

> Pour quelques éléments de réponse, retrouvons-nous ce lundi matin ensoleillé du mois de juillet 2019, à Santa Barbara, Californie. Là, des cosmologistes parmi les plus éminents se sont réunis pour discuter d'un problème épineux, et crucial. Vêtu d'une chemisette à carreaux, Adam Riess, désormais cinquantenaire, s'avance sur la scène, devant une salle pleine à craquer, pour son discours d'ouverture. Il y rend publics ses derniers résultats selon lesquels l'Univers s'étend actuellement trop vite, en tout cas plus vite que ne le prévoient les théories fondées sur ce que l'on sait des premiers jours de l'Univers. «Si le présent et le passé de l'Univers sont en désaccord, ne devrions-nous pas envisager une nouvelle physique?» déclare-t-il.

L'enjeu? Rien de moins que le modèle standard de la cosmologie, dominant depuis la découverte de l'énergie sombre. Ce modèle, noté Λ CDM, décrit toute la matière et l'énergie visible de l'Univers, ainsi que l'énergie sombre, représentée par la lettre grecque Λ , et la matière noire dite «froide», notée CDM, pour *cold dark matter*, par opposition aux matières noires chaude HDM et tiède WDM (voir l'entretien avec Jean-Pierre Luminet, page 10). Le modèle décrit également l'évolution de chacun de ces composants sous l'influence de la gravitation telle que prévue par la relativité générale d'Albert Einstein.

Le modèle Λ CDM rend parfaitement compte des caractéristiques de la jeunesse de l'Univers, des informations déduites de l'étude du «fond diffus cosmique», un rayonnement électromagnétique (dans le domaine des microondes), émis lorsque l'Univers n'était âgé que de 380 000 ans, au moment de la formation des premiers atomes. Depuis la première carte de ce rayonnement fossile, établie par le télescope spatial *Planck* en 2013, les astrophysiciens ont reconstitué avec précision l'Univers primordial et ont déroulé le film de son évolution jusqu'à aujourd'hui, afin notamment de prédire le taux actuel d'expansion cosmique, c'est-à-dire la constante de Hubble, ou H_0 .

Selon les données de *Planck*, l'Univers s'étend à raison de 67,4 kilomètres par seconde par mégaparsec, un mégaparsec valant 3,26 millions d'années-lumière. En d'autres termes, lorsque vous regardez dans le cosmos, pour chaque mégaparsec de distance parcourue, l'espace devrait reculer plus vite de 67,4 kilomètres par seconde. Les mesures d'autres caractéristiques de l'Univers primordial, comme les «oscillations acoustiques des baryons», fournissent exactement la même valeur: $H_0 = 67,4$. Mais d'autres observations sont en désaccord.

En effet, peu avant la conférence, l'équipe H0LiCOW a publié une nouvelle mesure de

la constante. À la lumière de six quasars lointains et de leurs images à travers des lentilles gravitationnelles, l'équipe a déterminé que H_0 était égale à 73,3 kilomètres par seconde par mégaparsec, une valeur significativement supérieure à celle de *Planck*. Mais, plus important, cette nouvelle mesure était proche de celle obtenue par l'équipe d'Adam Riess, surnommée SH0ES, sur la base de l'étude des Céphéides, des étoiles à luminosité pulsante situées dans le Grand Nuage de Magellan, une galaxie naine voisine de la Voie lactée. La mesure la plus récente, datant de mars 2019, fixait H_0 à 74,0, une valeur comprise dans la marge d'erreur de l'équipe H0LiCOW. «Mon cœur s'est mis à palpiter», se souvient Adam Riess, en apprenant les résultats de l'équipe H0LiCOW, deux semaines avant le congrès de Santa Barbara.

