

# **Pour la vie sur Mars, on ne sait pas encore. Pour les cinq vies du papier, c'est sûr.**

La force de tous les papiers, c'est de pouvoir être recyclés  
au moins cinq fois en papier. Cela dépend de chacun de nous.  
[www.recyclons-les-papiers.fr](http://www.recyclons-les-papiers.fr)

Tous les papiers ont droit à plusieurs vies.  
Trions mieux, pour recycler plus !



La presse écrite s'engage pour le recyclage  
des papiers avec Ecofolio.



# Le trou noir à l'origine du Big Bang

Le Big Bang et l'Univers qui en est issu pourraient être la conséquence de la formation d'un trou noir dans un espace à quatre dimensions.

Ce scénario résoudrait certaines difficultés de la cosmologie.

Niayesh Afshordi, Robert Mann  
et Razieh Pourhasan



## L'ESSENTIEL

- Les cosmologistes ont reconstitué l'histoire précise de l'Univers. Mais quelques questions fondamentales n'ont pas trouvé de réponses.
- L'un de ces mystères est la nature du Big Bang lui-même : l'origine de l'Univers à partir d'un état de densité infinie.
- Les auteurs ont conçu un modèle qui expliquerait comment le Big Bang a pu se produire.
- Ce modèle fait apparaître l'Univers comme la conséquence de l'effondrement d'un astre dans un univers à quatre dimensions d'espace.

© Getty Images/Mark Garlick (artist's conception)

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 ?

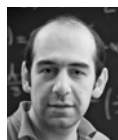
Il se peut que nous vivions dans une gigantesque caverne cosmique, créée aux tout premiers instants de l'Univers. Dans le scénario classique, l'Univers émerge d'un Big Bang issu d'un état infiniment dense. Ce scénario explique de nombreuses observations et offre une vision cohérente du monde que nous 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).

