

Dans l'allégorie de la caverne, Platon imagine la perception du monde de prisonniers qui ont passé toute leur vie enchaînés face à un mur au fond d'une sombre caverne. Derrière eux, une flamme projette l'ombre de différents objets sur le mur. Ces ombres bidimensionnelles sont les seules choses que les prisonniers ont jamais vues – elles sont leur seule réalité. Leurs chaînes les ont empêchés de voir le monde réel, qui a une dimension de plus que le monde qu'ils connaissent, une dimension riche de complexité dont la connaissance leur permettrait de comprendre ce qu'ils voient. Et si l'allégorie de Platon s'appliquait à la cosmologie ?

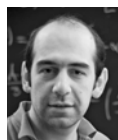
Il se peut que nous vivions dans une gigantesque caverne cosmique, créée aux tout premiers instants de l'Univers. Dans le scénario classique, l'Univers émerge d'un Big Bang issu d'un état infiniment dense. Ce scénario explique de nombreuses observations et offre une vision cohérente du monde que nous voyons, mais il n'est pas exempt de difficultés. Il est crucial de comprendre les limites de ce modèle et de chercher à les résoudre tout en préservant ses succès.

Nous nous sommes intéressés à la question du commencement du Big Bang, qui recèle une partie de ces difficultés, et nous avons élaboré un scénario alternatif. Dans ce dernier, l'Univers remonterait à une époque antérieure au Big Bang, où il existait une dimension spatiale supplémentaire. Ce proto-univers pourrait avoir laissé des traces visibles que de prochaines observations astronomiques permettraient peut-être de découvrir.

L'Univers nous paraît occuper trois dimensions d'espace et une de temps, une géométrie que nous qualifierons d'« univers tridimensionnel ». Dans notre scénario, cet univers tridimensionnel ne serait que l'ombre d'un monde à quatre dimensions spatiales. Plus précisément, l'Univers serait né par l'effondrement d'une étoile en fin de vie quelque part dans ce proto-univers. L'implosion aurait créé un trou noir quadridimensionnel, dont l'enveloppe tridimensionnelle serait notre Univers.

Ce modèle semble particulièrement tiré par les cheveux. Pourtant, il ne s'agit pas uniquement de spéculations gratuites. Ce scénario est solidement ancré dans les mathématiques qui décrivent l'espace et le temps.

## ■ LES AUTEURS



**Niayesh AFSHORDI** est chercheur en cosmologie et astrophysique à l'Université de Waterloo et à l'Institut Périclète de physique théorique, dans l'Ontario au Canada.



**Robert MANN** est professeur de physique et d'astronomie à l'Université de Waterloo et affilié à l'Institut Périclète.



**Razieh POURHASAN** a étudié à l'Université de Shiraz, en Iran, et est doctorante à l'Université de Waterloo et à l'Institut Périclète.



NASA/JPL-Caltech

## Du cataclysme au trou noir

**Quand une étoile massive en fin de vie explose, elle engendre un trou noir et forme un nuage de gaz et de poussière, un « vestige de supernova » (en rouge à gauche). Dans un univers de dimensionnalité supérieure, un tel processus pourrait avoir donné naissance à notre Univers et son espace tridimensionnel.**

Ces dernières décennies, les physiciens ont développé une théorie, dite du principe holographique, qui présente une analogie avec l'holographie classique – qui permet d'enregistrer les informations d'un volume sur une surface à deux dimensions. Le principe holographique a conduit à l'élaboration de techniques mathématiques qui permettent aux physiciens de traduire une situation complexe en une autre dont la description est plus simple. Ce genre de transformation mathématique s'accompagne d'un changement du nombre de dimensions d'espace entre les deux descriptions. Par exemple, les chercheurs peuvent résoudre des équations de la dynamique des fluides en deux dimensions, et utiliser ces solutions pour comprendre ce qui se passe dans un système beaucoup plus complexe, tel qu'un trou noir tridimensionnel. Mathématiquement, les deux descriptions sont interchangeables ; le fluide est un analogue parfait du trou noir.