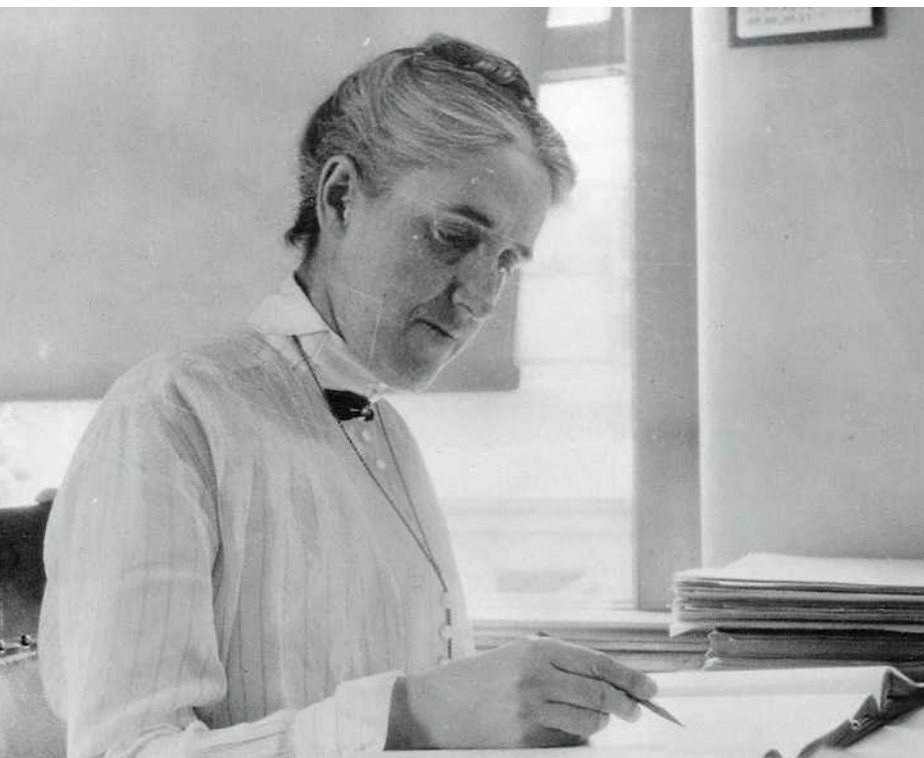
TENSION, CRISE OU PROBLÈME

Six ans durant, l'équipe SH0ES a contesté, en vain, les valeurs de H_0 déterminées à partir de l'Univers primordial. Désormais, les mesures combinées des équipes SH0ES et H0LiCOW ont franchi un seuil statistique, dit des «cinq sigma», de fiabilité. C'est la porte ouverte à une nouvelle approche de la physique. Si la constante de Hubble n'est pas égale à 67, mais plutôt à 73 ou 74, on en déduit qu'il manque quelque chose au modèle Λ CDM, un facteur qui accélère encore plus qu'attendu l'expansion cosmique. Ajouté aux ingrédients déjà connus (matière baryonique, matière

Cette tension est peut-être l'élément que beaucoup attendaient pour ébranler le modèle Λ CDM

noire et énergie sombre), ce composant supplémentaire enrichirait la cosmologie avec une approche inédite, obligeant à dépasser le modèle Λ CDM.

Durant son discours, Adam Riess s'est exprimé sur le «gouffre» qui sépare 67 et 73:



Henrietta Swan Leavitt à son bureau de l'observatoire de l'université Harvard. Elle a découvert comment les étoiles céphéides, à la luminosité oscillante, pouvaient aider à déterminer la vitesse d'expansion de l'Univers.

«Cet écart semble robuste. Lorsque j'évoquais la situation, je parlais d'une simple *tension*, mais on peut désormais parler de *problème*.» Invité à prendre la parole, David Gross, physicien des particules et lui aussi lauréat du prix Nobel, a surenchéri en voyant plutôt une *crise*. «Alors, nous sommes en *crise*», a confirmé Adam Riess.

