



© NRAO

Selon l'ordre de grandeur des distances mesurées, chaque type de chandelle cosmique est plus ou moins bien adapté. On ne peut bien observer les céphéides que si les galaxies qui les abritent sont proches de la Voie lactée. Elles ne conviennent donc pas pour la mesure de grandes distances. La relation de Tully-Fisher est applicable à de nombreuses galaxies spirales, mais elle fournit des estimations de distance dont l'incertitude peut dépasser 20 %. Quant aux supernovæ de type Ia, elles donnent des mesures deux fois plus précises et sont visibles sur des distances cosmiques très grandes, mais elles sont rares : une par siècle environ dans une galaxie moyenne.

À partir d'un échantillon assez grand de galaxies dont on connaît les vitesses propres, les astronomes sont en mesure d'établir une carte des écoulements galactiques aux plus grandes échelles. À ces échelles immenses, le mouvement des galaxies est comparable à l'écoulement d'un réseau de rivières qui serpentent à travers une sorte de « bassin horographique cosmique » où les lignes de partage des eaux ne seraient plus définies par le relief du paysage, mais par les attractions gravitationnelles des

LE TÉLESCOPE DE GREEN BANK, en Virginie-Occidentale, aux États-Unis, est le plus grand radiotélescope orientable du monde. Sa surface collectrice mesure 100 mètres par 110 mètres. L'équipe d'Hélène Courtois et Brent Tully a utilisé certaines observations de ce télescope pour établir le catalogue *Cosmicflows*. Les données spectroscopiques collectées ont été utilisées pour mesurer la vitesse de rotation de galaxies spirales. Cette vitesse, reliée à la luminosité intrinsèque des galaxies par la loi de Tully-Fisher, permet de calculer la distance de la galaxie considérée.

grandes structures voisines. Dans ces cartes cosmographiques, les galaxies s'écoulent le long de courants, tourbillonnent dans des zones de remous ou s'amassent dans des bassins, révélant indirectement la structure, la dynamique, les origines et l'avenir des plus grandes accumulations de matière de l'Univers (voir l'encadré pages 64-65).

La découverte de Laniakea

Pour répondre à nos questions sur la matière noire et l'énergie sombre, il fallait établir des cartes à des échelles aussi grandes que possible et compiler les meilleures données disponibles provenant d'un grand nombre de programmes d'observation. En 2008, Brent Tully, Hélène Courtois et leurs collègues ont publié le catalogue *Cosmicflows*, qui compilait divers ensembles de données pour détailler la dynamique de 1 800 galaxies à moins de 130 millions d'années-lumière de la Voie lactée. L'équipe a prolongé ses efforts en 2013 avec le catalogue *Cosmicflows-2*, qui compile les mouvements d'environ 8 000 galaxies dans un volume d'environ 650 millions d'années-lumière de diamètre.

L'un des membres de l'équipe, Yehuda Hoffman, de l'université hébraïque de Jérusalem, a développé des méthodes pour déduire précisément la distribution de matière noire à partir des vitesses propres contenues dans les données *Cosmicflows*.

Le catalogue s'étoffant, nous avons eu la surprise de découvrir un motif inattendu caché dans la masse des données : les contours d'une nouvelle structure cosmique qui n'avait jamais encore été observée. Les amas de galaxies d'une région large de plus de 400 millions d'années-lumière se déplaçaient tous ensemble au sein d'un « bassin d'attraction » local, comme l'eau qui s'accumule au point topographique le plus bas d'un paysage. S'il n'y avait pas l'expansion continue de l'Univers, ces galaxies finiraient par s'agréger en une structure compacte liée par la gravitation. Ce vaste essaim de galaxies constitue le superamas Laniakea.

Jusqu'à présent, l'étude du mouvement des galaxies au sein de Laniakea est en parfait accord avec les modèles les plus consensuels de distribution de la matière noire. De surcroît, la densité totale de matière visible et noire dans Laniakea suggère que, comme le pensaient les théoriciens de l'énergie sombre, l'Univers est destiné à subir une perpétuelle expansion accélérée.