## L'holographie, pour décrire les trous noirs

Les succès du principe holographique ont convaincu de nombreux physiciens qu'il ne s'agit pas d'une simple transformation mathématique. Peut-être les règles du cosmos sont-elles écrites dans un autre jeu de dimensions et traduites dans les trois que nous percevons. Peut-être, comme les prisonniers de Platon, croyons-nous à tort que l'espace est tridimensionnel alors qu'en réalité, il existe une quatrième dimension dont la prise en compte permettrait de mieux comprendre l'Univers.

La seconde raison pour laquelle cet univers quadridimensionnel présente de l'intérêt est que son étude détaillée pourrait nous aider à répondre à des questions cruciales sur l'origine et la nature du cosmos. Prenons par exemple le Big Bang. Il aurait été immédiatement suivi par l'« inflation », une période d'expansion rapide de l'espace au cours de laquelle le volume de l'Univers primordial a été multiplié d'un facteur  $10^{78}$ , voire beaucoup plus. Mais cette expansion n'apporte aucune information sur l'origine du Big Bang et pose elle-même des questions. En revanche, notre univers quadridimensionnel nous dit comment le Big Bang a commencé et nous dispense de la période inflationnaire.

Les cosmologistes décrivent l'histoire de l'Univers – en partant d'aujourd'hui et en

remontant jusqu'à une fraction de seconde après le Big Bang – à partir de quelques équations (dont celles de la relativité générale) et cinq paramètres indépendants. Ces paramètres incluent les densités de la matière ordinaire, de la matière noire et de l'énergie sombre (dont nous parlerons plus en détail plus loin), ainsi que l'amplitude et la forme des fluctuations quantiques dans l'Univers primordial. Ce modèle cosmologique décrit avec succès de nombreuses observations qui correspondent à des milliers de points de mesure, couvrant des échelles allant d'un million à dix milliards d'années-lumière, jusqu'à la limite de l'Univers observable.

Cependant, ces succès observationnels ne signifient pas que notre tâche est terminée. L'histoire de l'Univers est criblée de trous gênants. Nous sommes confrontés à des questions fondamentales sur la nature du cosmos, des problèmes auxquels jusqu'à maintenant nous n'avons pas été capables de répondre.

Par exemple, si l'on considère le contenu de l'Univers, les observations cosmologiques ont montré que la matière ordinaire ne représente que l'équivalent de 5 % de la densité totale d'énergie de l'Univers. La matière noire, une forme inconnue de matière dont on déduit l'existence à partir de ses effets gravitationnels, représente 25 %. Et les 70 % restants de l'Univers sont constitués d'énergie sombre, de nature non identifiée et qui serait à l'origine de l'accélération de l'expansion de l'Univers (alors que l'attraction gravitationnelle nous faisait initialement penser que l'expansion de l'Univers devait ralentir).

