

s'étendant sur une distance dix fois plus grande de 500 millions d'années-lumière. L'équipe qui a découvert ce superamas gigantesque l'a nommé Laniakea (« horizon céleste immense » en langue hawaïenne) en l'honneur des premiers Polynésiens qui ont exploré les immensités de l'océan Pacifique en se guidant aux étoiles. La Voie lactée se trouve loin du centre de Laniakea, quelque part dans une de ses provinces reculées.

Laniakea n'est pas juste une ligne de plus dans notre adresse cosmique. En étudiant l'architecture et la dynamique de cette structure immense, nous pouvons en apprendre davantage sur le passé de l'Univers et sur son avenir. La répartition des galaxies et leur mouvement dans Laniakea nous renseignent non seulement sur la manière dont les structures de galaxies se forment et croissent, mais aussi sur la « matière noire », cette substance invisible dont les physiciens supposent qu'elle constitue près de 80 % de la matière du cosmos. Laniakea pourrait aussi nous aider à comprendre la nature de l'« énergie sombre », cette composante de l'Univers découverte en 1998 qui serait à l'origine d'une accélération de l'expansion cosmique, déterminante pour prédire le destin ultime de l'Univers.

Finalement, ce superamas pourrait ne pas être la dernière ligne de notre adresse cosmique : il pourrait faire lui-même partie d'une structure plus vaste encore à découvrir.

Sonder l'Univers grâce aux mouvements des galaxies

L'équipe qui a découvert Laniakea ne le cherchait pas. Ses travaux visaient initialement à répondre à des questions persistantes sur la nature fondamentale de l'Univers.

Les scientifiques ont constaté depuis près d'un siècle que le cosmos est en expansion : l'espace enfle et les galaxies s'éloignent les unes des autres comme des points à la surface d'un ballon que l'on gonfle. Cependant, au cours des dernières décennies, il est apparu que la plupart des galaxies ne font pas que s'éloigner les unes des autres, soumises à la seule action de l'expansion cosmique. Une autre force, locale celle-là, est à l'œuvre : l'attraction gravitationnelle exercée par les amas de matière voisins et susceptible de retenir

■ LES AUTEURS



Noam I. LIBESKIND est cosmologiste à l'institut Leibniz d'astrophysique de Potsdam, en Allemagne. Il modélise l'évolution de l'Univers et la formation des galaxies, en particulier la Voie lactée et les galaxies naines qui l'entourent.



R. Brent TULLY est astronome à l'université de Hawaï. Il est spécialiste de la cartographie et de la distribution des galaxies.

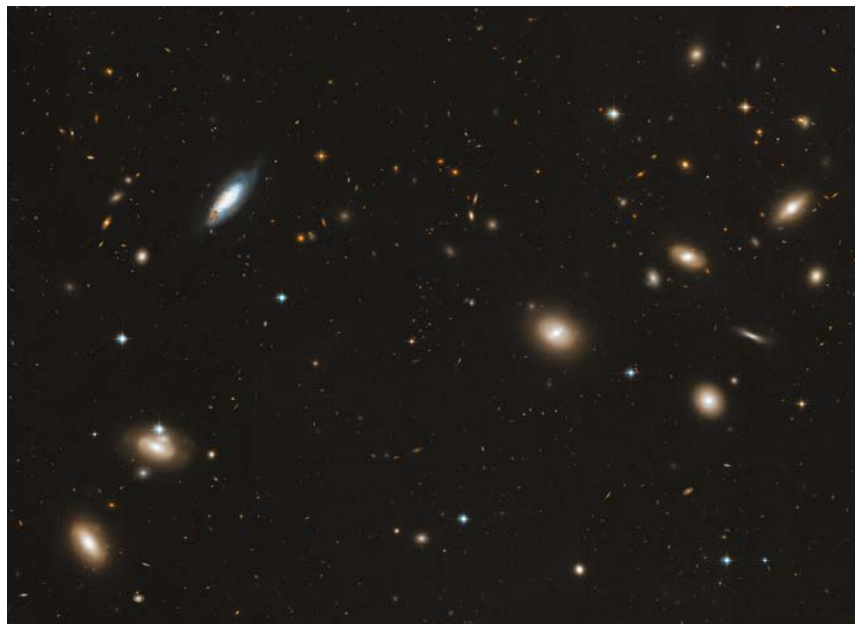
une galaxie à contrecourant du flot de l'expansion. On qualifie de « vitesse particulière » la différence entre le mouvement d'une galaxie lié à l'expansion cosmique et son mouvement lié à son environnement gravitationnel.

En comptabilisant toutes les étoiles de toutes les galaxies visibles et en y ajoutant tout le gaz et les autres formes de matière ordinaire qu'elles doivent contenir, on obtient une masse totale très insuffisante (il s'en faut d'un ordre de grandeur) pour expliquer les vitesses particulières observées. La masse manquante est qualifiée de « matière noire » par les physiciens, un terme qui ne fait essentiellement que mettre un nom sur l'inconnu. On suppose que cette matière noire est constituée de particules qui sont pratiquement insensibles aux forces telles que l'électromagnétisme et qui n'interagissent avec le reste de l'Univers que *via* la gravitation. La matière noire exerce la force gravitationnelle « manquante » nécessaire pour rendre compte des vitesses observées. Les scientifiques pensent que les galaxies s'agglutinent au sein de régions riches en matière noire, qui constitue l'échafaudage invisible du cosmos.

Notre équipe d'astronomes a vite compris qu'en cartographiant l'écoulement des galaxies à partir de leurs vitesses particulières, on pourrait en déduire la distribution cachée de la matière noire dans le cosmos, les plus grandes concentrations de cette mystérieuse substance étant trahies par leur influence gravitationnelle sur le mouvement des galaxies. Si, par exemple, des galaxies convergent vers un point donné, c'est qu'elles y sont attirées gravitationnellement car il s'agit d'une région à forte densité de matière.

