

cause du décalage de douze heures entre Honolulu et Budapest, nos conversations se poursuivaient souvent tard dans la nuit européenne. Au cours d'une de ces sessions, je lui ai demandé de trouver les plus grandes régions de basse densité, ou vides, dans le catalogue WISE de galaxies. Quelques jours plus tard, il m'a envoyé un courriel avec les images et les coordonnées des plus grands vides du catalogue. En lisant son message, j'ai remarqué que l'un des vides qu'il avait repérés coïncidait avec la région du ciel où se trouve le point froid. Or je n'avais pas encore parlé à András Kovács de mon intérêt pour un lien éventuel entre un supervide et le point froid. Sa découverte ne pouvait donc pas

être biaisée par l'espoir d'établir ce lien. Parce que WISE observe un grand nombre de galaxies plus proches que NVSS, nous avions là un second indice que peut-être nous devrions chercher le supervide à proximité.

Il nous restait donc à confirmer que nous tenions là un supervide. Plusieurs années ont été nécessaires pour rassembler les données des différents programmes d'observation et établir de façon certaine la découverte. Nous avons utilisé un ensemble de données provenant de WISE, de Pan-STARRS et de 2MASS (*Two Micron All Sky Survey*, relevé de tout le ciel à deux micromètres).

Mais nous avons besoin d'attribuer des distances aux galaxies observées.

Une manière de les mesurer est d'observer le « décalage vers le rouge » d'un objet (lorsqu'une source lumineuse s'éloigne de l'observateur, sa lumière est détectée avec un décalage vers de plus grandes longueurs d'onde, vers le rouge dans le cas du spectre visible). Plus une galaxie est éloignée, plus elle s'éloigne vite de nous, et plus son décalage vers le rouge est important. Même si nous ne disposons pas de mesures précises de décalage vers le rouge pour les galaxies, nous pouvions suffisamment bien l'estimer pour attribuer une distance à chacune d'elles dans la direction du point froid. Nous avons créé une série de tranches tomographiques: des images planes de l'Univers correspondant à différentes

LA RECHERCHE D'UN SUPERVIDE

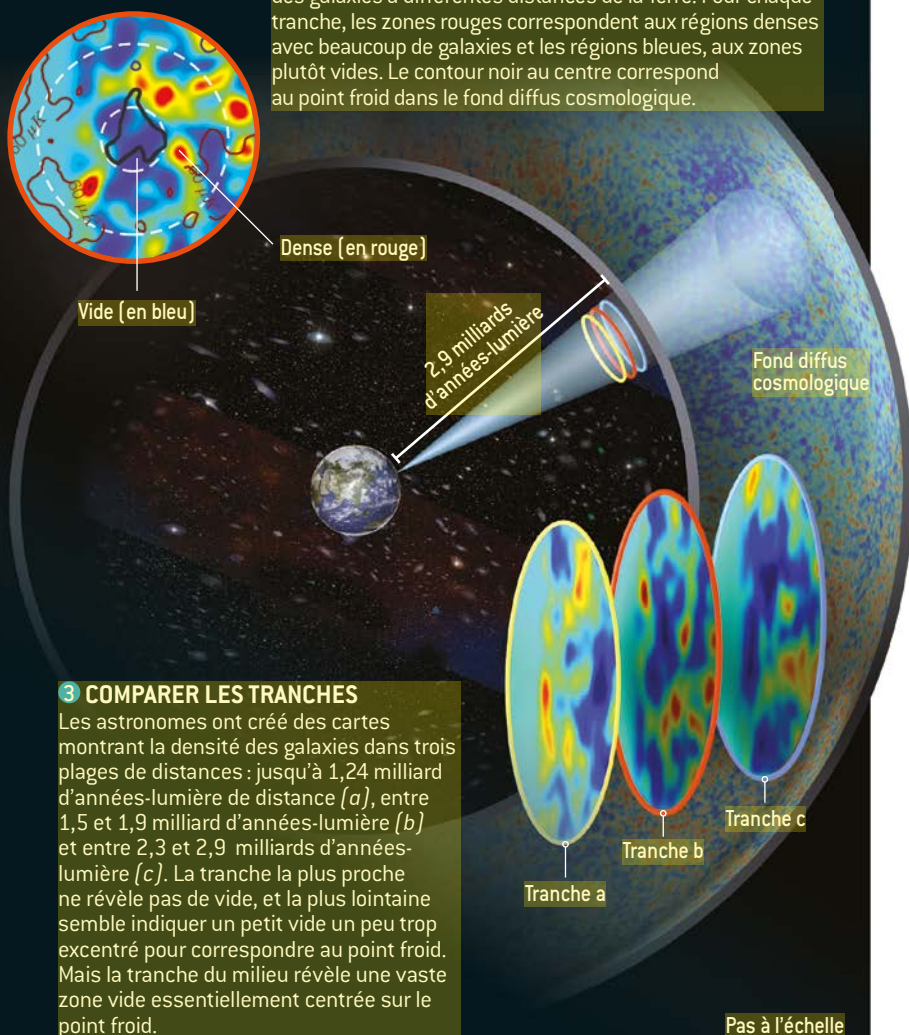
La recherche d'un supervide nécessite d'établir une carte en trois dimensions de la distribution des galaxies ①, d'isoler les galaxies à la même distance ② et d'y chercher les régions de faible densité ③.

