

■ L'AUTEUR



István SZAPUDI est chercheur à l'Institut d'astronomie de l'université d'Hawaï. Il étudie

la cosmologie et la structure de l'Univers aux grandes échelles.

froid pouvait se former s'il existait dans la même région du ciel un supervide, c'est-à-dire une vaste région d'espace relativement dépourvue de matière et de galaxies. Ce vide serait le lieu le plus vide de l'espace, un désert gigantesque entouré d'un environnement plus dense. Depuis, mes collègues de l'université d'Hawaï et moi-même avons confirmé l'existence du vide, et nous avons trouvé des indices tendant à prouver qu'il pourrait bien rendre compte du point froid.

La traversée d'un vide

Nous en sommes venus à envisager l'existence d'un supervide en considérant la manière dont nous pensons que la lumière interagit avec les vides plus petits. Le supervide postulé serait extrême, mais les vides ordinaires de taille moyenne (des zones contenant relativement peu de galaxies) sont assez répandus dans l'Univers. C'est aussi le cas de leurs contraires, les amas, qui sont de grandes congrégations rassemblant jusqu'à un millier de galaxies.

Les cosmologistes pensent que les germes des vides et des amas sont apparus très tôt dans l'Univers, quand des processus quantiques aléatoires ont produit une légère surdensité de matière dans certaines parties de l'espace et une sous-densité dans d'autres. La masse plus importante des régions de surdensité a produit une attraction gravitationnelle plus forte qui a attiré davantage de matière vers elles au fil du temps, au détriment des régions de sous-densité. Les premières ont fini par devenir des amas, et les secondes des vides.

Pour comprendre l'effet de ces vides contenant peu de matière sur la lumière qui les traverse, partons d'une analogie. Ces vides se comportent avec tout ce qui les traverse comme des collines parcourues par une balle (voir l'encadré pages 28 et 29). Dans un premier temps, quand une particule pénètre dans le vide, elle s'éloigne de régions environnantes de densité supérieure qui exercent une force gravitationnelle tendant à la retenir. Elle ralentit comme une balle qui roulerait en remontant la pente. Dans un second temps, alors que la particule commence à sortir du vide, elle se rapproche de zones denses qui l'attirent. La particule accélère comme une balle dévalant la colline.

Les photons du fond diffus se comportent de manière analogue, sans pour autant changer de vitesse (la vitesse de la lumière est toujours constante) : ils perdent

de l'énergie puis en gagnent, ce qui se traduit par une variation de leur longueur d'onde, qui est directement proportionnelle à leur température. Quand un photon pénètre dans un vide, il grimpe la colline et perd de l'énergie, en d'autres termes il se refroidit. En descendant la colline de l'autre côté, le photon récupère son énergie. Par conséquent, il arriverait de l'autre côté avec la même température qu'il avait au départ... si l'Univers était statique ou en expansion constante (auquel cas l'effet serait infime).

Or ce n'est pas le cas. Depuis les travaux d'Edwin Hubble, il est clair que l'Univers est en expansion. Mais ces deux dernières décennies, grâce à l'étude des supernovae de type Ia (des explosions d'étoiles particulières), les chercheurs ont découvert que cette expansion accélère. La plupart des cosmologistes attribuent cette accélération à l'énergie sombre, un élément de nature inconnue présent dans tout l'espace qui semble contrer l'attraction gravitationnelle.

L'accélération de l'Univers complique le scénario de la colline : dans la perspective de notre photon du fond diffus, cela signifie que pendant qu'il traverse le vide, celui-ci s'est agrandi, mais aussi tout l'espace qui l'entoure. En d'autres termes, quand le photon arrive de l'autre côté, il trouve un espace de densité énergétique inférieure à celle qu'il avait quittée en entrant dans le vide, ce qui revient à dire que la plaine entourant la colline s'est surélevée, de telle sorte que le sol plat de l'autre côté est désormais plus haut que ne l'était le sol du côté de départ. Par conséquent, le photon ne récupère pas toute l'énergie qu'il a perdue en grimpant la colline.

L'effet net est que les photons du fond diffus perdraient de l'énergie en traversant un vide. Et nous verrions donc des régions plus froides dans le fond diffus cosmologique près des régions de faible densité. Ce phénomène est nommé effet Sachs-Wolfe intégré. L'effet s'applique aussi aux superamas, mais dans ce cas, les photons gagnent de l'énergie en traversant de vastes régions contenant un supplément de masse et sont donc un peu plus chauds.