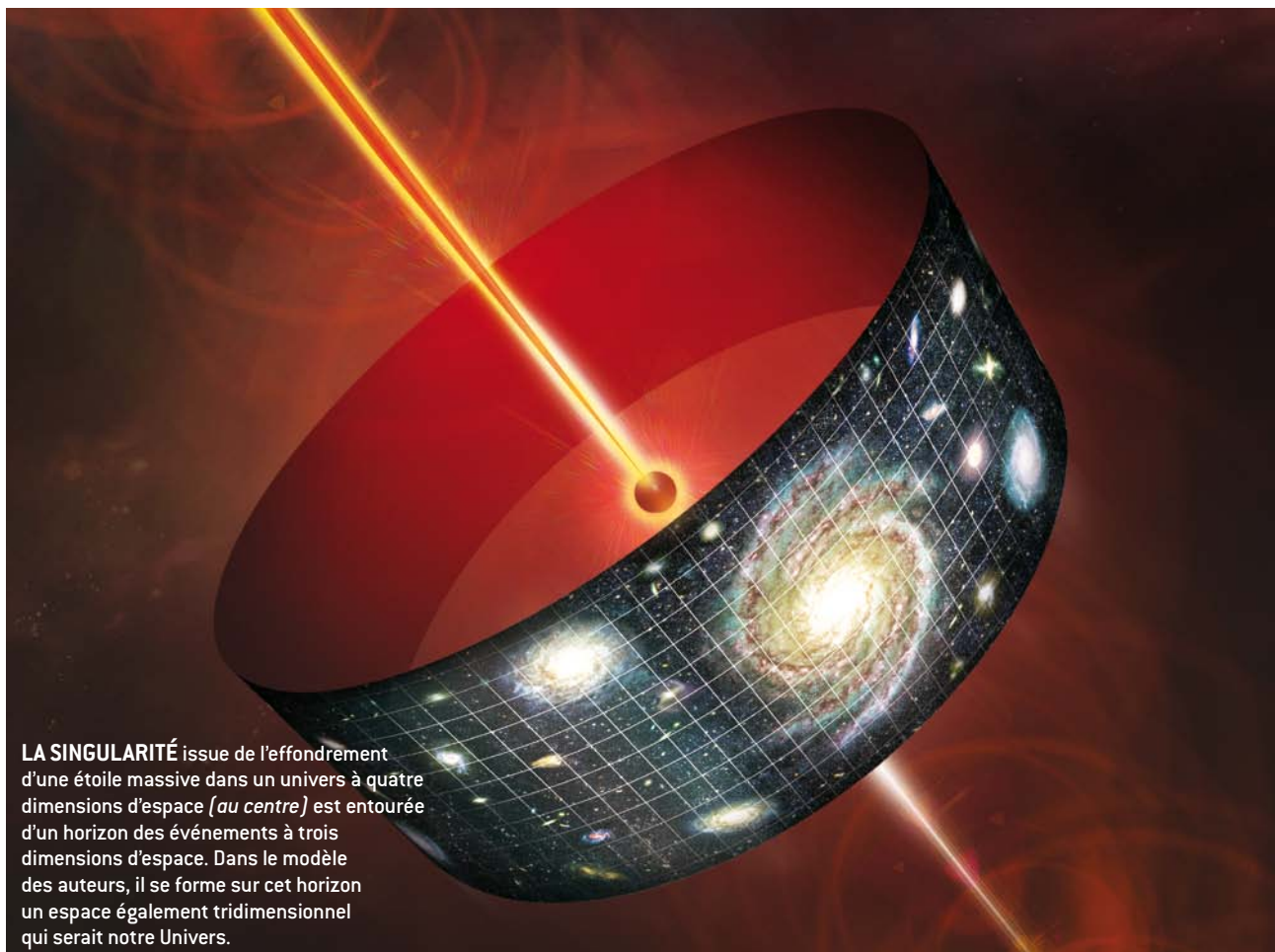
## Le Big Bang : beaucoup de questions

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

où la somme des angles d'un triangle vaut 180 degrés). Pourquoi l'Univers est-il dans cette configuration si particulière ? Pourquoi sa géométrie ne serait-elle pas sphérique ou hyperbolique (configurations où la somme des angles d'un triangle est, respectivement, supérieure ou inférieure à 180 degrés) ?

## Inflation énigmatique

Peut-être pourrions-nous espérer des réponses si nous comprenions mieux le Big Bang. Il est très difficile en particulier d'imaginer comment l'Univers des premiers instants après le Big Bang a pu donner lieu à celui que nous observons aujourd'hui – un cosmos à la température presque uniforme et dont l'espace est euclidien, c'est-à-dire de courbure nulle.

L'inflation cosmique, cette phase d'expansion rapide dans les premiers instants de l'Univers, est une approche efficace pour expliquer la structure à grande échelle de l'Univers. L'inflation aurait tendance à «aplatir» l'Univers, lissant toutes les régions incurvées de l'espace-temps ; en raison de cette expansion rapide, certaines régions de l'Univers, qui semblaient trop éloignées pour avoir été en contact, ont pu l'être, ce qui explique l'homogénéité de température du fond diffus cosmologique. Et, telle une loupe cosmique, l'inflation a amplifié les minuscules fluctuations quantiques de densité jusqu'à des tailles cosmiques. Ces fluctuations sont devenues les germes à partir desquels des structures telles que les galaxies et les étoiles ont émergé.

