

> différentes de mesure de la vitesse d'expansion de l'Univers, un paramètre nommé « constante de Hubble » et noté H_0 . Les approches partant d'observations dans l'Univers actuel et remontant le temps jusqu'aux âges les plus reculés donnent une certaine valeur; et les techniques partant de l'Univers jeune pour revenir jusqu'à aujourd'hui en donnent une autre.

UNE FAIBLE DIFFÉRENCE, MAIS INCONCILIABLE

À première vue, la différence entre les deux valeurs semble minime: respectivement 67,4 et 74,0 kilomètres par seconde et par mégaparsec (1 mégaparsec correspond à 3,26 millions d'années-lumière). Cela signifie que dans chaque direction, sur une distance de 1 mégaparsec, l'Univers s'étire toutes les secondes d'environ 70 kilomètres. Rapporté aux échelles de l'espace-temps de l'Univers, l'écart entre les deux mesures devient d'une importance cosmique cruciale. Grâce à ce paramètre, les cosmologistes extrapolent vers le passé l'évolution de l'Univers et en déduisent son âge, environ 13,8 milliards d'années. Ils l'utilisent aussi pour se projeter dans le futur et déterminer quand l'espace entre les galaxies deviendra si vaste que le cosmos autour du voisinage immédiat de la Voie lactée semblera totalement vide. Les chercheurs espèrent également, en disposant d'une mesure précise de la constante de Hubble, éclaircir la nature de l'énergie sombre.

Malgré les efforts des scientifiques, les deux stratégies pour mesurer la constante de Hubble persistent à fournir des valeurs différentes. Cette situation n'est pas rare en science. Mais en général, une analyse fine suffit pour faire disparaître les incompatibilités. Ces dix dernières années, les cosmologistes portaient du principe qu'il en serait de même pour la constante de Hubble. Mais le désaccord a persisté et, surtout, il s'est aggravé. Les mesures successives des uns et des autres n'ont fait que renforcer le fossé qui sépare les deux résultats. Qui plus est, d'autres équipes qui ont adopté des approches indépendantes ont compliqué la situation. Aujourd'hui, les cosmologistes s'accordent sur un point: nous avons un problème!

Où se cache l'erreur? S'est-elle glissée quelque part dans les mesures ou dans leur interprétation? Les chercheurs y travaillent, mais ces pistes semblent peu probables. Cela ne laisse qu'une dernière option, tout aussi peu probable mais de plus en plus à considérer: l'erreur se nicherait dans le modèle standard de la cosmologie.

Pendant une grande partie de l'histoire humaine, « l'étude » des origines du monde était une affaire de mythes et de légendes, sur le mode « Au commencement... ». Ce n'est qu'en 1925 que l'astronome américain Edwin



Les astronomes ont calibré les céphéides et les géantes rouges dans le Grand Nuage de Magellan

Hubble a fait entrer ces grandes questions fondamentales dans le domaine de la recherche empirique. Il venait de résoudre une énigme vieille de plusieurs siècles et relative à la nature de taches floues sur la voûte céleste – que les astronomes nommaient des nébuleuses. Ces nébuleuses étaient-elles des nuages de gaz entre les étoiles? Ou ces nébuleuses étaient-elles des sortes d'« univers-îles », au-delà des étoiles? Grâce à ses observations, Hubble a montré que l'une des nébuleuses se trouve beaucoup plus loin que les étoiles visibles: nous vivons dans un univers-île, la Voie lactée, et la nébuleuse en question est une galaxie voisine, celle d'Andromède.

Hubble a continué à bouleverser la vision du monde de ses contemporains. En analysant



Le Grand Nuage de Magellan est une galaxie naine voisine de la Voie lactée dont la distance est connue avec précision.

la lumière provenant de plusieurs de ces fameuses nébuleuses, il a constaté que leur spectre électromagnétique était étiré vers les grandes longueurs d'onde. On parle de décalage vers le rouge (couleur correspondant aux plus grandes longueurs d'onde du spectre visible). Ce phénomène s'explique par l'effet Doppler: les ondes émises par une source sont décalées en fréquence (ou en longueur d'onde) quand cette source se déplace par rapport à l'observateur. Le résultat de Hubble impliquait donc que les nébuleuses s'éloignaient de la Terre et de la Voie lactée. En 1927, le physicien et chanoine belge Georges Lemaître a noté que si l'Univers était en expansion, on devrait constater que plus une galaxie est éloignée, plus le décalage vers le rouge de sa lumière est important. Ainsi, plus elle est lointaine et plus elle s'éloigne vite. En 1929, en accumulant plus de mesures, Hubble est parvenu à la même conclusion: l'Univers est en expansion.

