

L'ESSENTIEL

- Depuis 1998, on sait que l'expansion de l'Univers s'accélère.
- Pour en rendre compte, les physiciens ont imaginé une «énergie sombre» dotée d'une force répulsive à grande échelle.
- Pourtant, la constante cosmologique, un terme introduit dans les équations

de la relativité générale par Albert Einstein, explique naturellement le phénomène.

- Cette constante avait été abandonnée par la communauté scientifique, à l'exception notable de Georges Lemaître, qui l'a défendue toute sa vie durant. Ne serait-il pas temps de la réhabiliter?

L'AUTEUR



JEAN-PIERRE LUMINET
directeur de recherche au CNRS, membre du Laboratoire d'astrophysique de Marseille (LAM), du Centre de physique théorique de Marseille (CPT) et du laboratoire Univers et théories (Luth) de l'observatoire de Paris.

Indispensable constante cosmologique

Pour expliquer l'énergie sombre et l'accélération de l'expansion de l'Univers, les physiciens rivalisent de nouvelles théories. Mais ce n'est pas nécessaire : la constante cosmologique, introduite puis reniée par Albert Einstein, suffit amplement à résoudre le mystère.

D

epuis 1927 et l'article fondateur de la cosmologie relativiste moderne de l'astronome et chanoine belge Georges Lemaître, théorie et observations se sont accordées pour prouver que l'Univers se dilate, la plupart des astronomes considérant que cette expansion, sous l'influence de la gravité, devait évoluer en ralentissant. C'est donc confiantes que, sur la

base des données recueillies par les grands télescopes, deux équipes indépendantes conduites par Saul Perlmutter, Brian Schmidt et Adam Riess se sont lancées dans la cartographie de l'Univers, pensant mesurer avec une précision encore jamais atteinte les signes de ce ralentissement.

À leur grande surprise, ils ont constaté que, certes, l'expansion de l'Univers a bien été freinée dans les premiers milliards d'années par la gravité, mais qu'elle s'est accélérée au bout de 7 milliards d'années. L'explication la plus naturelle d'une telle accélération est d'invoquer l'existence d'une force répulsive à grande échelle, capable de contrer la force d'attraction des masses célestes : c'est l'«énergie sombre».



Le Grand Nuage de Magellan est une galaxie naine satellite de notre Voie Lactée renfermant de nombreux amas d'étoiles (dans le médaillon). La luminosité de certaines d'entre elles, nommées Céphéides, pulsent à un rythme régulier. En les étudiant, on peut calculer avec précision la vitesse à laquelle l'univers s'étend.

La découverte, confirmée depuis par d'autres méthodes, vaudra le prix Nobel de physique 2011 aux astronomes. Mais la publication des résultats, en 1998, a déjà donné lieu aux habituels effets d'annonce dans la presse sur le modèle de : « Notre modèle de l'Univers remis en question. » Le Forum économique de Davos a même consacré en janvier 2000 une session au sujet, devant une assistance qui n'y comprenait goutte. Invité comme intervenant avec deux cosmologistes américains, j'ai tenté de tempérer l'emballement médiatique en expliquant que l'accélération de l'expansion cosmique ne nécessitait pas forcément une remise en question des modèles généraux de Big Bang. Je crois n'avoir eu aucun succès : il

n'était pas évident, devant une assistance en attente de scoop, d'expliquer qu'un physicien belge, le même Georges Lemaître cité plus haut, en langue française et avec soixante ans d'avance, avait déjà donné tous les tenants et aboutissants de la répulsion cosmique en invoquant une constante cosmologique.

