

lointaines, situées dans des galaxies qui se déplacent librement dans le flux de Hubble, c'est-à-dire le courant de l'expansion cosmique. Le rapport entre la vitesse et la distance de ces supernovæ fournit H_0 . Cependant, l'aspect terne d'une chandelle standard n'est pas nécessairement dû à l'éloignement de l'astre. La poussière cosmique peut aussi être en cause, faisant paraître des étoiles plus lointaines qu'elles ne le sont vraiment.

À l'inverse, la proximité d'autres étoiles peut rendre artificiellement des supernovæ plus lumineuses, et donc plus proches. De plus, même les chandelles standard connaissent des variations inhérentes dues à leur âge ou à leur métallicité (leur contenu en atomes plus lourds que l'hélium), lesquelles doivent être corrigées. Wendy Freedman a mis au point de nouvelles méthodes pour prendre en compte de nombreuses sources d'erreurs systématiques. Ses premières valeurs de H_0 , supérieures à celles d'Allan Sandage, ont fortement déplu à son aîné. « Pour lui, je n'étais qu'une jeune parvenue, » s'est-elle confiée en 2017.

JUSQU'À SON DERNIER JOUR...

Malgré cela, elle a assemblé et dirigé, dans les années 1990, le *Hubble Space Telescope Key Project*, un nouveau projet de mesure des distances des céphéides et des supernovæ avec une plus grande précision. La valeur de H_0 égale à 72 (avec une marge d'erreur de 10%), qu'elle et son équipe ont publiée en 2001, a coupé la poire en deux dans le débat de 50 contre 100.

Deux ans plus tard, Wendy Freedman était nommée directrice des observatoires Carnegie, devenant ainsi la supérieure hiérarchique d'Allan Sandage. Elle a fait preuve d'élégance et il s'est adouci. Mais « jusqu'à son dernier jour en 2010, précise-t-elle, il est demeuré partisan d'une valeur faible de la constante de Hubble. »

Quelques années après le 72 de Wendy Freedman, Adam Riess, professeur à l'université Johns-Hopkins, est entré dans la course aux échelles de distance cosmique. Son projet : déterminer la valeur de H_0 avec une marge de seulement 1%, dans l'espoir de mieux comprendre l'énergie noire qu'il avait codécouverte. Depuis, son équipe a régulièrement resserré les barreaux de l'échelle, en particulier le premier et le plus important : l'échelon de calibration. Comme le formule Adam Riess : « À quelle distance se trouvent toutes choses ? Une fois cette question résolue, la vie devient plus simple ; vous mesurez des choses relatives. » Son équipe utilise actuellement cinq façons indépendantes de mesurer les distances de leurs céphéides étalons. « Elles s'accordent toutes plutôt bien, ce qui nous met en confiance », explique-t-il. À mesure qu'ils collectaient des données et amélioraient leurs analyses, la marge d'erreur autour de H_0

s'est réduite à 5% en 2009, puis 3,3%, 2,4% et enfin 1,9% en mars 2019.

Pendant ce temps, depuis 2013, avec des versions de plus en plus précises du fond diffus cosmologique, la collaboration Planck améliore sa valeur de H_0 . Dans sa dernière publication, en 2018, elle avance une valeur de la constante égale à 67,4 avec une marge d'erreur de 1%. Des mesures indépendantes devenaient urgentes.

Tommaso Treu, l'un des fondateurs de l'équipe H0LiCOW et professeur à l'université de Californie, à Los Angeles, rêvait depuis l'époque où il étudiait à Pise de mesurer la constante de Hubble en utilisant la méthode de *time-delay cosmography*, une méthode sans échelle de distance cosmique. À la place, elle détermine directement la distance des quasars – des galaxies lointaines et très énergétiques aux noyaux particulièrement brillants – en mesurant minutieusement le délai entre les différentes images d'un quasar (on parle de fantômes) qui se forment par des effets de lentille gravitationnelle.

Tandis que Tommaso Treu et ses collègues collectaient des données sur les quasars, Wendy Freedman et son équipe se tournaient vers le sommet de la branche des géantes rouges. Alors que les céphéides sont jeunes et nichées dans les centres poussiéreux et encombrés du centre des galaxies, les géantes rouges sont vieilles et résident plutôt dans les bordures extérieures plus clairsemées des galaxies. En utilisant le télescope spatial *Hubble*, le CCHP est parvenu à étendre leur échelle de distance aux supernovæ du flux de Hubble et à mesurer H_0 . « À un certain niveau, on se dit : "Bon, je vais tomber d'un côté, ou de l'autre, du débat ?" » m'a confié Wendy Freedman. « Mais finalement, avec notre 69,8, nous avons atterri au milieu, et c'est une situation intéressante ! »

COINCÉ AU MILIEU

Mon voisin dans le car, le matin suivant la publication de Wendy Freedman, était Francis-Yan Cyr-Racine, théoricien à l'université du Nouveau Mexique. Plus tôt en 2019, avec Lisa Randall, de l'université Harvard, et d'autres, il a proposé une solution inédite au problème de la constante de Hubble. Leur idée – un nouveau champ d'énergie répulsive de courte durée dans l'Univers primordial – accélérerait l'expansion cosmique, ce qui ferait correspondre les prédictions et les observations. La communauté des experts estime cette solution, et bien d'autres encore, comme relativement artificielles.