Les physiciens se sont aussitôt demandé ce qui se passerait si on remontait le temps et regardait cette expansion à l'envers. Les galaxies se rapprocheraient les unes des autres, formeraient un état très dense d'où serait né l'Univers. Très vite, quelques théoriciens ont suggéré que cet état aurait marqué la naissance de l'espace et du temps, un phénomène qui prendra plus tard le nom de Big Bang. Cette dénomination se voulait initialement péjorative, car l'idée semblait bien trop fantasque. Pendant plusieurs décennies, en l'absence de preuves expérimentales, les physiciens étaient dans l'incapacité de soutenir solidement cette théorie.

La situation a changé en 1965 quand Arno Penzias et Robert Wilson, des laboratoires Bell, ont pointé leur antenne radio vers le ciel. Ils ont capté un rayonnement homogène provenant de toutes les directions. Or depuis 1948, des physiciens comme Ralph Alpher, Robert Herman et d'autres avaient considéré que si l'Univers avait émergé d'un état primordial très dense et très chaud, il se serait refroidi lors de son expansion et aurait émis une lumière caractéristique dans sa jeunesse. Ils avaient théoriquement calculé que la température associée à ce rayonnement serait de quelques degrés au-dessus du zéro absolu. Or, avec une mesure d'environ 3 kelvins, Penzias et Wilson avaient apporté une preuve suffisante pour convaincre les cosmologistes et établir un consensus autour du modèle du Big Bang.

En 1970, l'astronome Allan Sandage, un proche de Hubble, a publié un article dans la revue *Physics Today* qui a profondément marqué de son empreinte la recherche en cosmologie et qui était intitulé «Cosmologie: La quête de deux nombres». Le premier nombre était la vitesse d'expansion actuelle de

l'Univers. Le second, l'accélération de l'expansion. À l'époque, on pensait que la vitesse d'expansion devait diminuer, l'Univers étant rempli de matière qui agit gravitationnellement sur elle-même et qui constituerait donc un frein à l'expansion. On parlait donc plutôt de paramètre de décélération.

C'est le second nombre qui a été mesuré en premier. À la fin des années 1980, deux équipes se sont lancées dans son estimation en utilisant les mêmes outils, mais de façon indépendante: les supernovæ de type Ia, des étoiles massives qui explosent en fin de vie et que les astrophysiciens pensaient utiliser comme «chandelles standard». Le principe est le même que lorsque l'on considère une ampoule de 60 watts, qui semble moins lumineuse si on la regarde de plus loin: si l'on sait que l'ampoule a une puissance de 60 watts, on est capable de déterminer sa distance à partir de sa luminosité apparente.

S'ÉCLAIRER AVEC DES CHANDELLES STANDARD

Les cosmologistes savent déterminer la luminosité intrinsèque des supernovæ de type Ia (l'équivalent du «60 watts») et sont donc capables de les utiliser pour mesurer des distances cosmiques. Mais si la vitesse d'expansion a diminué au cours du temps, comme le pensaient les astronomes, alors aux grandes distances une supernova serait moins éloignée et donc plus brillante que si l'Univers a enflé à un rythme constant. Or les deux équipes ont constaté l'inverse: les supernovæ les plus lointaines étaient moins brillantes que prévu et étaient donc plus éloignées qu'on ne l'attendait. En 1998, les chercheurs ont conclu que l'expansion de l'Univers accélère. La source de cette accélération est ce qu'on nomme l'«énergie sombre» (ou «noire»), terme générique et temporaire en attendant d'en déterminer la vraie nature.

La constante de Hubble, le premier nombre de Sandage, a été estimée avec une bonne précision peu après. Pendant plusieurs décennies, ce paramètre a été la source de débats animés parmi les astronomes. Sandage lui-même avait affirmé que H_0 vaudrait autour de 50 kilomètres par seconde et par mégaparsec, valeur qui porterait l'âge de l'Univers à environ 20 milliards d'années. D'autres astronomes penchaient plutôt pour une constante de Hubble proche de 100 kilomètres par seconde et par mégaparsec, soit un âge cosmique d'environ 10 milliards d'années. Une telle différence était embarrassante; il fallait réduire cette incertitude.

En 2001, Wendy Freedman, de l'université de Chicago, et ses collègues ont utilisé le télescope spatial Hubble pour réaliser la première mesure fiable de la constante de Hubble. Dans ce projet, les chandelles ➤