

BOSS voit l'Univers en trois dimensions

Une équipe d'une centaine de physiciens et d'astronomes a annoncé en juillet 2016 les derniers résultats du plus grand relevé spectrométrique actuel de galaxies, le sondage BOSS (*Baryon Oscillation Spectroscopic Survey*).

Ce relevé fait partie du programme *Sloan Digital Sky Survey III* (SDSS-III), auquel participent le CNRS et le CEA en France. Il a permis de dresser une carte tridimensionnelle de 1,2 million de galaxies sur plus d'un quart du ciel. Les chercheurs ont alors utilisé cette carte pour effectuer des mesures très précises de l'énergie sombre censée régir l'accélération de l'expansion de l'Univers.

Pour cela, BOSS compare l'échelle des ondes de densité ou pression primordiales que l'on observe dans le fond diffus cosmologique émis 380 000 ans après le Big Bang à celles qui influent, 7 à 12 milliards d'années plus tard, sur la répartition spatiale des galaxies (les oscillations acoustiques baryoniques, ou BAO, nées de l'opposition entre la gravité, qui fait s'effondrer la matière sur elle-même, et la pression radiative des photons).

Le relevé DES étudie aussi les BAO, mais il s'agit d'un relevé photométrique, tandis que BOSS est un relevé spectrométrique.

La précision inégalée de BOSS sur les mesures de distance est obtenue grâce à un spectrographe composé de 1000 fibres optiques installées sur le télescope SDSS de 2,5 mètres à l'observatoire d'Apache Point, au Nouveau-Mexique, aux États-Unis. Il a fallu près de 2000 nuits d'observation pour mesurer l'ensemble

des spectres des galaxies : la lumière de chaque galaxie passe, via une fibre, à travers un spectrographe, lequel décompose la lumière en différentes longueurs d'onde, à l'instar d'un prisme, qui sépare la lumière selon les couleurs de l'arc-en-ciel.

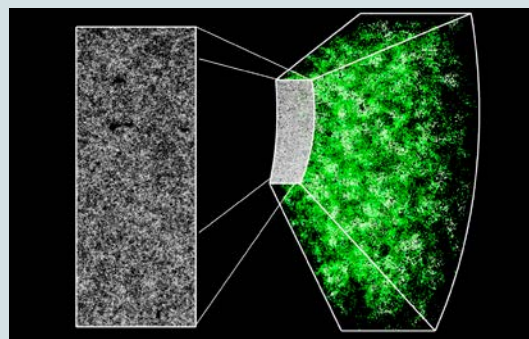
La carte établie par BOSS permet de mesurer la vitesse d'expansion de l'Univers et de déterminer ainsi la quantité de matière et d'énergie noire. Cette carte met aussi en évidence la signature des mouvements cohérents des galaxies vers des régions plus denses de matière, telle qu'attendue dans le cadre de la théorie de la relativité générale. Ces mesures confortent la description d'un Univers spatialement plat contenant un fluide cosmique assimilable à une constante cosmologique, correspondant à l'énergie du vide.

Cependant, les incertitudes sur les mesures ne permettent pas d'écarter d'autres possibilités pour

l'énergie sombre. Et il est probable qu'il faille attendre la prochaine génération de sondages de galaxies pour que les résultats soient sensibles à des extensions du modèle standard de la cosmologie et pour distinguer une éventuelle déviation de la théorie qui décrit les lois de la gravitation aux très grandes échelles.

La France joue un rôle majeur dans les deux grands futurs programmes de cosmologie prévus pour 2020 : le *Large Synoptic Survey Telescope*, télescope au sol de 8 mètres qui sera installé au Chili, et la mission spatiale *Euclid*, qui sera mise en orbite. Cette dernière, conçue par l'Agence spatiale européenne, permettra d'étudier l'Univers sombre grâce à sa spectroscopie ultraprécise, et de tester les différents scénarios de l'énergie sombre en combinant la signature des ondes sonores primordiales avec les lentilles gravitationnelles. L'enjeu du projet *Euclid*, qui regroupe déjà plus d'un millier de chercheurs, est de taille : comprendre 95 % du contenu en énergie de l'Univers !

- **Stéphanie Escoffier**
CPPM, CNRS/université
Aix-Marseille



LE RELEVÉ BOSS a déterminé la position dans l'Univers de près de un million de galaxies (en vert). Cette carte permet d'étudier l'expansion cosmique.

Cet effet est sensible à toute la matière présente, donc principalement à la matière noire, et est un peu moins sensible à la matière ordinaire, composée de baryons. Cette approche est donc très complémentaire de celle fondée sur les oscillations acoustiques de baryons.

En mesurant les formes de nombreuses galaxies sur une petite portion du ciel, on détermine dans quelle mesure les images ont été déformées et on établit ainsi une carte de la matière interposée. En répétant cela dans différentes parties du ciel, on met en évidence la répartition générale hétérogène de la matière dans l'Univers (voir l'encadré ci-contre). L'évolution de cette granulosité au fil du temps, parce qu'elle reflète la compétition entre la gravité et l'énergie sombre, peut aider à déterminer l'origine de l'accélération de l'Univers.

Le relevé DES mesurera la forme de 200 millions de galaxies pour observer cet effet, couvrant ainsi 20 fois plus de galaxies et une plus grande portion du ciel que les précédentes études de lentilles gravitationnelles faibles. La carte obtenue pour diverses régions et à différentes distances de la Terre (donc à différentes époques cosmiques, car plus un objet est lointain, plus la lumière de cet objet met de temps à nous parvenir) dépendrait des facteurs en jeu dans l'expansion de l'Univers. Les simulations montrent que la quintessence entrave plus la formation de grandes structures que l'énergie du vide, par exemple. Connaissant le degré d'hétérogénéité actuel, il s'ensuit que l'Univers jeune devait contenir plus d'hétérogénéité dans l'hypothèse de la quintessence que dans celle de l'énergie du vide.

Enfin, le relevé DES traquera les amas de galaxies pour reconstituer d'une autre façon l'évolution de l'hétérogénéité cosmique au fil du temps. Les amas, dont les masses peuvent atteindre plus de 10^{15} fois celle du Soleil, sont les plus gros objets de l'Univers liés par la gravitation. Par rapport aux précédents relevés cosmologiques des amas, qui ont couvert des régions du ciel plus petites, le relevé DES devrait découvrir des dizaines de milliers d'amas situés jusqu'à plusieurs milliards d'années-lumière de nous.

Les cosmologistes compareront alors le nombre d'amas présents près de la Terre (correspondant à l'époque récente) et loin dans le passé. Comme pour les effets de l'hétérogénéité de la matière mis en évidence par les lentilles gravitationnelles faibles, nous nous attendons à voir