Ces conclusions restent provisoires. La tâche immense de cartographie des écoulements galactiques ne fait que commencer. Actuellement, on ne dispose d'une estimation des vitesses propres que pour 20 % des galaxies situées à moins de 400 millions d'années-lumière, et de nombreuses mesures de distance faites grâce aux chandelles cosmiques sont encore entachées d'incertitudes élevées. De surcroît, les cartes actuelles ne couvrent qu'un millionième du volume de l'Univers observable. Néanmoins, ces premières esquisses de notre voisinage galactique donnent une perception nouvelle de notre position dans les bassins cosmographiques et les vastes étendues de l'Univers.

Un voisinage complexe

Faisons le tour des torrents tumultueux qui composent notre foyer céleste récemment découvert, Laniakea, en partant de l'élément qui nous est le plus familier : nous. Quelle que soit la vitesse à laquelle nous voyageons sur Terre en lisant cet article, nous tournons autour du Soleil avec le reste de la planète à environ 30 kilomètres

par seconde. Le Soleil, quant à lui, tourne autour du centre de la Voie lactée à quelque 200 kilomètres par seconde. Et l'ensemble des galaxies du Groupe local, dont la Voie lactée, se précipitent vers une mystérieuse concentration de masse dans la direction de la constellation du Centaure à une vitesse supérieure à 600 kilomètres par seconde (nous reviendrons sur ce point). Vous n'imaginiez probablement pas qu'il était possible de se déplacer aussi vite rien qu'en lisant un article, voire en ne faisant rien du tout !

Mais au lieu de nous laisser emporter par la Terre, prenons notre envol pour avoir une vue d'ensemble sur notre voisinage. Nous quittons d'abord la Voie lactée, et notre périple à travers les étendues de Laniakea commence par la rencontre avec deux galaxies naines, les Petit et Grand Nuages de Magellan, situés à des distances comprises entre 180 000 et 220 000 années-lumière « seulement ». On peut discerner les Nuages de Magellan depuis l'hémisphère Sud de la Terre, mais le meilleur point de vue est en Antarctique, pendant l'hiver. La seule autre galaxie visible à l'œil nu est la spirale géante d'Andromède, bien qu'elle n'apparaisse guère que comme une tache floue par une nuit très sombre.

Andromède se trouve à 2,5 millions d'années-lumière et vient à la rencontre de la Voie lactée à une vitesse propre de quelque 110 kilomètres par seconde. Dans quatre milliards d'années environ, les deux galaxies se rencontreront lors d'une collision frontale au cours de laquelle elles fusionneront en une galaxie elliptique unique, homogène et constituée de vieilles étoiles rouges. Il est peu probable que le Système solaire soit affecté par ce carambolage cosmique : la distance entre les étoiles est tellement grande qu'il n'y a pratiquement aucune chance que deux étoiles s'approchent suffisamment l'une de l'autre pour entrer en collision. La Voie lactée, Andromède et une cinquantaine d'autres galaxies sont membres du Groupe local, une région où la gravité a gagné la bataille contre l'expansion cosmique et qui est en cours d'effondrement. Comme la Voie lactée et ses Nuages de Magellan, chacune de ces grandes galaxies est accompagnée d'un cortège de galaxies naines.

Juste au-delà du Groupe local, à l'intérieur d'un volume d'environ 25 millions d'années-lumière, toutes les galaxies de cette région, dont la nôtre, font partie de ce que faute d'imagination on a nommé la « Feuille locale ». Comme l'indique le

Cosmicflows, un catalogue de galaxies en expansion

Le premier catalogue de galaxies *Cosmicflows* a été élaboré en 2008. Il répertorie la position des galaxies les plus proches de la Voie lactée et leur vitesse propre.

La deuxième version du catalogue, *Cosmicflows-2*, a été publiée en 2013. Elle contient 8 000 galaxies.

Une prochaine version fournira les caractéristiques de près de 13 000 galaxies. L'augmentation du nombre de galaxies permettra d'esquisser avec encore plus de précision les contours de Laniakea.