On considère généralement l'inflation comme un paradigme très fructueux. Mais

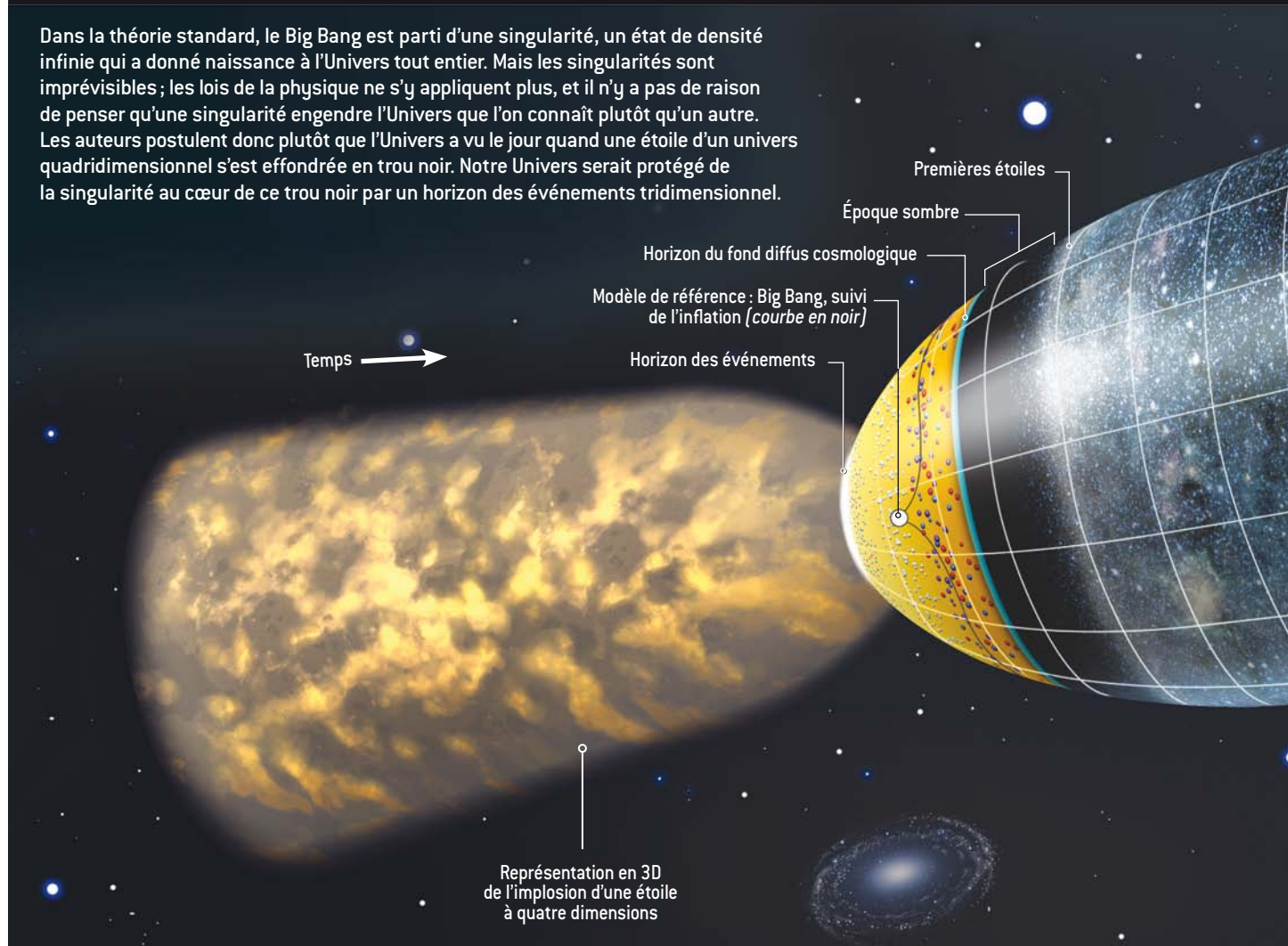
comment l'inflation s'est-elle déclenchée ? Beaucoup d'énergie était nécessaire. Selon le modèle standard, l'Univers primordial aurait pu contenir cette énergie sous la forme d'inflatons, des particules hypothétiques. Mais l'inflaton ne résout pas pour autant nos problèmes ; il les repousse juste d'un cran.

Il nous manque aussi une description satisfaisante de l'histoire de notre cosmos avant l'époque inflationnaire, ces premiers  $10^{-36}$  seconde après le Big Bang. Ici, les phénomènes quantiques deviennent si importants que les équations de la relativité générale ne sont plus appropriées. Une théorie quantique de la gravitation est requise, et elle manque encore.