Nous nous sommes aussi rendu compte que la détermination précise de la densité et de la distribution de toutes les formes de matière dans l'Univers nous aiderait à résoudre un autre mystère encore plus profond : le fait que le cosmos est non seulement en expansion, mais en expansion accélérée. Ce comportement va à l'encontre de l'intuition : c'est comme si une pierre lancée en l'air partait en flèche vers l'espace plutôt que de retomber sur Terre. On parle d'« énergie sombre » pour désigner ce qui se cache derrière ce phénomène étrange, qui a des implications profondes pour l'avenir de l'Univers. L'expansion accélérée du cosmos suggère que la plupart des galaxies s'éloigneront les unes

LES AMAS DE GALAXIES tels que celui de la Chevelure de Bérénice (*ci-contre*) sont les éléments de base des plus grandes structures de l'Univers. Distant de plus de 300 millions d'années-lumière et contenant un millier de grandes galaxies, l'amas de la Chevelure de Bérénice fait partie d'une structure encore plus grande, le superamas de la Chevelure de Bérénice, qui se trouve hors des frontières de Laniakea.



NASA, ESA and Hubble Heritage Team STScI/AURA

des autres à des vitesses sans cesse plus élevées. Mais pour savoir précisément comment tout cela se terminera, il faut déterminer non seulement en quoi consiste l'énergie sombre, mais aussi combien de matière il y a dans l'Univers : si la densité de matière est suffisante, dans un futur lointain, l'expansion pourrait ralentir et laisser place à un effondrement de l'Univers sur lui-même sous l'effet de la gravitation de sa propre masse.

Ainsi, le mouvement des galaxies dans l'Univers n'est pas sans rappeler celui de liquides qui coulent des hauteurs vers le fond des vallées, qui seraient ici les zones de forte densité. C'est au cours de cette cartographie des écoulements galactiques visant à mesurer la densité de la matière ordinaire et de la matière noire que Laniakea a finalement été mis en évidence.

Hydrographie cosmique

La cartographie de ces écoulements galactiques nécessite de connaître pour chaque galaxie à la fois le mouvement dû à l'expansion cosmique et le mouvement lié à la matière avoisinante.

Dans un premier temps, les astronomes mesurent le décalage vers le rouge d'une galaxie (l'étirement de la longueur d'onde du rayonnement qu'elle émet tandis qu'elle s'éloigne de nous du fait de l'expansion). Le son d'une sirène qui s'éloigne de nous est plus grave que lorsqu'elle s'approche, parce que les ondes sonores sont étirées

par le mouvement et donc décalées vers des longueurs d'onde plus grandes et des fréquences plus basses. Par un phénomène similaire, les ondes lumineuses d'une galaxie qui s'éloigne de nous sont étirées vers des fréquences plus basses et des longueurs d'onde plus grandes, d'où l'expression « décalage vers le rouge » (c'est bien ce qui arrive à la lumière visible, mais l'expression est utilisée de façon générale pour un décalage vers de plus grandes longueurs d'onde). Et plus la galaxie s'éloigne vite, plus ce décalage vers le rouge est important. Ainsi, le décalage vers le rouge d'une galaxie fournit aux astronomes une mesure de sa vitesse globale, ainsi qu'une première estimation de sa distance (parce que, en principe, la vitesse d'éloignement d'une galaxie sous l'effet de l'expansion est proportionnelle à la distance qui nous en sépare).

Pour déterminer quelle part de la vitesse d'une galaxie résulte de l'attraction gravitationnelle locale, il faut mesurer sa distance par une autre méthode, indépendante du décalage vers le rouge. Par exemple, d'après des estimations rigoureuses du taux d'expansion de l'Univers, une galaxie située à 3,25 millions d'années-lumière devrait s'éloigner de nous à environ 70 kilomètres par seconde. Si, au lieu de cela, le décalage vers le rouge de la galaxie indique une vitesse de 60 kilomètres par seconde, on en déduit que les concentrations de matière autour d'elle lui confèrent une vitesse propre de 10 kilomètres par seconde par rapport à la trame de l'Univers.

Les techniques utilisées pour fournir des mesures de distance indépendantes de la vitesse reposent essentiellement sur le fait que l'intensité de la lumière décroît comme l'inverse du carré de la distance à sa source. En d'autres termes, si vous voyez deux phares dont vous savez qu'ils sont identiques, mais que l'un d'entre eux apparaît quatre fois moins brillant, vous pouvez en conclure que ce dernier se trouve deux fois plus loin. En astronomie, ces phares identiques sont qualifiés de « chandelles cosmiques ». Ce sont des objets astrophysiques dont on connaît bien les propriétés lumineuses. Parmi ces chandelles figurent certains types d'étoiles périodiques nommées céphéides, un type particulier d'explosion d'étoiles en supernova, ou même des galaxies massives comme l'ont proposé, en 1977, Brent Tully et l'Américain Richard Fisher.

Ces deux astronomes ont en effet déterminé une relation (dite de Tully-Fisher) reposant sur le fait que les galaxies massives sont à la fois plus lumineuses et tournent plus vite sur elles-mêmes que les petites galaxies : elles contiennent plus d'étoiles et doivent donc tourner plus vite pour ne pas s'effondrer sous l'effet de leur auto-gravité, plus intense. Mesurez la vitesse de rotation de la galaxie et vous aurez une estimation du nombre d'étoiles qu'elle contient et donc de sa luminosité intrinsèque. Comparez cette luminosité avec sa luminosité apparente dans le ciel, et vous aurez sa distance.