Pour les cosmologistes, une *crise* représente l'occasion de découvrir quelque chose d'important. Lloyd Knox, membre de l'équipe Planck, s'exprimant après Adam Riess, s'est voulu optimiste: «Cette tension à propos de la constante de Hubble est peut-être l'élément que beaucoup d'entre nous attendaient pour ébranler le modèle Λ CDM.»

En fin de journée, de nombreux participants se sont entassés dans un car en direction de l'hôtel. Entre océan et montagnes, nous roulions au milieu des palmiers. Wendy Freedman, pionnière de la constante de Hubble, était installée au second rang. Aujourd'hui âgée de 62 ans, cette femme dirigeait l'équipe qui a obtenu la première mesure de H_0 en 2001: 72 avec une précision de 10%. Elle semblait moins atteinte par la contradiction apparente, contrairement à la plupart des autres conférenciers, qui semblaient ne plus tenir en place. «Il nous reste encore du travail», a-t-elle lâché, mâchant presque ses mots.

Wendy Freedman a passé des décennies à améliorer les mesures de H_0 en utilisant la méthode de l'«échelle de distance cosmique»: l'idée consiste à prendre un ensemble d'objets situés à des distances connues (ils forment les

barreaux de l'échelle) et à en étudier l'éloignement pour mesurer la vitesse d'expansion de l'Univers. Elle a calibré autant que possible cette échelle à l'aide des céphéides. Mais elle s'inquiète de potentielles sources d'erreur. «Elle sait dans quels placards sont cachés les squelettes», explique Barry Madore, son mari et proche collaborateur.

Pour calibrer une nouvelle échelle de distance cosmique, le couple et leurs collègues du *Carnegie-Chicago Hubble Program* (CCHP) ont utilisé le «sommet de la branche des géantes rouges» (noté TRGB pour *tip of the red giant branch*). Ce «sommet» correspond à un point de bascule des étoiles comme notre Soleil en fin de vie. Gonflées et rouges, elles deviennent de plus en plus lumineuses jusqu'à atteindre un bref pic de luminosité dû à l'embrasement soudain de l'hélium contenu dans leur cœur (on parle de «flash de l'hélium»). Dès 1993, Wendy Freedman, Barry Madore et Myung Gyoon Lee ont compris que ce moment décisif des géantes rouges en fait des «chandelles standard» idéales pour évaluer les distances cosmiques, car la luminosité est indépendante de la masse de l'étoile. La cosmologiste a mis son idée en application, et tandis que nous descendions du car, je lui ai demandé quand aurait lieu sa conférence. «C'est la seconde après le déjeuner, demain», m'a-t-elle répondu. «Soyez là», a insisté Barry Madore, avec un regard pétillant...

QUAND L'UNIVERS SE JOUE DE NOUS

De retour dans ma chambre d'hôtel, un coup d'œil sur les réseaux sociaux me montra que tout avait changé. Les travaux du CCHP venaient d'être publiés. Grâce au TRGB, ils avaient fixé la constante de Hubble à 69,8... soit une valeur nettement inférieure à celle (74,0) de l'équipe SH0ES, obtenue en utilisant des céphéides, et à celle (73,3) de H0LiCOW, à partir des quasars, mais supérieure à celle (67,4) calculée par l'équipe Planck. «En fait, l'Univers se joue de nous, n'est-ce pas?» a tweeté un astrophysicien.

Dan Scolnic, un jeune membre à lunettes de l'équipe SH0ES basé à l'Université Duke, en Caroline du Nord, s'est réuni avec Adam Riess et deux autres membres de l'équipe pour «essayer de comprendre ce que contenait l'article. Adam et moi sommes ensuite allés dîner dans un état de perplexité certain, car jusqu'à présent, les céphéides et le TRGB s'accordaient plutôt bien.»

Le changement clé apporté par Wendy Freedman fut vite identifié: il s'agissait d'une nouvelle façon d'estimer les effets de la poussière cosmique lors de la mesure de la luminosité intrinsèque des géantes rouges. «Nous avons une quantité de questions à propos de