Lorsque j'ai mentionné la publication de Wendy Freedman, Francis-Yan Cyr-Racine n'a pas semblé surpris. « La bonne valeur est probablement 70 », m'a-t-il dit, signifiant que les estimations basées sur l'Univers primordial et

>

> les observations actuelles vont probablement finir par converger au milieu, et que le modèle Λ CDM sera validé (il a plus tard précisé qu'il plaisait à moitié).

Dans la salle du séminaire, Barry Madore s'est assis près de moi et d'un autre journaliste et nous a demandé: «Alors, de quel côté va pencher la balance?» Vers le milieu, semblerait-il. «Vous connaissez cette chanson, "Stuck in the middle with you"?» a-t-il demandé. «On y entend "Des clowns à ma gauche, des plaisantins à ma droite. Et me voici, coincé au milieu avec vous."»

LA CONSTANTE IVRE

Juste avant le déjeuner, nouveau rebondissement. Mark Reid, du Centre Harvard-Smithsonian d'astrophysique a présenté ses récentes mesures de masers (des effets proches du laser dans les galaxies) à partir desquelles il a obtenu une valeur de H_0 égale à 74,8, plus ou moins 3,1. Adam Riess a photographié la présentation. Dan Scolnic s'est quant à lui exprimé lors d'un tweet: «C'en est trop pour cette semaine. Rentre chez toi, H_0 , tu es ivre.»

À la pause de midi, Adam Riess semblait dépassé par toutes ces nouvelles mesures. Pendant plusieurs années, son équipe et lui sortaient du lot en s'écartant de la valeur de la constante de Hubble fixée par l'équipe Planck. «À cette époque, il y avait une tension et une divergence, et nous avons essuyé des coups durs», a-t-il confié. Mais en deux semaines, son isolement n'était plus qu'un souvenir, puisque trois nouvelles valeurs venaient semer la zizanie. Selon lui «la tension grandit, car personne ne propose de valeur inférieure à celle de Planck. Pourquoi aucune équipe n'a trouvé une valeur de 62 ou de 65?».

Quant à cette fameuse valeur de 69,8 du CCHP, Adam Riess avait quelques questions concernant la méthode de Wendy Freedman pour calibrer le premier barreau de son échelle de distance avec le TRGB dans le Grand Nuage de Magellan. «Le Grand Nuage de Magellan n'est pas une galaxie, c'est un nuage poussiéreux et amorphe, explique-t-il. C'est là toute l'ironie. Ils ont choisi d'utiliser le TRGB pour échapper au problème de la poussière,» mais ils doivent bien les calibrer quelque part – «autrement dit, ils doivent choisir des géantes rouges dont on connaît la distance par quelque autre méthode. Et le seul endroit où ils ont fait ça, c'est dans le Grand Nuage de Magellan.»

Une heure plus tard, Wendy Freedman, l'air serein, a présenté son argumentaire. «Si nous plaçons tous nos œufs dans le panier des céphéides, nous ne découvrirons jamais les inconnues inconnues», a-t-elle commenté.

Elle a alors expliqué qu'elle et ses collègues ont utilisé les géantes rouges du Grand Nuage de Magellan comme étalon parce que la distance du nuage a été mesurée avec une précision extrême

par diverses méthodes. Par ailleurs, ils ont employé une nouvelle approche pour corriger l'effet de la poussière sur la luminosité, une approche qui a recours aux étoiles elles-mêmes, en exploitant leurs changements de luminosité en fonction de la couleur. Elle a ainsi remarqué que ses paires de géantes rouges et de supernovæ, sur le second barreau de son échelle de distance, faisaient montre de moins de variations que les paires de céphéides et de supernovæ d'Adam Riess, suggérant ainsi que sa mesure de la poussière était potentiellement plus précise.

**Des clowns
à ma gauche,
des plaisantins
à ma droite.
Et me voici
coincé au milieu**

Durant la discussion, Wendy Freedman a également souligné que de meilleures mesures étaient encore nécessaires pour écarter de potentielles erreurs systématiques. «Je pense que nous en sommes à ce stade que, a-t-elle précisé.»

De là, la discussion s'est changée en joute verbale entre Wendy Freedman et Adam Riess. «Wendy, pour répondre à votre question, a lancé Adam Riess alors qu'aucune question n'avait été posée, il y a eu cinq résultats indépendants présentés jusqu'à maintenant. Ce rêve d'enfin y parvenir... est justement en train de se produire.»

LA PIÈCE OÙ TOUT SE JOUE

Dan Scolnic, le collaborateur d'Adam Riess et membre de l'équipe SH0ES, m'a proposé de le rejoindre dehors. Nous nous sommes assis au Soleil. «Voilà une journée comme je n'en avais jamais connu», m'a-t-il confié.

Avec l'arrivée du TRGB de Wendy Freedman et des masers de Mark Reid, les résultats pourtant récents de HOLICOW lui paraissaient déjà anciens. «Cela fait trois nouvelles fracassantes en une seule semaine. Et je ne sais pas vraiment sur quel pied nous dansons, à présent.» Même si la divergence est réelle, «il n'existe pas de bonne version capable de tout expliquer, ni du côté théorique, ni du côté des observations. C'est ce