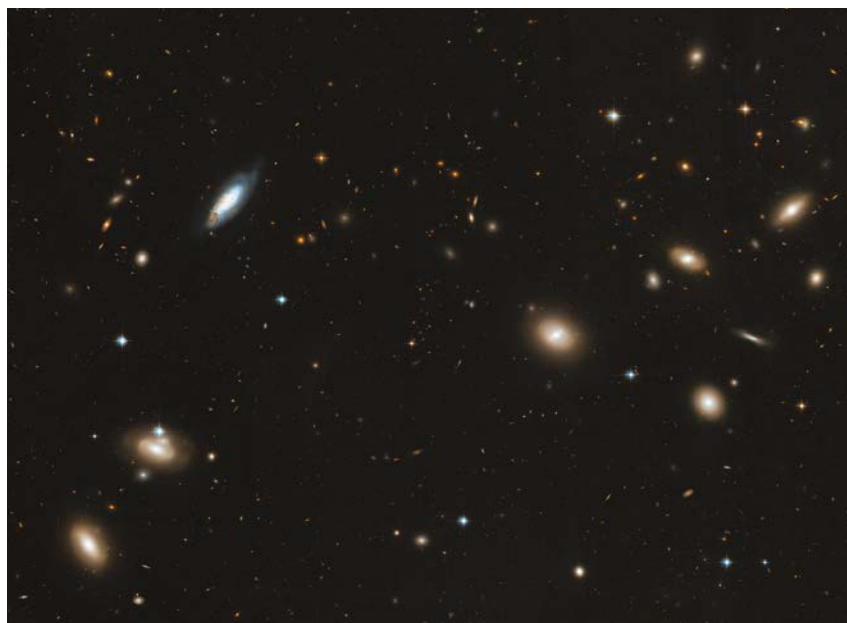


LES AMAS DE GALAXIES tels que celui de la Chevelure de Bérénice (*ci-contre*) sont les éléments de base des plus grandes structures de l'Univers. Distant de plus de 300 millions d'années-lumière et contenant un millier de grandes galaxies, l'amas de la Chevelure de Bérénice fait partie d'une structure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

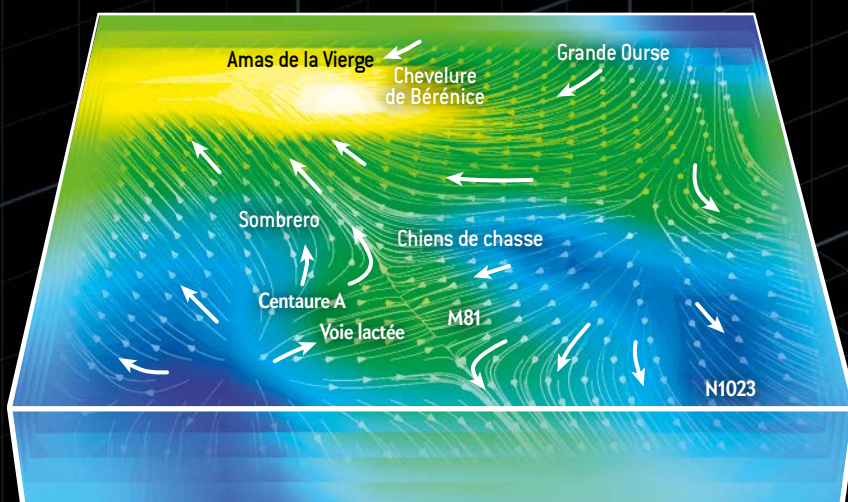
Les galaxies, composées de centaines de milliards d'étoiles, ne sont pas les plus grandes structures de l'Univers. Liées par la gravité, les galaxies se regroupent parfois par centaines en amas de galaxies. La gravité peut ensuite concentrer ces amas pour former des superamas contenant des centaines de milliers de galaxies. Dans cette hiérarchie, l'adresse cosmique du Système solaire est traditionnellement la suivante : galaxie de la Voie lactée, Groupe local, amas de la Vierge, et enfin Superamas local. Des recherches récentes montrent que le Superamas local ne représente en fait qu'une portion d'un autre superamas plus de 100 fois plus gros. Ce vaste superamas est nommé Laniakea (« horizon céleste immense » en langue hawaïenne).

1 CARTOGRAPHIER LE SUPERAMAS LANIAKEA

Les frontières des superamas délimitent des régions où la force convergente de la gravité commence à entraver de façon significative le mouvement divergent des galaxies dû à l'expansion cosmique. Ici, les positions de plus de 8 000 galaxies sont cartographiées et colorées en fonction de leur mouvement relatif (leur vitesse et leur trajectoire). Les contours en couleurs chaudes (jaune et rose) représentent les amas de galaxies qui convergent rapidement. Les contours de Laniakea apparaissent en bleu, délimitant la région où les amas convergent le plus lentement. Laniakea s'étend sur près d'un demi-milliard d'années-lumière, et ses frontières englobent un ensemble d'amas galactiques qui, en l'absence d'expansion cosmique, convergeraient pour devenir une structure unique liée par sa propre gravité. Au-delà des frontières de Laniakea, on devine des superamas voisins, par exemple ceux de Shapley, d'Hercule ou de Persée-Poissons.

2 SUIVRE LE MOUVEMENT

Un zoom à l'intérieur de Laniakea révèle la distribution de matière noire et le processus d'évolution galactique. Prenons par exemple une tranche tridimensionnelle de Laniakea contenant la Voie lactée et le Groupe local qui l'abrite (détail ci-dessous). Les flèches correspondent au mouvement des galaxies, qui s'écoulent vers des zones où la matière est dense et la gravité forte (représentées par des couleurs chaudes) et s'éloignent des régions de basse densité (couleurs froides). Les mesures de flux réalisées par Noam Libeskind ont montré que le Groupe local tombe le long d'un filament de matière noire long de 50 millions d'années-lumière vers l'amas de la Vierge (en jaune), un assemblage de plus d'un millier de galaxies entassées dans un volume de 13 millions d'années-lumière. On pense que de tels filaments jouent un rôle important dans la formation des galaxies.



LANIAKEA