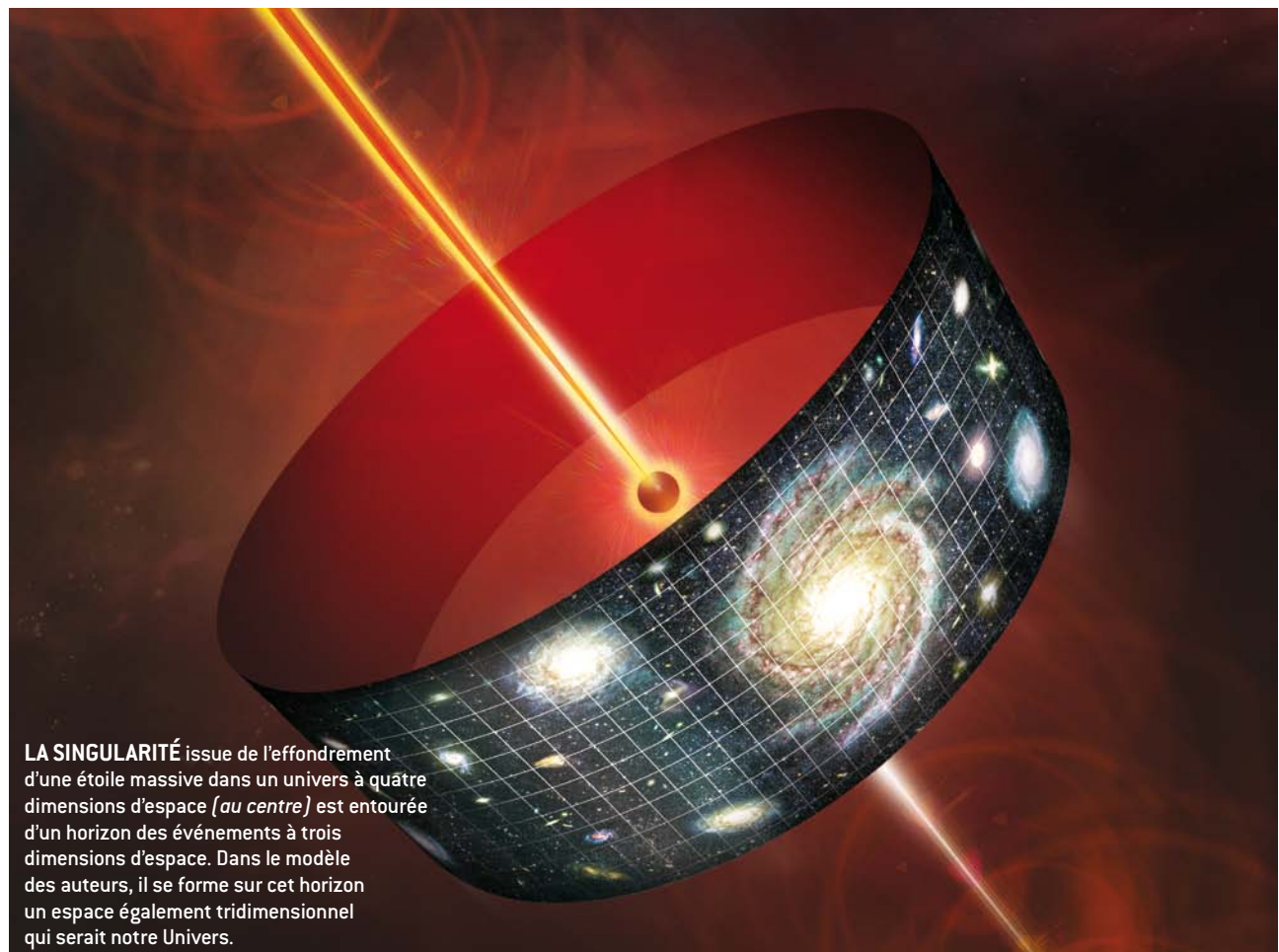
## Le Big Bang : beaucoup de questions

Que sont exactement la matière noire et l'énergie sombre, et pourquoi représentent-elles respectivement 25 % et 70 % de l'Univers ? Il existe diverses hypothèses quant à leur nature, mais cela n'explique pas pourquoi leurs caractéristiques doivent être

si finement ajustées pour être en accord avec les observations.

Le contenu de l'Univers n'est pas la seule source de questions. Depuis des décennies, les cosmologistes étudient le rayonnement du fond diffus cosmologique, rayonnement émis alors que l'Univers était âgé de 370 000 ans et qui garde l'empreinte des fluctuations de densité de l'Univers primordial. Les observations récentes du fond diffus par le satellite *Planck* de l'Agence spatiale européenne montrent que la température correspondant à ce rayonnement est uniforme dans tout le ciel ; les variations sont de faible amplitude, de l'ordre d'une partie pour 60 000. En considérant les distances qui séparent les différentes régions et la vitesse d'expansion de l'Univers, certaines de ces régions n'ont été à aucun moment en contact ; comment alors expliquer cette uniformité ?

L'étude du fond diffus cosmologique montre aussi que l'Univers a une courbure spatiale plate à grande échelle (géométrie



Kerri Brown, Mandelbrot Studios