

De nouvelles cartes des flots de matière noire dans notre voisinage cosmique

Une nouvelle cartographie de la dynamique de la matière noire dans l'Univers vient d'être réalisée par une collaboration de cosmologistes du Royaume-Uni, de France et d'Allemagne. La matière noire est une substance de nature encore inconnue qui représente plus de 80% de la masse de l'Univers. Comme elle n'émet pas de lumière et n'y réagit pas, sa distribution et son évolution ne sont pas directement observables et doivent être inférées. En utilisant des techniques avancées de modélisation informatique, l'équipe de chercheurs a réussi à convertir la distribution de galaxies, observées par le *Sloan Digital Sky Survey* (SDSS, <http://www.sdss.org>), en des cartes détaillées des flux de matière et leurs vitesses. Les résultats de ce projet, mené à l'Institut de Cosmologie et Gravitation (ICG, Portsmouth), l'Institut d'Astrophysique de Paris (IAP, Paris) et l'Excellence Cluster Universe (Garching), ont été publiés dans le *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics* daté du 26 juin 2017 (Leclercq *et al.*, 2017).

LA STRUCTURE INVISIBLE DE LA TOILE COSMIQUE DANS L'ESPACE DES PHASES

Aux plus grandes échelles de notre Univers, la matière est organisée en un réseau complexe, où des murs et des filaments connectent les amas les plus denses, et sont entourés de grands vides. Les galaxies, qui sont la composante lumineuse de la distribution totale de matière, se forment dans les régions où la matière noire se concentre. Leur agencement spatial trace donc la structure sous-jacente, à la manière d'une photographie statique.

Au-delà de ce point de vue, les résultats de simulations numériques ont montré que la distribution de matière noire de notre Univers doit être en évolution et s'organiser en différents flots, chacun avec sa propre vitesse. Cependant, accéder à cette information (la *structure en espace des phases*), qui vit dans un espace à six dimensions, ne requiert pas uniquement les positions des galaxies, mais aussi les conditions initiales à l'origine de la toile cosmique. En 2015, trois chercheurs de l'IAP ont développé et utilisé un logiciel perfectionné (BORG: *Bayesian Origin Reconstruction from Galaxies*) pour reconstruire les conditions initiales de notre voisinage cosmique observé par l'échantillon de galaxies principal du SDSS (Jasche, Leclercq & Wandelt, 2015). Sur la base de ces résultats, et en utilisant un ensemble d'outils d'analyse de l'espace des phases, l'équipe de recherche élargie a pu décrire, pour la première fois, la dynamique de la matière noire dans le même volume. Les nouvelles cartes qui en résultent couvrent la partie Nord de l'hémisphère céleste jusqu'à une distance de 600 mégaparsecs, ce qui correspond à regarder environ deux milliards d'années dans le passé. Elles ont été rendues publiques, à disposition de la communauté scientifique (www.florent-leclercq.eu/data.php).

DE NOUVELLES CARTES DES CHAMPS DE VITESSE ET DES ÉLÉMENTS DYNAMIQUES DE LA TOILE COSMIQUE

Travailler dans l'espace des phases révèle une quantité d'informations nouvelles, qui était jusqu'à présent analysée uniquement dans les simulations, et qu'on pensait inaccessible dans les observations. En particulier, les chercheurs ont produit des cartes modernes de champs de vitesses, précises y compris dans les régions où la densité de galaxies est faible. La figure 1 montre, par exemple, comment les flots de matière s'approchent et s'éloignent de nous. Le Grand Mur de Sloan (*Sloan Great Wall*), l'une des plus grandes structures de l'Univers connu, est clairement visible au centre du diagramme, à l'intersection de flots de matière noire convergents par les deux côtés.

La structure en espace des phases peut également être utilisée pour redéfinir les quatre composants habituels de la toile cosmique (vides, murs, filaments, et amas) en se basant sur leurs caractéristiques dynamiques (voir figure 2). Puisque ces classifications utilisent l'évolution de la matière, et non simplement sa densité, les structures identifiées sont explicitement porteuses d'informations concernant leur historique de formation.

Accéder à la structure de la matière noire en espace des phases à partir des relevés de galaxies ouvre de nouvelles perspectives pour tester la validité de modèles théoriques à la lumière des observations. Utiliser ces techniques avec la nouvelle génération de profonds relevés de galaxies, comme ceux qui seront réalisés par le satellite *Euclid* (<http://www.euclid-ec.org>), le *Dark Energy Spectroscopic Instrument* (<http://desi.lbl.gov>) ou le *Large Synoptic Survey Telescope* (<https://www.lsst.org>), permettra des tests sans précédent du modèle standard de formation et d'évolution de la toile cosmique.

Ces recherches ont bénéficié du soutien du Conseil de Recherche Européen (ERC grant 614030, Darksurvey), de l'ANR (ANR-10-CEXC-004-01), du Labex Institut Lagrange de Paris (ANR-10-LABX-63, ANR-11-IDEX-0004-02), de la fondation Alexander von Humboldt et du cluster of excellence DFG "Origin and Structure of the Universe".

