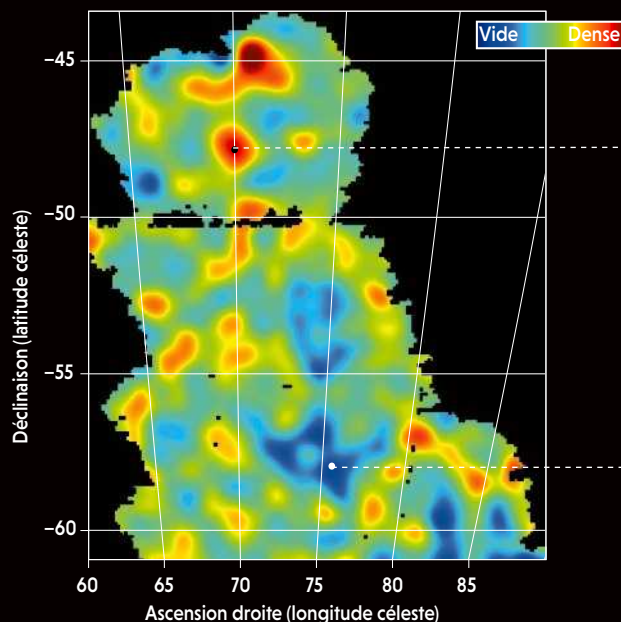


CARTOGRAPHIE DE LA MATIÈRE COSMIQUE

La carte ci-contre montre la répartition à grande échelle de la matière sur environ 139 degrés carrés du ciel, une zone correspondant à 650 fois la taille angulaire de la pleine lune. Les régions en rouge sont des zones où la densité de matière est supérieure à la moyenne, tandis que le bleu représente des zones moins denses. Cette carte résulte des données du relevé DES sur les lentilles gravitationnelles faibles (la légère déformation de l'image d'une galaxie provoquée par la déviation des rayons lumineux lors de leur passage à proximité d'objets massifs tels que des amas de galaxies, contenant de la matière ordinaire et de la matière noire). Les photographies en médaillon, prises par l'instrument *Dark Energy Camera*, montrent une région de surdensité (avec un grand nombre de galaxies brillantes) et une zone où apparaissent relativement peu de galaxies, conformément à la densité comparativement faible de la région.



BIBLIOGRAPHIE

T. ABBOTT ET AL., Cosmological constraints from multiple probes in the Dark Energy Survey, *Phys. Rev. Lett.*, vol. 122(17), art. 171301, 2019.

S. ALAM ET AL., The clustering of galaxies in the completed SDSS-III baryon oscillation spectroscopic survey: Cosmological analysis of the DR12 galaxy sample, <https://arxiv.org/abs/1607.03155>, 2016.

K. BECHTOL ET AL., Eight new Milky Way companions discovered in first-year Dark Energy Survey data, *Astrophysical Journal*, vol. 807, art. 50, 2015.

C. CHANG ET AL., Wide-field weak lensing mass maps from Dark Energy Survey science verification data, *Phys. Rev. Lett.*, vol. 115, art. 051301, 2015.

➤ Enfin, DES traquera les amas de galaxies pour constituer d'une autre façon l'évolution de l'hétérogénéité cosmique. 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. Des dizaines de milliers d'amas situés jusqu'à plusieurs milliards d'années-lumière de nous seront pris en compte.

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 davantage d'amas dans l'Univers jeune si c'est la quintessence, plutôt que l'énergie du vide, qui est à l'œuvre. Et nous devrions observer une tendance fort différente et plus compliquée dans l'hypothèse d'une gravité modifiée.

UN AVANT-GOÛT PROMETTEUR

Le relevé s'est achevé en janvier 2019, l'analyse des données est en cours. Des résultats préliminaires ont été publiés en mai 2019, incluant l'analyse de 207 supernovæ de type Ia confirmées spectroscopiquement. D'abord, l'étude confirme l'existence d'une énergie sombre. Elle donne également une mesure de la constante de Hubble H_0 (67,8 kilomètres par seconde par mégaparsec) compatible avec les mesures du

fonds diffus cosmologique, en plein débat sur un apparent désaccord de la valeur de cette constante déduite des mesures des céphéides (voir *Un problème de vitesse*, par N. Wolchover, page 78). Or la constante de Hubble n'est autre que le taux d'expansion actuel de notre Univers, son inverse nous renseignant sur son âge. Autre enseignement de l'étude, l'Univers serait géométriquement euclidien, c'est-à-dire « plat ».

L'ensemble concourt à valider le principe du DES et plaide pour un renforcement des investigations de ce type. C'est exactement ce qu'entendent faire les projets DESI, déjà en cours, ainsi que LSST et *Euclid* prévus en 2022.

DES a également obtenu des résultats intéressants d'une tout autre nature, telle la découverte à confirmer de 16 galaxies naines ultrapâles dans le voisinage de la Voie lactée. Ces galaxies très proches ne contiennent, pour certaines, pas plus de quelques dizaines d'étoiles et sont parmi les objets les plus riches en matière noire que l'on connaisse. Peu lumineuses, leur détection est difficile, mais elles sont cruciales pour comprendre la formation des galaxies telles que la Voie lactée.

Que ce soit DES, DESI, LSST ou *Euclid*, la course à l'énergie sombre n'a jamais été aussi effrénée. Qui l'emportera? L'énergie du vide? La quintessence? La gravité modifiée? Ou bien une tout autre forme d'énergie sombre surgie du diable vauvert? ■

L'ESSENTIEL

- Depuis 1998, on sait que l'expansion de l'Univers s'accélère.
- Pour en rendre compte, les physiciens ont imaginé une «énergie sombre» dotée d'une force répulsive à grande échelle.
- Pourtant, la constante cosmologique, un terme introduit dans les équations

de la relativité générale par Albert Einstein, explique naturellement le phénomène.

- Cette constante avait été abandonnée par la communauté scientifique, à l'exception notable de Georges Lemaître, qui l'a défendue toute sa vie durant. Ne serait-il pas temps de la réhabiliter ?

L'AUTEUR



JEAN-PIERRE LUMINET
directeur de recherche au CNRS, membre du Laboratoire d'astrophysique de Marseille (LAM), du Centre de physique théorique de Marseille (CPT) et du laboratoire Univers et théories (Luth) de l'observatoire de Paris.

Indispensable constante cosmologique

Pour expliquer l'énergie sombre et l'accélération de l'expansion de l'Univers, les physiciens rivalisent de nouvelles théories. Mais ce n'est pas nécessaire : la constante cosmologique, introduite puis reniée par Albert Einstein, suffit amplement à résoudre le mystère.

D

epuis 1927 et l'article fondateur de la cosmologie relativiste moderne de l'astronome et chanoine belge Georges Lemaître, théorie et observations se sont accordées pour prouver que l'Univers se dilate, la plupart des astronomes considérant que cette expansion, sous l'influence de la gravité, devait évoluer en ralentissant. C'est donc confiantes que, sur la

base des données recueillies par les grands télescopes, deux équipes indépendantes conduites par Saul Perlmutter, Brian Schmidt et Adam Riess se sont lancées dans la cartographie de l'Univers, pensant mesurer avec une précision encore jamais atteinte les signes de ce ralentissement.

À leur grande surprise, ils ont constaté que, certes, l'expansion de l'Univers a bien été freinée dans les premiers milliards d'années par la gravité, mais qu'elle s'est accélérée au bout de 7 milliards d'années. L'explication la plus naturelle d'une telle accélération est d'invoquer l'existence d'une force répulsive à grande échelle, capable de contrer la force d'attraction des masses célestes : c'est l'«énergie sombre».