

De nombreux astrophysiciens ont combiné leurs observations et harmonisé leurs méthodes d'analyse, mais leurs résultats ne sont toujours pas en accord avec celles du satellite européen Planck. La « crise » qui secoue la communauté des cosmologistes est toujours aiguë.

LE FIGARO

TRISTAN VEY

Il y a « quelque chose de pourri » au royaume de la cosmologie. Une « tension », disent plus élégamment les astrophysiciens. Et cela dure depuis 2013. C'est en étudiant la première lumière émise après le big bang, appelé fond diffus cosmologique, que les scientifiques de la collaboration Planck ont en effet levé le lièvre : l'Univers grandirait beaucoup moins vite que les astronomes « traditionnels » ne l'avaient estimé. Ces derniers, dont le Prix Nobel Adam Riess, codécouvreur de l'accélération de l'expansion de l'Univers (sous l'effet d'une mystérieuse énergie noire qui constitue les trois quarts du contenu de l'Univers), se replongent alors dans leurs calculs, multiplient les observations complémentaires à l'aide des télescopes les plus perfectionnés et raffinent leurs méthodes d'étalonnage des distances. Rien n'y fait. Ils sont sûrs de leur valeur (au moins la majorité d'entre eux). Mais alors, qui a raison ?

Cela pourrait n'être qu'un débat de spécialistes – quelle importance, après tout, pour le grand public de connaître la vitesse d'expansion de l'Univers au pourcent près – mais c'est loin d'être le cas. A vrai dire, toute la communauté scientifique tend l'oreille. Car il existe en effet un scénario où les deux camps pourraient avoir raison. Et dans ce cas, c'est tout simplement le modèle mathématique d'évolution de l'Univers (appelé lambda-CDM) qui serait mis en défaut pour la première fois. Ce serait la première porte ouverte sur la voie d'une nouvelle physique et une indication de la direction à suivre pour tenter de lever le mystère sur ce que sont vraiment « la matière noire » et « l'énergie noire », deux substances mystérieuses qui assurent respectivement la cohésion de l'Univers et sont à l'origine de son expansion accélérée. Qui sait, cela pourrait même déboucher à terme sur l'unification de la mécanique quantique et de la relativité générale dans un cadre théorique plus large. Rien de moins.

Des galaxies qui s'éloignent

Petit rappel : c'est en 1929 que l'astronome américain Edwin Hubble découvre que l'Univers n'est pas statique, mais en expansion. Plus une galaxie est lointaine, plus celle-ci s'éloigne rapidement de nous. Le paramètre qui donne la vitesse d'une galaxie en fonction de sa distance est appelé H0 (pour constante de Hubble) et c'est sa détermination précise qui est au cœur de tout ce débat. L'étude de l'Univers primordial, peu de temps après le big bang, aboutit à une valeur de 67,4 (km/s/Mpc) avec une incertitude inférieure à 1 %. Dans un article paru le 10 avril dans *Astronomy & Astrophysics*, la collaboration H0DN (pour « H0 Distance Network »), qui rassemble plusieurs des principales équipes travaillant sur l'Univers local, arrive pour sa part à une valeur de 73,5 avec une erreur proche de 1 %. Les deux valeurs sont parfaitement incompatibles.

Nous ne reviendrons pas en détail ici sur la première valeur, mais sachez que celle-ci, d'abord établie en 2013 par l'étude détaillée des variations de température du fond diffus cosmologique (CMB) par le satellite européen Planck, a récemment été confirmée par deux autres collaborations largement indépendantes travaillant sur le fond cosmologique (Atacama Cosmology Telescope et South Pole Telescope) mais aussi par des méthodes sans rapport avec le CMB (notamment l'oscillation acoustique des baryons mesurée par la collaboration

Desi). Toutes ont en commun le fait de s'appuyer sur l'observation de l'Univers lointain, et donc plus proche du big bang.

C'est peut-être du côté de l'Univers local que les interrogations restent les plus vives. Il faut dire que l'exercice est délicat. Sur le papier, cela peut sembler simple : il devrait « suffire » de déterminer la vitesse et la distance de nombreuses galaxies autour de nous, en évitant les galaxies proches, dont le mouvement propre peut fausser les résultats, et les plus lointaines, pour lesquelles les mesures sont trop difficiles. Oui, mais si déterminer la vitesse de fuite d'une galaxie est « relativement » facile (la lumière d'une galaxie qui s'éloigne est « étirée » par effet Doppler et se décale ainsi vers le rouge), déterminer sa distance est une autre paire de manches : il est très compliqué en astronomie de déterminer si un même objet est très légèrement plus lointain et brillant qu'un autre légèrement plus proche mais plus terne. Or, les astronomes ne peuvent pas se permettre l'à-peu-près s'ils veulent déterminer H0 avec le degré de précision requis.