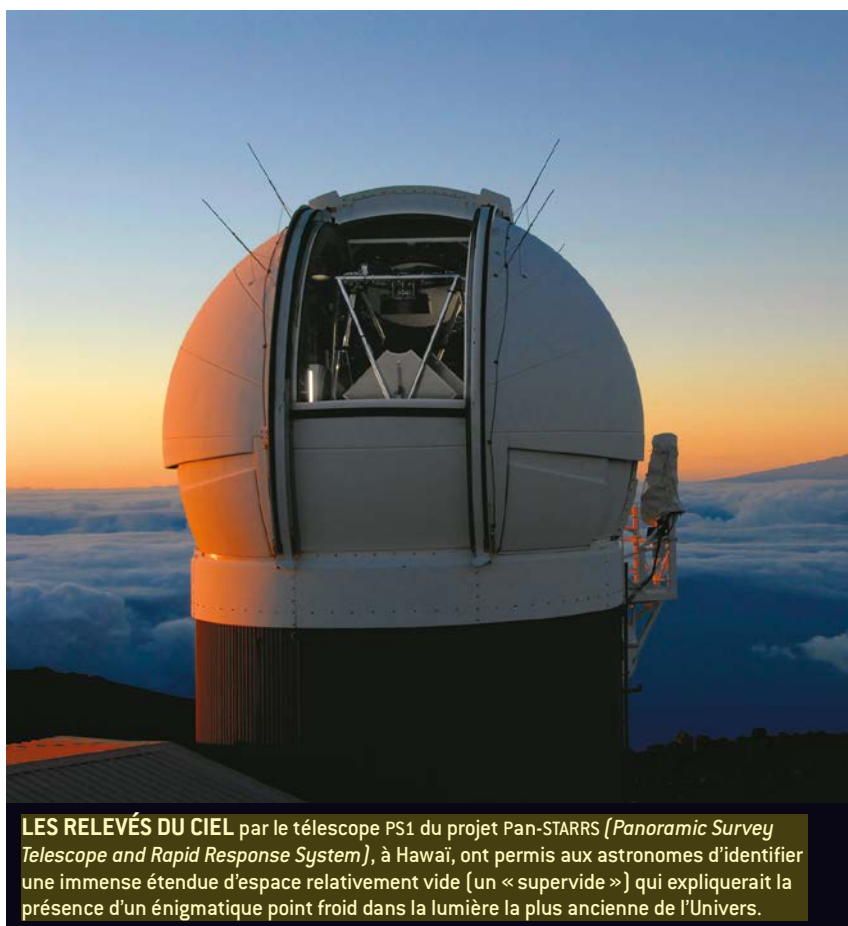
L'effet Sachs-Wolfe intégré est normalement infime. Même pour de grands vides, il occasionne typiquement des variations de température inférieures aux fluctuations moyennes du fond diffus. Or celles-ci, dues aux légères différences de densité au sein de l'Univers naissant – au moment où la lumière a été émise –, ne varient guère

L'ESSENTIEL

■ Le fond diffus cosmologique – la lumière émise par l'Univers à l'âge de 380 000 ans – présente un étrange « point froid », une zone où la température associée aux photons est inférieure à la moyenne.

■ Une explication possible serait une vaste région d'espace relativement vide. La lumière qui la traverserait aurait tendance à perdre de l'énergie (devenir plus froide) à cause d'un effet produit par l'expansion accélérée de l'Univers.

■ Les astronomes ont récemment découvert un tel supervide s'étendant sur 1,8 milliard d'années-lumière et aligné avec le point froid.



LES RELEVÉS DU CIEL par le télescope PS1 du projet Pan-STARRS (*Panoramic Survey Telescope and Rapid Response System*), à Hawaï, ont permis aux astronomes d'identifier une immense étendue d'espace relativement vide (un « supervide ») qui expliquerait la présence d'un énigmatique point froid dans la lumière la plus ancienne de l'Univers.

plus que de une partie pour 10 000. Mais nous avons réalisé que dans le cas d'un vide véritablement énorme, un supervide, la différence suffirait à produire le point froid. Trouver un supervide dans la région du point froid permettrait d'expliquer ce dernier. Mais pas uniquement; nous aurions une preuve, différente de l'observation des supernovæ, de l'accélération de l'expansion de l'Univers, car l'effet Sachs-Wolfe intégré n'est notable que dans cette situation.

