

Depuis 1998, l'accélération de l'expansion de l'Univers reste inexpliquée, car rien dans le modèle standard ne permet de la comprendre. Faut-il miser sur une constante cosmologique ? Ou plutôt sur les effets d'une énergie sombre aux propriétés de caméléon ?



© shank_99/shutterstock.com et nana_totosol/shutterstock.com

Matière et lumière : dès les années 1930, Albert Einstein et Willem de Sitter ont posé sur ces deux piliers les bases de la cosmologie physique, l'une et l'autre se diluant à mesure que l'Univers s'étendait. En regardant vers le passé, Georges Lemaître avait postulé au même moment l'existence du Big Bang, la singularité initiale dont notre Univers semble issu. Plus tard, l'origine de la formation des éléments, comme les atomes, avait été parfaitement incluse dans ce cadre. Seule l'observation de la dynamique des étoiles lointaines avait commencé à bousculer ce bel ordonnancement, et à poser la question délicate de l'origine de la matière noire qui semble englober d'un halo chaque galaxie.

Dans ce contexte, autant dire que bien peu de scientifiques s'attendaient aux surprises de 1998. Cette année-là, deux équipes distinctes, mais utilisant le même marqueur céleste – la fin de vie d'un couple d'étoiles, les supernovæ de type Ia –, concluent dans le même sens : l'expansion de l'Univers s'accélère ; elle est plus rapide aujourd'hui qu'à l'origine. Depuis, physiciens, astronomes et astrophysiciens cherchent non seulement à en comprendre la cause, mais guettent aussi d'autres phénomènes dans lesquels le même mécanisme se manifesterait. C'est ainsi que la notion d'«énergie sombre» a émergé comme une réponse possible au calcul, sur la base des observations de 1998, qu'environ 70 % du contenu énergétique de l'Univers ne pouvait être constitué ni de matière ni de rayonnement. Adieu le diptyque «matière et lumière» !

L'énergie sombre serait un fluide uniforme distribué dans les moindres recoins de l'Univers. Elle est désormais traquée en utilisant toute la panoplie des observations et expériences que l'ingéniosité de la science peut déployer. Mais rien n'est encore venu éclairer notre lanterne.

UNE SURPRISE PAS SURPRENANTE

Si cette découverte fut une surprise observationnelle, la possibilité que l'expansion de l'Univers puisse accélérer n'était pas une nouveauté. C'est même un sujet qui fit débat il y a cent ans lorsque les physiciens commencèrent à s'intéresser à l'évolution temporelle de l'Univers en utilisant les toutes nouvelles lois de la gravitation qu'Einstein avait édictées en 1915 et réunies sous le nom de «relativité générale». Dès 1919, de Sitter avait montré qu'un Univers vide, mais où existait une constante dite «cosmologique positive», serait en accélération éternelle. En d'autres termes, son taux d'expansion, qui mesure la façon dont deux galaxies s'éloignent l'une de l'autre au cours du temps, croîtrait indéfiniment : l'Univers semblerait lancé dans une course folle toujours plus rapide. Et tout ceci simplement à cause de la constante cosmologique.

Il faut se souvenir qu'Einstein avait introduit cet addenda à la relativité générale en 1917 pour une raison exactement opposée. En effet, selon sa conception très aristotélicienne, l'Univers possédait une géométrie sphérique, était composé de matière et était statique dans le temps. Pour qu'un tel Univers soit solution des

équations de la relativité générale, adjoindre à cette théorie un terme était indispensable : ainsi est née la constante cosmologique. C'est Alexandre Friedmann, au début des années 1920, qui résoudra les équations de la relativité générale en présence de matière et d'une constante cosmologique et montrera que, contrairement à ce qu'Einstein avait postulé, la relativité générale avait presque toujours pour solution des univers en expansion. Cela fut confirmé par l'observation du mouvement des galaxies peu de temps après en 1927 par Edwin Hubble et Georges Lemaître. La constante cosmologique semblant privée de toute raison d'être, Einstein et de Sitter proposèrent en 1932 un modèle d'Univers fait de radiations et de matière, mais dépourvu de constante.

Néanmoins, dès 1928, les physiciens Wolfgang Pauli et Pascual Jordan furent les premiers à tenter de donner une origine physique à la constante cosmologique en la reliant à l'énergie du vide. En effet, en mécanique quantique, le vide n'est pas l'absence de tout phénomène physique ; à chaque instant des paires particule-antiparticule apparaissent et disparaissent. Le bilan de ce foisonnement est qu'en moyenne, le vide possède une énergie et que celle-ci joue pour l'Univers le même rôle qu'une constante cosmologique. Cette observation est d'une richesse que les physiciens n'ont pas encore complètement exploitée.

Malheureusement, le calcul de cette énergie du vide par Pauli et Jordan donne un résultat si grand que, si on l'appliquait à l'Univers statique d'Einstein, celui-ci tiendrait entre la Terre et la Lune. Cet échec retentissant a conduit les cosmologues à se cacher la tête dans le sable pendant

— En bref —

> En 1998, une accélération de l'expansion de l'Univers a été mesurée sans qu'on puisse l'expliquer.

> Avec l'hypothèse d'une constante cosmologique, débattue dès le début du ^{xx} siècle et toujours défendue, cette accélération serait une propriété intrinsèque de l'Univers.

> Selon une autre hypothèse, l'Univers subirait l'effet d'une énergie sombre dont la physique reste inconnue.

> Les champs de matière sombre pourraient agir différemment selon les échelles et la densité de matière, s'adaptant ainsi à leur environnement. Cette hypothèse porte le nom de « champ caméléon ».

des décennies. Aujourd'hui encore, ils sont toujours dans l'incapacité de calculer l'énergie du vide dans le cadre du modèle standard. Seule une théorie complète comme pourrait l'être la théorie des cordes le rendrait possible. En pratique, c'est encore loin d'être faisable.

Pourtant, la nécessité d'une constante cosmologique avait commencé à faire son retour dès la fin des années 1950, quand l'astronome Allan Sandage montra que l'âge de certaines étoiles semblait être plus grand que celui déduit du modèle d'Univers d'Einstein-de Sitter. Ce paradoxe est levé s'il existe une constante cosmologique. Les observations depuis 1998 lui ont d'ailleurs donné une valeur : elle est incroyablement petite, 29 ordres de grandeur plus petite même que la densité de l'eau. Rien dans les théories de la physique subatomique ne permet de rendre compte d'une telle valeur, si ténue qu'elle pourrait mettre la cosmologie dans une impasse théorique.

UNE PRESSION NÉGATIVE

Cependant, même si la constante cosmologique rend compte des observations, il est tout à fait envisageable que l'accélération soit liée non à une propriété immuable de l'Univers, mais à un phénomène dont l'accélération serait la conséquence. Par exemple, une nouvelle forme d'énergie, qui dicterait la dynamique de l'Univers actuel : la fameuse énergie sombre. Aucune théorie n'en existe encore, et seules certaines de ses caractéristiques sont connues.

Aux plus grandes échelles comme celles du cosmos, elle se comporte comme un fluide