Le plus grand défi de la cosmologie est de comprendre le Big Bang lui-même, l'émergence subite et violente de l'espace, du temps et de toute la matière à partir

### AVANT LE BIG BANG

Dans la théorie standard, le Big Bang est parti d'une singularité, un état de densité infinie qui a donné naissance à l'Univers tout entier. Mais les singularités sont imprévisibles ; les lois de la physique ne s'y appliquent plus, et il n'y a pas de raison de penser qu'une singularité engendre l'Univers que l'on connaît plutôt qu'un autre. Les auteurs postulent donc plutôt que l'Univers a vu le jour quand une étoile d'un univers quadridimensionnel s'est effondrée en trou noir. Notre Univers serait protégé de la singularité au cœur de ce trou noir par un horizon des événements tridimensionnel.



d'un état infiniment dense que l'on nomme une singularité. En présence d'une singularité, toutes les lois de la physique deviennent caduques. Nous n'avons pas les outils pour décrire ce qui s'y passe et nous n'avons aucune raison de penser qu'une singularité engendrerait un univers ordonné comme celui que nous voyons. On s'attendrait plutôt à l'émergence d'un univers extrêmement chaotique, dont le fond diffus cosmologique serait marqué par d'énormes fluctuations de température d'un point à un autre. L'inflation serait-elle suffisante pour lisser les fluctuations? De surcroît, si ces fluctuations sont trop grandes, l'inflation pourrait-elle s'amorcer? Les problèmes d'une singularité ne peuvent pas être résolus par la seule inflation.

Les singularités sont étranges, mais elles ne nous sont pas tout à fait incon-

**Au niveau d'une singularité, les lois de la physique sont caduques. Nous n'avons pas les outils mathématiques pour décrire ce qui s'y passe.**

nues. En effet, il s'en forme également au centre des trous noirs, ces vestiges d'étoiles géantes effondrées. Toutes les étoiles sont des fournaies nucléaires où fusionnent les éléments légers (principalement de l'hydrogène). Ce processus de fusion nucléaire alimente une étoile pendant la majeure partie de son existence et s'oppose à l'effondrement gravitationnel. Cependant, vers la fin de sa vie, l'astre a épuisé tout son combustible nucléaire et la gravité prend le dessus. Une étoile au moins dix fois plus massive que le Soleil s'effondre sur elle-même avant d'exploser en supernova. Si l'étoile est encore plus grosse (plus de 15 masses solaires), la supernova laisse derrière elle un cœur dense qui connaît un effondrement que rien n'arrête, se contractant jusqu'à un point de taille nulle: une singularité qui forme un trou noir.

La singularité du trou noir est cachée par une surface bidimensionnelle que l'on nomme l'horizon des événements. Ce dernier marque une limite de non-retour: toute matière qui franchit cette frontière ne peut plus s'échapper du trou noir, car il lui faudrait une vitesse supérieure à celle de la lumière. La matière est alors inexorablement attirée vers la singularité. L'intérieur de l'horizon des événements est coupé du reste de l'Univers.

## Un horizon pour le Big Bang

Comme avec la singularité du Big Bang, les lois de la physique ne s'appliquent plus à la singularité du trou noir. Mais contrairement au Big Bang, un trou noir est entouré d'un horizon des événements. Cette surface se comporte comme une protection: elle empêche toute information concernant la singularité de fuir. L'horizon des événements du trou noir protège les observateurs extérieurs des effets catastrophiquement imprévisibles de la singularité (on parle de censure cosmique).

Enveloppée par un horizon des événements, la singularité ne perturbe pas les lois de la physique qui décrivent et prédisent tout ce que nous observons. Vu de loin, un trou noir est une structure très simple, lisse et uniforme, définie par sa masse, son moment cinétique et sa charge électrique. Les physiciens disent de façon imagée que «le trou noir n'a pas de cheveux»: il n'a aucun signe distinctif en dehors des trois grandeurs citées.



Notre Univers tridimensionnel correspond ici à l'enveloppe bidimensionnelle de la figure.

George Ritzback

En revanche, la singularité du Big Bang (telle qu'on la comprend) n'est pas masquée par un horizon des événements. C'est ce constat qui nous a mis sur la piste de notre modèle. Nous avons cherché un moyen de nous abriter de la singularité du Big Bang et de son imprévisibilité catastrophique, peut-être avec quelque chose qui s'apparente à un horizon des événements.