① MESURER LES DISTANCES

Les astronomes ont analysé le catalogue de galaxies du satellite WISE et du projet Pan-STARRS. Ce catalogue indique la position des galaxies sur l'ensemble du ciel, mais pas leur distance, un paramètre indispensable pour établir une carte tridimensionnelle de la distribution des galaxies. Pour évaluer leur distance, les chercheurs ont analysé les couleurs optiques de chaque galaxie, ce qui a fourni, pour chacune, une estimation du degré de décalage vers le rouge que sa lumière a subi. Cet effet est la conséquence de l'expansion de l'Univers: quand l'espace s'étire pendant que la lumière le traverse, la longueur d'onde des photons de lumière s'étire elle aussi. Plus le décalage vers le rouge d'une galaxie est important, plus elle est éloignée de la Terre. En combinant les positions des galaxies sur le ciel avec leurs distances estimées, les astronomes ont créé une carte tridimensionnelle de la densité de galaxies dans la direction du point froid.

② DÉCOUPER L'UNIVERS EN TRANCHES

Les chercheurs ont décomposé leur carte tridimensionnelle de densité en une série de tranches montrant la répartition des galaxies à différentes distances de la Terre. Pour chaque tranche, les zones rouges correspondent aux régions denses avec beaucoup de galaxies et les régions bleues, aux zones plutôt vides. Le contour noir au centre correspond au point froid dans le fond diffus cosmologique.



③ COMPARER LES TRANCHES

Les astronomes ont créé des cartes montrant la densité des galaxies dans trois plages de distances: jusqu'à 1,24 milliard d'années-lumière de distance (a), entre 1,5 et 1,9 milliard d'années-lumière (b) et entre 2,3 et 2,9 milliards d'années-lumière (c). La tranche la plus proche ne révèle pas de vide, et la plus lointaine semble indiquer un petit vide un peu trop excentré pour correspondre au point froid. Mais la tranche du milieu révèle une vaste zone vide essentiellement centrée sur le point froid.

distances à la Terre. Le premier jeu d'images révélait un supervide approximativement sphérique et plus poussé près du centre. Ce vide géant se cache très près de nous, à environ trois milliards d'années-lumière, ce qui explique pourquoi il a été si difficile à mettre en évidence lors de nos premiers essais de détection.

Après plusieurs mois d'analyse, nous étions convaincus d'avoir des preuves solides de l'existence du supervide. En d'autres termes, nous étions certains de l'existence d'une région de basse densité dans la direction du point froid. Ce supervide est même énorme ; avec 1,8 milliard d'années-lumière de diamètre, c'est peut-être la plus grande structure jamais identifiée. L'objet est probablement très rare : les théories cosmologiques suggèrent qu'il n'y en aurait tout au plus que quelques autres dans tout l'Univers observable.

