaux seront développés pour apprendre la relation entre les paramètres cosmologiques, la distribution sous-jacente de matière et les cartes synthétiques de lentillage faible et d'intensité HI. Ces modèles viseront à accélérer la génération de simulations réalistes tout en préservant les propriétés statistiques de chaque sonde et les corrélations entre elles. Dans un deuxième temps, des représentations neuronales seront étudiées afin d'analyser conjointement les cartes de lentillage faible d'Euclid et les cartes d'intensité HI, dans le but d'exploiter l'information non gaussienne et les corrélations complémentaires entre traceurs. Enfin, ces développements seront intégrés dans des méthodes

d'inférence fondées sur les simulations (simulation-based inference), afin de contraindre les paramètres cosmologiques tout en tenant compte des incertitudes astrophysiques et instrumentales.

La méthodologie sera validée à l'aide de simulations réalistes, puis appliquée aux données de cartographie d'intensité HI déjà disponibles de MeerKAT, en combinaison avec les observations de lentillage faible d'Euclid, à mesure que les données pertinentes deviendront disponibles dans les prochaines années. Cela fournira un cadre d'application observationnelle concret dès le début du projet. Les méthodes seront également conçues pour permettre de futures applications à SKA-Mid et aux prochaines générations de relevés radio. L'objectif est d'établir un cadre d'inférence cosmologique fondé sur l'intelligence artificielle, capable d'exploiter plus complètement l'information conjointe apportée par plusieurs traceurs, ouvrant ainsi de nouvelles perspectives pour l'étude de la matière noire et de la formation des structures cosmiques.