FIGURES

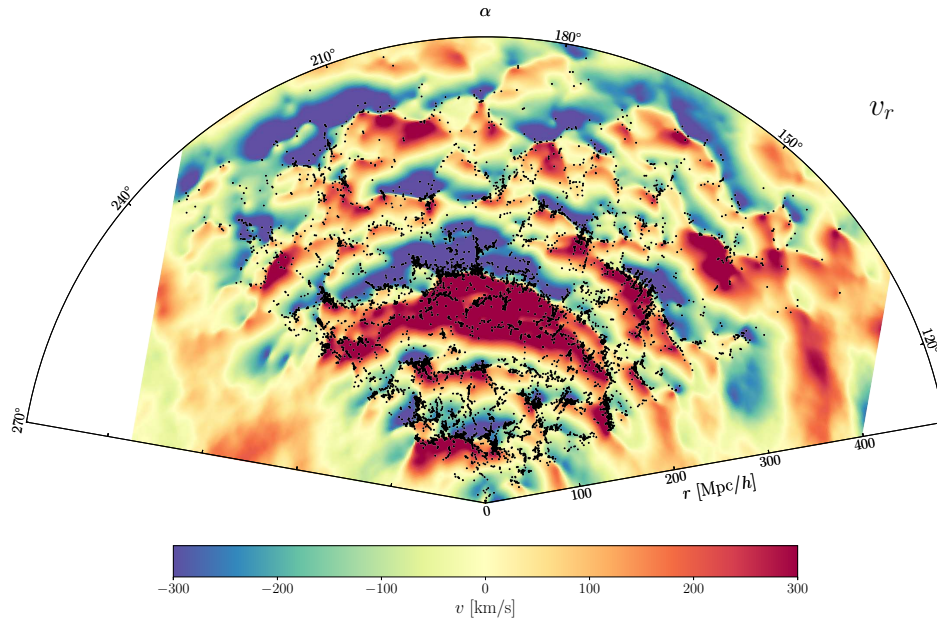


FIG. 1. Image illustrant l'équateur céleste, montrant la composante radiale du champ de vitesse (en kilomètres par seconde). Dans les régions bleues, la matière se dirige vers nous, et dans les régions rouges, elle s'éloigne de nous. Les galaxies de l'échantillon principal du *Sloan Digital Sky Survey* sont représentées par des points noirs. Au centre de l'image, on peut remarquer la dynamique d'effondrement gravitationnel du Grand Mur de Sloan, une des plus grandes structures de l'Univers connu.

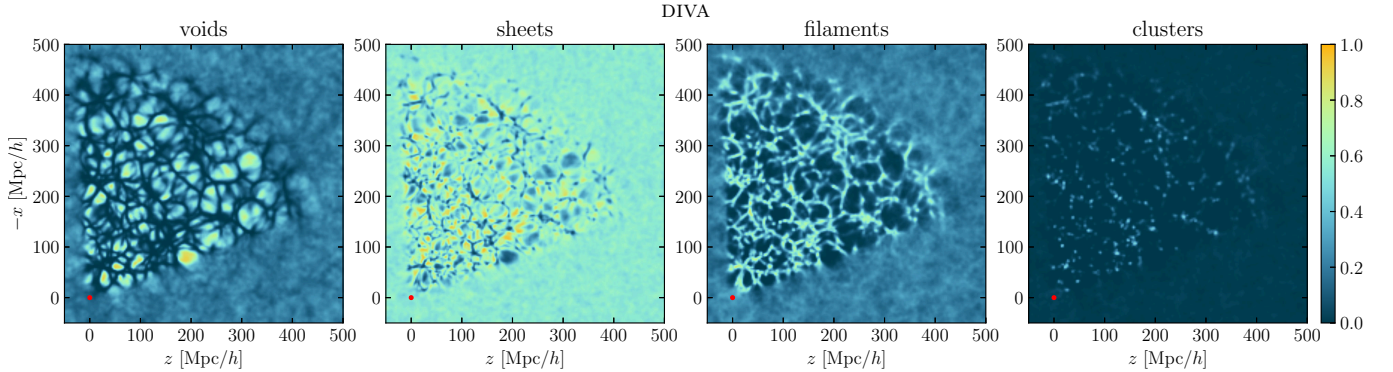


FIG. 2. Probabilités de détection pour différents types de structures (de gauche à droite : vide, mur, filament, et amas), dans la toile cosmique observée par le *Sloan Digital Sky Survey*. Les structures sont classifiées en utilisant DIVA, un algorithme qui utilise les caractéristiques dynamiques de la matière, au lieu de la configuration du champ de densité. Le point rouge sur la carte représente notre position.

CONTACTS

- Auteur principal, Université de Portsmouth : Florent Leclercq (ancien doctorant IAP/INSU/CNRS/UPMC) – florent.leclercq@polytechnique.org
- Chercheur Excellence Cluster Universe (Garching): Jens Jasche (ancien chercheur postdoctoral IAP/INSU/CNRS/UPMC) – j.jasche@tum.de
- Chercheur IAP/INSU/CNRS/UPMC: Guilhem Lavaux – guilhem.lavaux@iap.fr
- Professeur UPMC/IAP/INSU/CNRS: Benjamin Wandelt – benjamin.wandelt@iap.fr
- Professeur Université de Portsmouth: Will Percival – will.percival@port.ac.uk

RÉFÉRENCES

- (Jasche, Leclercq & Wandelt, 2015) J. Jasche, F. Leclercq, B. D. Wandelt, *Past and present cosmic structure in the SDSS DR7 main sample*, *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics* **1**, 036 (2015), arXiv:1409.6308 [astro-ph.CO].
- (Leclercq *et al.*, 2017) F. Leclercq, J. Jasche, G. Lavaux, B. Wandelt, W. Percival, *The phase-space structure of nearby dark matter as constrained by the SDSS*, *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics* **6**, 049 (2017), arXiv:1601.00093 [astro-ph.CO].