Nous avons enfin trouvé notre supervide aligné avec la plus grande anomalie du fond diffus cosmologique, le point froid. L'énigme était-elle donc résolue ? Pas tout à fait. Le supervide et le point froid pouvaient être alignés par hasard, sans lien de cause à effet, même si, d'après nos calculs, une telle coïncidence était 20 000 fois moins probable que la possibilité que le supervide ait créé le point froid.

Un supervide pas encore assez grand ?

Cependant, nous avons un problème plus sérieux. Bien que le supervide soit au bon endroit pour expliquer le point froid, il n'a pas exactement la bonne taille. Pour rendre compte de la température du point froid, bien plus basse que la température moyenne du fond diffus, le supervide devrait être encore plus grand qu'il ne semble l'être, peut-être d'un facteur deux à quatre. Ce désaccord entre la théorie et les observations est si important que certains chercheurs pensent que le chevauchement du supervide avec la région du point froid est un pur hasard. Et que d'autres explications sont donc à chercher, comme la possibilité que les galaxies émettent moins de rayonnement dans l'espace que nous ne le supposons, ce qui crée des biais dans

Le supervide nous permettrait de tester des théories alternatives à la relativité générale

la carte du fond diffus cosmologique – un phénomène qui pourrait, dans une certaine mesure, imiter l'effet Sachs-Wolfe intégré. Par ailleurs, même si nos observations prouvent l'existence du supervide, nous ne pouvons pas connaître sa taille, sa forme et sa position avec assez de précision pour calculer en détail les effets qu'il devrait avoir sur le fond diffus. En particulier, le supervide pourrait être allongé dans notre direction, ou composé de plusieurs vides sphériques juxtaposés et alignés dans la direction du point froid (comme un bonhomme de neige) – autant de configurations qui influent sur l'effet Sachs-Wolfe intégré. Ainsi, nous ne savons pas encore dans quelle mesure la taille du supervide met en difficulté notre théorie.

Nous avons déjà prévu de recommencer notre étude avec les nouvelles données de PS1, plus complètes que celles que nous avons utilisées précédemment, et en utilisant des observations que les astronomes ont encore affinées. Nous pourrions alors quantifier l'écart entre les mesures et la théorie afin de déterminer si l'hypothèse de l'effet Sachs-Wolfe intégré et du supervide est à écarter définitivement. Une étude menée par Seshadri Nadathur et Robert Crittenden, de l'université de Portsmouth, en Angleterre, suggère, grâce à des données récentes du *Sloan Digital Sky Survey*, que notre supervide ne peut pas expliquer le point froid.

Si le désaccord devait persister, il pourrait être révélateur d'un phénomène d'une autre nature. Par exemple, il existe des théories alternatives à la relativité générale d'Einstein dont certaines se manifestent par une signature unique qui n'apparaîtrait que dans les vides. Si l'une de ces théories est celle qui décrit correctement la force gravitationnelle, le mécanisme Sachs-Wolfe intégré pourrait opérer différemment. Notre supervide nous offrirait un indice allant dans le sens de ces théories. Nous aurions là une piste passionnante pour comprendre l'Univers à un niveau plus profond qu'il n'est possible aujourd'hui.

Dans tous les cas, la découverte des supervides est cruciale. Et les prochaines années devraient nous en apprendre encore davantage sur eux – et donc sur la nature de l'Univers. ■

■ BIBLIOGRAPHIE

I. Szapudi et al., Detection of a supervoid aligned with the cold spot of the cosmic microwave background, *MNRAS*, vol. 450, n° 1, pp. 288-294, 2015.

C. Deffayet, Énergie sombre ou gravité modifiée ?, *Pour la Science*, n° 443, septembre 2014.

G. Starkman et D. Schwartz, L'Univers est-il désaccordé ?, *Pour la Science*, n° 335, septembre 2005.