

---

## Bayesian large-scale structure inference and cosmic web analysis

Surveys of the cosmic large-scale structure carry opportunities for building and testing cosmological theories about the origin and evolution of the Universe. This endeavor requires appropriate data assimilation tools, for establishing the contact between survey catalogs and models of structure formation.

In this thesis, we present an innovative statistical approach for the *ab initio* simultaneous analysis of the formation history and morphology of the cosmic web: the BORG algorithm infers the primordial density fluctuations and produces physical reconstructions of the dark matter distribution that underlies observed galaxies, by assimilating the survey data into a cosmological structure formation model. The method, based on Bayesian probability theory, provides accurate means of uncertainty quantification.

We demonstrate the application of BORG to the Sloan Digital Sky Survey data and describe the primordial and late-time large-scale structure in the observed volume. We show how the approach has led to the first quantitative inference of the cosmological initial conditions and of the formation history of the observed structures. We then use these results for several cosmographic projects aiming at analyzing and classifying the large-scale structure. In particular, we build an enhanced catalog of cosmic voids probed at the level of the dark matter distribution, deeper than with the galaxies. We present detailed probabilistic maps of the dynamic cosmic web, and offer a general solution to the problem of classifying structures in the presence of uncertainty.

The results described in this thesis constitute accurate chrono-cosmography of the inhomogeneous cosmic structure.

---

## Inférence bayésienne et analyse des grandes structures de l'Univers

Les observations de la structure à grande échelle de l'Univers sont précieuses pour établir et tester des théories cosmologiques sur son origine et son évolution. Cette démarche requiert des outils appropriés d'assimilation des données, afin d'établir le contact entre les catalogues de galaxies et les modèles de formation des structures.

Dans cette thèse, une nouvelle approche pour l'analyse *ab initio* et simultanée de la formation et de la morphologie de la toile cosmique est présentée : l'algorithme BORG infère les fluctuations de densité primordiales et produit des reconstructions physiques de la distribution de matière noire, en assimilant les relevés de galaxies dans un modèle cosmologique de formation des structures. La méthode, basée sur la théorie bayésienne des probabilités, fournit un moyen de quantifier précisément les incertitudes.

On présente l'application de BORG aux données du Sloan Digital Sky Survey et on décrit la structure de l'Univers dans le volume considéré. On démontre que cette approche a mené à la première inférence quantitative des conditions initiales et du scénario de formation des structures observées. On utilise ces résultats pour plusieurs projets cosmographiques visant à analyser et classifier la toile cosmique. En particulier, on construit un catalogue de vides, décrits au niveau de la matière noire et non des galaxies. On présente des cartes probabilistes détaillées de la dynamique de la toile cosmique et on propose une solution générale pour la classification des structures en présence d'incertitude.

Les résultats de cette thèse constituent une précise description chrono-cosmographique des inhomogénéités de la structure cosmique.

---