



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.

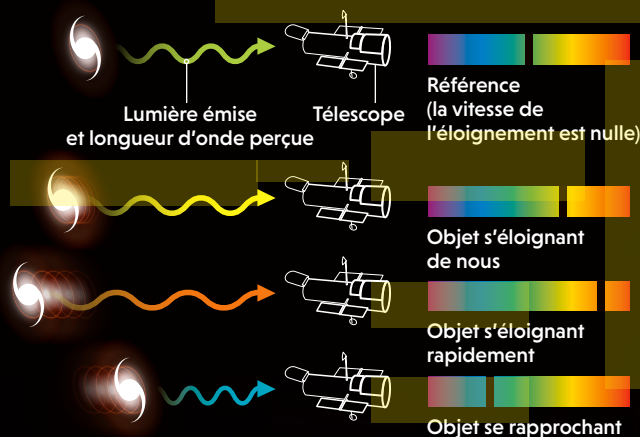
En 2001, Wendy Freedman, de l'université de Chicago, et ses collègues ont utilisé le télescope spatial Hubble pour réaliser la première mesure fiable de la constante de Hubble. Dans ce projet, les chandelles ➤

UN CONFLIT AU CŒUR DE LA COSMOLOGIE

La constante de Hubble (H_0) indique le taux d'expansion actuel de l'Univers. Sa valeur est cruciale pour la cosmologie mais elle fait l'objet d'une grave controverse. Contrairement à ce qu'on espérait, les diverses méthodes d'estimation de H_0 sont en désaccord. L'écart entre les mesures s'expliquerait soit par des erreurs dans une des approches, soit par un problème plus fondamental dans notre compréhension actuelle de l'Univers.

MESURER LA VITESSE DES GALAXIES

La méthode classique pour mesurer H_0 consiste à déterminer à la fois la vitesse d'éloignement et la distance de galaxies lointaines. On obtient la vitesse grâce au phénomène de décalage vers le rouge cosmologique : du fait de l'expansion de l'Univers, le spectre de la lumière d'un objet qui s'éloigne de nous se décale vers les grandes longueurs d'onde. Plus le décalage est grand, plus la vitesse d'éloignement est élevée.



Big Bang

OBSERVATION DE L'UNIVERS PRIMORDIAL

La constante de Hubble peut être mesurée en utilisant le fond diffus cosmologique (CMB), le rayonnement fossile du Big Bang émis quand l'Univers avait à peine 379 000 ans et ne contenait jusque-là qu'un plasma dense et chaud. Des ondes, dites « acoustiques », se propageant dans le plasma ont formé des zones de surdensité ou de sous-densité de matière qui ont marqué le fond diffus de leur empreinte en y créant de petites fluctuations de température. En analysant les propriétés de ces fluctuations, les cosmologistes en font une référence pour suivre la croissance de l'Univers au cours de son histoire. De cette étude, on détermine la constante de Hubble.

Fond diffus cosmologique