De fait, ce terme figurant dès 1917 dans les équations originales d'Einstein sous la forme de la lettre grecque λ a été ensuite abandonné par le courant dominant de la cosmologie anglo-saxonne. Pourtant, il explique tout naturellement et de la façon la plus élégante qui soit le phénomène de la répulsion cosmique sans faire intervenir de mystère particulier. L'affaire mérite de plus amples détails, et les objections

>

LES DESTINS DE L'UNIVERS

L'évolution de l'Univers dépend de façon cruciale de la densité totale de matière et d'énergie qu'il contient. Lorsque les astrophysiciens font l'inventaire de toutes les formes de matière et d'énergie, ils se heurtent à un certain nombre de complications. Différentes formes d'énergie ont en effet tour à tour dominé le cours de l'évolution cosmique et en ont imposé la dynamique, c'est-à-dire la variation au cours du temps du facteur d'échelle spatiale R , que l'on peut par exemple identifier au rayon de l'Univers observable. On distingue quatre phases. La première, encore hypothétique, est la très brève période d'inflation, où R aurait été en expansion exponentielle. C'est durant cette période que la matière aurait été créée. Dans une seconde phase, la radiation a dominé, mais comme la densité d'énergie diminue comme R^{-4} tandis que R augmente, elle a été supplantée dans une troisième phase par la matière dont la densité diminue seulement comme R^{-3} . Pour des raisons semblables, dans une quatrième phase l'énergie sombre a pris le relais voici 7 milliards d'années et domine l'Univers actuel. Son effet est d'accélérer l'expansion, moins rapidement cependant que durant l'inflation. Nul ne sait où elle nous conduira, puisqu'on ignore sa vraie nature et que l'on ne connaît pas sa loi de variation au cours du temps. On peut néanmoins esquisser trois scénarios.

Une énergie sombre constante (*en orange*) dominera de plus en plus la balance énergétique de l'Univers, et l'expansion observée de l'espace continuera à accélérer jusqu'à devenir exponentielle. Les structures qui ne sont pas déjà reliées gravitationnellement vont se briser et leurs parties vont s'éloigner les unes des autres à des vitesses apparentes supérieures à celle de la lumière. L'accélération nous empêchera finalement d'observer des portions importantes de l'Univers qui est aujourd'hui visible. Néanmoins, les structures liées gravitationnellement, comme les galaxies et les systèmes

planétaires, le resteront. Ainsi, le système solaire ou la Voie lactée demeureront essentiellement identiques à ce qu'ils sont maintenant, alors que le reste de l'Univers semblera s'enfuir loin de nous. Ce scénario dit du « Big Chill » (« Grand Refroidissement ») est, dans l'état actuel de nos connaissances, le plus plausible.

Avec une densité d'énergie sombre diminuant (*en blanc*) dans le futur (c'est le modèle de quintessence), la matière peut redevenir dominante. L'horizon cosmique grandira, nous révélant une part toujours plus grande de l'Univers. La gravité attractive l'emportera à nouveau et l'expansion non seulement cessera d'accélérer, mais s'inversera et l'Univers se contractera dans son ensemble pour disparaître dans un « Big Crunch » (« Grand Effondrement ») pouvant survenir dans 18 milliards d'années.

Si l'énergie sombre augmente (*en bleu*) au cours du temps, ou si elle est dominée par l'énergie fantôme fortement répulsive, l'espace se dilatera à un rythme sans cesse accru, et l'accélération sera elle-même accélérée. En ce cas, l'issue sera un « Big Rip » (« Grand Déchirement »), advenant lorsque l'accélération deviendra infinie au bout d'un temps fini. Toute la matière de l'Univers, même les atomes, sera déchirée par la dilatation de l'espace. D'après le scénario le plus extrême, cet événement se produira dans « à peine » 22 milliards d'années. D'abord les galaxies seront séparées les unes des autres et les amas se dissoudront. Environ 60 millions d'années avant le Big Rip, la gravité sera trop faible pour maintenir la cohésion de notre galaxie, qui se dispersera ; trois mois avant, le système solaire sera déchiré ; dans les dernières minutes, étoiles et planètes seront déchiquetées, et 10^{-19} seconde avant, les atomes et les noyaux seront eux-mêmes détruits, laissant un Univers vide et sans aucune structure.