Des explosions standards

Comment faire ? Le principe consiste à étalonner plusieurs échelles de distance de proche en proche. Les astronomes ont à leur disposition plusieurs types de sources « standards ». Les plus connues sont les *supernovae* de type 1A : il s'agit d'explosions d'étoiles doubles survenant lorsqu'une étoile en fin de vie absorbe peu à peu la matière de sa compagne jusqu'à atteindre le seuil critique où la gravité va prendre le pas sur le rayonnement généré par les réactions de fusions nucléaires. Comme elles explosent toutes à la même masse, la physique est très similaire et l'intensité du rayonnement aussi, estiment les astrophysiciens. Ces *supernovae* sont en plus très

Ce n'est pas un travail facile, car il faut bien prendre garde aux erreurs que nous pouvons avoir en commun afin de faire les choses

proprement
Louise Breuval
Astronome ESA

”

brillantes, ce qui permet de les voir de très loin. Reste à déterminer précisément la distance de quelques-uns de ces objets pour étalonner cette référence de mesure.

Les astronomes doivent alors recourir à une autre ruse. Le plus fiable est d'utiliser les céphéides. Il s'agit d'étoiles variables relativement communes dont la fréquence de pulsation est proportionnelle à la luminosité. Nous en avons identifié plus de 3.000 dans notre Voie lactée, un millier dans les nuages de Magellan (deux galaxies naines proches, visibles dans l'hémisphère Sud). Il est possible de calibrer l'échelle de distance des céphéides, en utilisant des méthodes géométriques. On mesure par exemple leurs positions dans le ciel à deux moments de l'année : comme la Terre a bougé, elles ont changé de place, ce qui permet d'estimer leur distance par effet de parallaxe – celui qui vous permet de voir en 3D avec deux yeux. Il « suffit » alors de trouver des céphéides dans des galaxies où l'on a identifié une *supernova* de type 1a pour mettre bout à bout les différentes échelles.

En théorie, le principe est relativement simple. En pratique, c'est un exercice très délicat à réaliser. De nombreux effets peuvent perturber les mesures, à commencer par les poussières présentes sur la ligne de visée. Toutes ces sources ne sont en outre pas aussi standards qu'on pourrait l'espérer... La teneur en éléments plus lourds que l'hydrogène et l'hélium – on parle de métallicité en astronomie – des céphéides peut par exemple jouer sur leur éclat. On a aussi craint un moment que des étoiles d'arrière-plan ne puissent polluer les courbes de lumière des céphéides lointaines, ce qui aurait faussé le calcul de H0 (les récentes observations du télescope James Webb ont permis d'écarter ce problème en 2024 : les facteurs cor-

rectifs déjà mis en place pour tenir compte du phénomène se sont avérés très pertinents).

Mais à force de multiplier les observations, d'affiner les techniques de corrections et les analyses statistiques, les astronomes « locaux » ont fini par atteindre des degrés de précision voisins de leurs collègues « profonds ». Dans cette dernière mouture, un nouvel effort a été apporté pour tenter de concilier des approches d'échelles moins précises mais indépendantes. Car si nous n'en avons présenté qu'une série (l'enchaînement parallaxe-céphéides-*supernova* de type 1a), il en existe en pratique bien d'autres, qui se recoupent plus ou moins les unes les autres.

« Un travail extraordinaire »

Plusieurs équipes différentes se sont ainsi réunies à Berne l'année dernière, sous l'impulsion de Stefano Casertano, du Space Telescope Science Institute de Baltimore, qui collabore régulièrement avec Adam Riess, responsable de la collaboration Sh0es, un des principaux acteurs du domaine. Objectif : mettre en commun les méthodes afin d'améliorer la précision globale de la mesure « locale ». « Ce n'est pas un travail facile, car il faut bien prendre garde aux erreurs que nous pouvons avoir en commun afin de faire les choses proprement », explique Louise Breuval, astronome ESA au Space Telescope Science Institute, qui a participé à la constitution de ce groupe de travail H0DN.

Au final, l'amélioration est minime, mais l'approche montre que la combinaison des différentes techniques aboutit toujours à des valeurs compatibles entre elles. « C'est une bonne manière de procéder, cela apporte de la crédibilité à leur mesure », juge François Bouchet, responsable scientifique de la collaboration Planck, qui a réalisé les mesures sur l'Univers primordial. « Je ne



Le modèle du big bang en ques Ce que cache la **bataille** sur la vitesse d'expansion de l'Un