## Effondrement extradimensionnel

Dans notre scénario, l'enveloppe qui entoure la singularité du Big Bang se distingue d'un horizon des événements par une caractéristique essentielle. Puisque nous percevons que notre Univers a trois dimensions spatiales et que celui-ci émerge du Big Bang, l'enveloppe de la singularité au cœur du Big Bang doit également avoir trois dimensions spatiales, et non deux comme l'horizon des événements d'un trou noir. Mais pour que l'horizon des événements soit tridimensionnel, l'objet qui s'effondre en trou noir doit avoir une dimension d'espace de plus, c'est-à-dire qu'il doit avoir quatre dimensions. Ce scénario implique donc que l'objet en question existe dans un univers doté de quatre dimensions d'espace.

L'idée de modèles à dimensions supplémentaires, où le nombre de dimensions d'espace excède les trois qui nous sont évidentes, est presque aussi ancienne que la relativité générale elle-même. Elle a été initialement proposée par le physicien allemand Theodor Kaluza en 1919, et étendue par le Suédois Oskar Klein dans les années 1920. Leur idée initiale était d'unifier dans un même formalisme l'électromagnétisme et la relativité générale. Cette piste a finalement été abandonnée et l'idée de dimensions supplémentaires n'a retrouvé un réel élan que dans les années 1980, avec le développement de la théorie des cordes. Plus récemment, les scientifiques l'ont utilisée pour construire une cosmologie des univers dits branaires.

L'idée essentielle d'un univers branaire est que notre Univers tridimensionnel est un sous-univers qui s'inscrit dans un univers plus vaste, ayant quatre dimensions spatiales ou plus. L'Univers tridimensionnel est ce qu'on nomme une brane, et l'univers de dimensionnalité supérieure est l'espace complet, ou *bulk* en anglais. Toutes les formes connues de matière et d'énergie

## Les modèles cosmologiques originaux enrichissent la

**L'**Univers pourrait avoir plus de trois dimensions d'espace. L'idée n'est pas nouvelle : elle remonte aux années 1920. Ce n'est que plus récemment que pléthore de modèles cosmologiques à dimensions supplémentaires ont été imaginés.

Le scénario envisagé par les auteurs de l'article s'inscrit dans cette lignée, tout en présentant son lot d'idées originales. L'un des points forts est sa façon de traiter la singularité primordiale. Comme les lois physiques sont incapables de rendre compte du comportement d'une singularité, il est souhaitable d'éviter que celle-ci influe sur la structure actuelle de l'Univers. Dans la cosmologie standard, cet écueil est contourné par une phase d'inflation, qui n'a besoin que d'une petite portion d'espace

assez régulière pour opérer et qui va grossir considérablement pour donner naissance à la vaste région qui englobe notre Univers observable. Il est en général admis que ces conditions favorables à l'émergence d'une phase d'inflation ne préjugent pas de façon critique de la physique de la singularité, mais on peut tout de même considérer cette singularité comme problématique.

Ici, on suppose que la singularité du Big Bang résulte d'un effondrement gravitationnel dans un espace-temps à cinq

dimensions. Cela ne résout pas notre incapacité à décrire une singularité, mais, au moins, cette singularité-là ne peut influencer sur le devenir de l'Univers.

Qu'en est-il du point de vue observationnel ? Technique-ment, les fluctuations de densité issues du modèle des auteurs sont invariantes d'échelle, c'est-à-dire que leur amplitude typique ne dépend pas de leur longueur d'onde. Or les données du satellite *Planck* indiquent que les fluctuations présentes dans l'Univers sont presque, mais pas tout à fait, invariantes d'échelle. Si l'écart à l'invariance d'échelle est effectivement faible (les 4 % mentionnés par les auteurs), il

sont emprisonnées dans notre brane à trois dimensions. L'exception est la gravité, qui se propage dans l'ensemble du bulk.

Dans notre scénario, le bulk est notre univers à quatre dimensions. Il est rempli d'objets tels que des étoiles, des galaxies quadridimensionnelles, etc. Une de ces étoiles en fin de vie pourrait alors s'effondrer et former un trou noir, suivant le même mécanisme qui est à l'œuvre dans notre Univers à trois dimensions.

