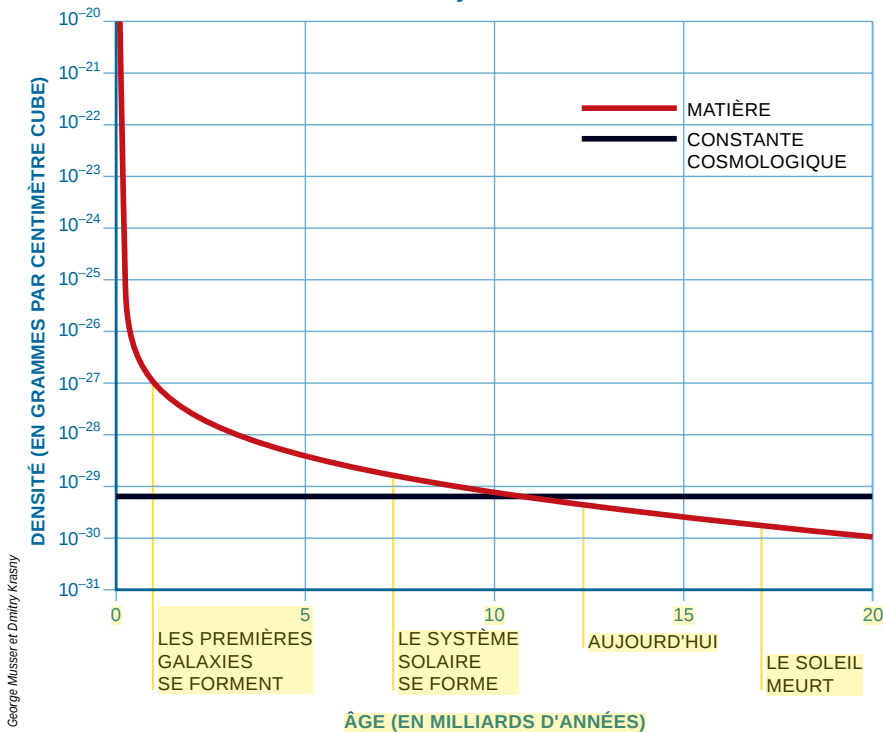


Densité moyenne de l'Univers



7. LA COÏNCIDENCE COSMIQUE est l'un des nombreux mystères cosmologique. La densité moyenne de matière ordinaire décroît quand l'Univers se dilate (en rouge). La densité équivalente représentée par la constante cosmologique est fixe (en noir). Pourquoi alors, malgré ces comportements opposés, ont-elles toutes les deux presque la même valeur aujourd'hui? S'agit-il d'un hasard, d'une nécessité pour que la vie ait pu exister ou l'indication d'un mécanisme encore inconnu?

chaud, qui émet des rayons X. La température de ce gaz, déduite du spectre des rayons X, dépend de la masse totale de l'amas : plus les amas sont massifs, plus la gravité est forte, de sorte que la pression et la température sont élevées ; les amas massifs sont ainsi plus chauds. En 1993, après l'étude de plusieurs amas, des astronomes allemands avaient déduit que la matière lumineuse représentait seulement 10 à 20 pour cent de la masse totale des objets. Ces résultats, combinés aux mesures du deutérium, impliquent que la densité totale de la matière dans les amas – incluant les protons et les neutrons, ainsi que des particules plus exotiques comme certains candidats pour la matière sombre – est au plus égale à 60 pour cent de celle requise pour que l'Univers soit plat.

Un troisième ensemble d'observations, qui concerne aussi la répartition de la matière aux échelles les plus grandes, conforte l'idée que l'Univers ne contient pas assez de matière pour être plat. Aucune partie de la cosmologie n'a probablement autant progressé au cours des 20 dernières années que la compréhension de l'origine et de la nature des structures cosmiques.

Les astronomes ont longtemps supposé que les galaxies se sont formées à partir de petites concentrations de matière dans l'Univers jeune, mais on ignorait comment ces concentrations initiales étaient apparues. La théorie de l'inflation, dans les années 1980, fut le premier mécanisme plausible : elle stipulait une amplification des fluctuations quantiques à des dimensions macroscopiques.

Les simulations numériques de la croissance des structures après l'inflation ont montré que, si la matière sombre n'était pas composée de neutrons et de protons, mais d'un autre type de particules (telles que les WIMP, des particules massives qui interagissent peu avec la matière), de minuscules rides dans le fond diffus cosmologique pouvaient croître et former les structures que nous observons aujourd'hui. De surcroît, avec une densité globale de matière élevée, des concentrations de matière devraient encore évoluer en amas de galaxies. La croissance relativement lente du nombre d'amas de galaxies dans l'histoire récente de l'Univers montre que la densité de matière est inférieure à 50 pour cent de celle qui est requise pour

un Univers plat (voir *Les amas de galaxies*, par Patrick Henry, Ulrich Briel et Hans Böhringer, in *Pour la Science*, février 1999).

Rien ne compte

L'ensemble des observations a finalement vaincu l'*a priori* théorique qui refusait l'introduction de la constante cosmologique. Deux possibilités demeurent : soit l'Univers est ouvert, soit il est rendu plat par une forme d'énergie qui n'est pas associée à la matière ordinaire. Pour savoir quelle est la solution, les astronomes veulent mesurer le fond diffus cosmologique avec précision, car la mesure des fluctuations de la température du fond diffus renseigne sur la géométrie de l'Univers. Selon les premières indications apportées par le satellite *COBE* et par des détecteurs embarqués sur des ballons, l'Univers serait plat. Par ailleurs, pour la première fois, les mesures de la lumière émise par les supernovae lointaines indiquent que l'expansion de l'Univers accélère ; la constante cosmologique que l'on estime alors correspond à celle que l'on déduit d'autres observations (voir *Des supernovae pour sonder l'espace-temps*, par Craig Hogan, Robert Kirshner et Nicholas Suntzeff, page 36). Le fond diffus cosmologique, qui reflète la structure de l'Univers peu après le Big Bang, révèle la géométrie de l'Univers, qui dépend de la densité totale d'énergie, quelle que soit sa forme, tandis que les supernovae sondent directement le taux d'expansion de l'Univers, qui dépend de la différence entre la densité de matière (qui ralentit l'expansion) et la constante cosmologique (qui peut l'accélérer).

Ainsi les cosmologistes estiment que la constante cosmologique contribuerait pour 40 à 70 pour cent de l'énergie nécessaire pour rendre l'Univers plat (voir la figure 6). Soyons pourtant prudents : il est dit, dans la communauté des cosmologistes, qu'une théorie dont les prédictions confirment toutes les observations est probablement fautive, ne serait-ce que parce que certaines mesures ou certaines prédictions sont sans doute erronées. Sans attendre, les théoriciens se précipitent déjà pour comprendre ce qui aurait été impensable voilà 20 ans : l'existence d'une constante cosmologique positive,