La chasse au supervide

Les astronomes ont commencé à chercher un supervide coïncidant avec le point froid en 2007. La détection d'une structure aussi vaste est plus difficile qu'il n'y paraît. La plupart des relevés astronomiques produisent des images bidimensionnelles du ciel, sans données sur la distance des objets observés. Les galaxies que nous voyons pourraient aussi bien être toutes regroupées, ou très espacées, le long de la ligne de visée. Les astronomes doivent donc recueillir des informations supplémentaires sur chaque galaxie pour estimer

sa distance, une tâche laborieuse et d'un coût souvent prohibitif.

En 2007, à partir du catalogue NVSS (*NRAO VLA Sky Survey*) de galaxies, Lawrence Rudnick, de l'université du Minnesota, et ses collaborateurs ont découvert qu'une région de l'espace à peu près alignée avec le point froid contient moins de galaxies que la moyenne. Bien que le catalogue NVSS ne comporte pas de données concernant les distances spécifiques des galaxies du relevé, les astronomes savaient que la plupart des galaxies NVSS sont très éloignées de nous. Sur la base de ces données, ils ont émis l'hypothèse qu'un supervide se trouverait à 11 milliards d'années-lumière.

Cette distance posait une difficulté: la lumière qui nous parvient maintenant aurait traversé ce supervide lointain il y a près de 8 milliards d'années. (Cette traversée ne remonte pas à 11 milliards d'années car il faut prendre en compte que l'Univers a doublé de taille depuis que la lumière a été émise.) À une époque cosmique aussi reculée, l'énergie sombre ne représentait qu'une composante mineure de l'Univers – d'abord dominé par le rayonnement, puis

la matière – et donc influait beaucoup moins sur la dynamique cosmique qu'aujourd'hui, et l'effet Sachs-Wolfe intégré était trop faible pour produire le point froid.

Les travaux de Lawrence Rudnick, même s'ils n'ont pas confirmé le scénario imaginé, ont retenu mon attention. Avec Ben Granett et Mark Neyrinck, alors respectivement étudiant en thèse et postdoctorant à l'université d'Hawaï, nous avons mené une analyse statistique afin de déterminer si des petites structures du fond diffus (des zones relativement chaudes ou froides, mais moins extrêmes que le point froid) coïncidaient souvent avec de petits amas ou des vides connus de l'Univers. Nous avons trouvé que ces recouvrements étaient fréquents. Même si aucune de ces structures connues ne correspondait au point froid, les résultats nous ont convaincus de poursuivre la recherche d'un supervide dans la direction du point froid.

Nous avons alors utilisé le télescope du CFHT (Observatoire Canada-France-Hawaï) pour cibler plusieurs petites zones du ciel dans la région du point froid et nous avons compté le nombre de galaxies à l'intérieur de chacune d'elles. Nous avons effectué ces observations début 2010, mais nous n'avons pas trouvé de signe de supervide à la distance prédite par Lawrence Rudnick. Nous avons même exclu la présence d'un supervide au-delà d'environ trois milliards d'années-lumière. Grâce à d'autres observations, Malcolm Bremer, de l'université de Bristol, en Angleterre, et ses collaborateurs sont arrivés à la même conclusion. Et dans le même temps, l'incertitude statistique des résultats de Lawrence Rudnick, réévaluée par des pairs, s'est révélée beaucoup plus importante qu'on ne le pensait. Ainsi, pendant un moment, nous nous sommes demandé s'il fallait abandonner l'idée d'expliquer le point froid par l'effet Sachs-Wolfe intégré.

Mais il restait un petit espoir! Dans nos données, un indice suggérait la possibilité qu'un supervide se trouve plus près de nous. Paradoxalement, il est plus difficile de trouver un supervide proche avec les données du CFHT: chaque zone observée est un cône dont nous constituons le sommet et qui s'élargit à mesure que l'on regarde loin. Plus la distance est grande et plus la région physique couverte est vaste, ce qui nous a permis d'avoir un décompte précis des galaxies des zones éloignées. Mais près de nous, l'aire couverte est petite et, par conséquent, la marge d'erreur plus