

L'ESSENTIEL

● En 1998, les cosmologistes ont découvert que l'expansion de l'Univers accélère.

● Ce phénomène s'expliquerait par une «énergie sombre», qui représenterait 70 pour cent de la densité d'énergie de l'Univers.

● L'énergie sombre pourrait correspondre à une constante cosmologique liée aux fluctuations quantiques du vide.

● D'autres pistes sont explorées, comme la «quintessence» ou des modifications des lois de la gravitation.

L'AUTEUR



CÉDRIC DEFFAYET est directeur de recherche au CNRS et travaille à l'Institut d'astrophysique de Paris et à l'Institut des hautes études scientifiques.

Vers une nouvelle gravitation ?

L'expansion de l'Univers accélère. Pour expliquer ce phénomène constaté récemment, les théoriciens explorent plusieurs voies, comme l'existence d'une mystérieuse «énergie sombre» ou de nouvelles lois de la gravitation.

S

ouvenez-vous. La dernière fois que vous avez admiré un ciel étoilé, ne vous êtes-vous pas demandé à quelle distance se trouvent les étoiles ? Les Grecs se posaient déjà de la question. Aristarque de Samos tenta, par exemple, d'estimer la distance à l'étoile la plus proche, le Soleil. Son calcul était faussé par le manque de précision des instruments de l'époque. Au cours des siècles suivants, les astronomes ont amélioré les techniques. L'invention de la lunette astronomique a étendu le champ





d'investigation à un domaine jusqu'alors invisible. Les techniques géométriques, telle que l'utilisation de la parallaxe (on déduit la distance d'un objet à partir de son déplacement par rapport à un fond fixe quand on l'observe de deux positions différentes), ont par la suite trouvé leurs limites. De nouvelles méthodes ont été mises au point et les astrophysiciens utilisent aujourd'hui des étoiles telles que les céphéides ou les supernovæ de type Ia – des astres en train d'exploser –, pour déterminer les distances dans l'Univers.

Alors que ces chercheurs cartographiaient le cosmos, les théoriciens ont développé une description géométrique de l'Univers. Le modèle standard cosmologique, le modèle du Big Bang, décrit avec succès les grandes lignes de l'histoire de l'Univers. Il repose sur la théorie de la relativité générale élaborée par Albert Einstein il y a près de cent ans. La «force de gravitation» y est décrite de façon géométrique dans un espace-temps courbe. Plus précisément, le mouvement d'un objet en chute libre est interprété dans la théorie d'Einstein comme un trajet qui suit le plus court chemin dans un espace-temps courbe. La géométrie de l'espace-temps définit les trajectoires des objets et, en retour, le contenu matériel de l'Univers déforme l'espace-temps. Géométrie de l'espace-temps et contenu matériel sont intimement liés dans les équations de la relativité générale.

En combinant l'observation précise de la lumière émise par les galaxies lointaines avec des mesures de distance, les cosmologistes ont découvert que l'Univers est en expansion. Les galaxies semblent s'éloigner les unes des autres, car l'espace-temps qui les contient s'étire. Plus étonnant, en observant des supernovæ très éloignées, les scientifiques ont découvert que l'expansion se fait à un rythme qui s'accélère.

Quelle est l'origine de ce phénomène? Une explication possible est la présence dans l'Univers d'une «énergie sombre», dont la nature reste inconnue, mais dont on peut déduire certaines

caractéristiques des observations astrophysiques. C'est cette question qui nous intéresse ici.

Avant d'aborder la question de la nature de l'énergie sombre, voyons comment les cosmologistes ont eu l'idée de son existence et comment ils ont estimé son abondance dans l'Univers. Toute substance influe sur les propriétés géométriques de l'espace-temps. Or l'analyse du fond diffus cosmologique – un rayonnement électromagnétique émis alors que l'Univers était âgé de 380 000 ans – indique que l'Univers suit une géométrie proche de celle d'Euclide aux grandes échelles. Une telle propriété n'est possible que si le contenu de l'Univers présente une certaine densité moyenne d'énergie, dite «densité d'énergie critique».

UN PROBLÈME DE CONTENU

Par ailleurs, les astrophysiciens déduisent le contenu en matière ordinaire (dite «baryonique» et qui compose les planètes, les étoiles...) de l'étude de la formation des noyaux atomiques légers dans les premières minutes de l'Univers. Cette matière ne représente que 5% de la densité d'énergie critique (*voir Repères, page 6*). Ainsi, 95% du contenu de l'Univers est sous une forme inconnue.

Ce contenu mystérieux se manifeste néanmoins de façon indirecte par son influence gravitationnelle sur la matière baryonique. Les cosmologistes le séparent en deux composantes selon son comportement, soit aujourd'hui environ 25% de matière noire et 70% d'énergie sombre. Cette composition est maintenant confirmée par de nombreuses observations.

La présence de matière noire a d'abord été mise en évidence quand on a comparé la quantité de matière baryonique présente dans certaines galaxies à la quantité de matière nécessaire pour expliquer les mouvements dus aux forces gravitationnelles au sein de ces mêmes galaxies. Constatant que la matière ➤