À quoi ressemblerait un trou noir quadridimensionnel ? Il serait lui aussi doté

### CE MODÈLE N'A PLUS BESOIN de l'inflation, car l'univers à quatre dimensions d'espace qu'il suppose est antérieur au Big Bang.

d'un horizon des événements, une surface de non-retour ne laissant s'échapper aucune matière ou lumière. Mais au lieu d'être une surface bidimensionnelle comme pour les trous noirs ordinaires, cet horizon des événements serait une région tridimensionnelle.

Plus intéressant, en modélisant l'effondrement d'une étoile quadridimensionnelle à l'aide du principe holographique, nous avons remarqué que, dans des circonstances très diverses, la matière éjectée lors de l'effondrement stellaire peut former une

brane à trois dimensions spatiales sur cet horizon des événements tridimensionnel. Et cette brane est en expansion lente. Notre Univers serait cette brane à trois dimensions spatiales, et correspondrait à un hologramme d'un astre quadridimensionnel s'effondrant en trou noir. La singularité du Big Bang cosmique nous est alors cachée, enfermée pour toujours derrière un horizon des événements tridimensionnel.

Notre modèle a un certain nombre d'arguments en sa faveur, à commencer par le fait qu'il élimine la singularité nue qui a donné naissance à l'Univers. Mais qu'en est-il des autres problèmes cosmologiques, tels que la géométrie presque plate et la grande uniformité du cosmos ? Notre scénario n'a plus besoin de l'inflation : l'univers quadridimensionnel étant

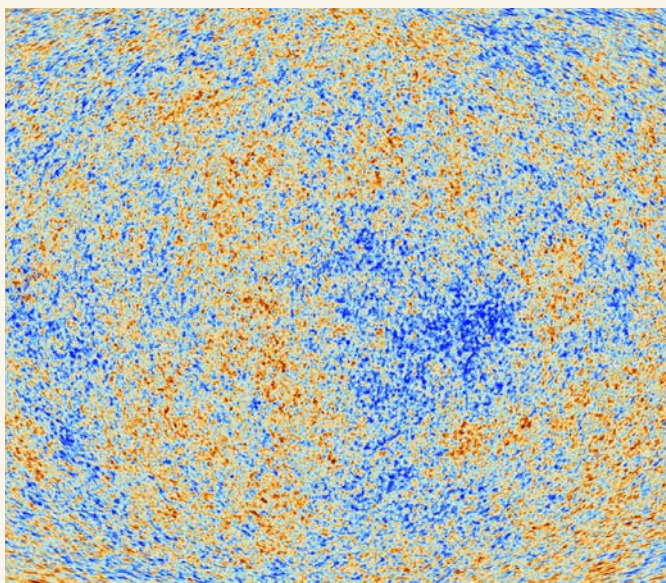
plus ancien que ne l'impose le modèle du Big Bang pour notre Univers, tous les points de l'univers ont pu être en contact et auraient eu le temps d'atteindre l'équilibre (voir l'encadré page 28). Si l'univers complet était homogène, alors notre Univers à trois dimensions spatiales a pu hériter de cette homogénéité. Par ailleurs, plus la masse de l'étoile quadridimensionnelle est importante, plus la brane qu'elle engendre a une géométrie plate, d'où l'on peut conclure que notre Univers est

est réel, ce qui semble irrémédiablement exclure le modèle. Pour s'en sortir, les auteurs invoquent une éventuelle instabilité gravitationnelle dans l'espace-temps à cinq dimensions qui pourrait augmenter l'amplitude des fluctuations de grande longueur d'onde, conformément aux contraintes observationnelles. Mais cet ajout pourrait produire des fluctuations non gaussiennes, c'est-à-dire que trop de fluctuations ont une amplitude qui dépasse la valeur typique qu'elles devraient avoir. Or là aussi, les données de *Planck* ne voient pas la trace d'un caractère non gaussien.

D'une façon générale, l'impact de ces approches théoriques est complexe à évaluer. Celles-ci

traitent certains des problèmes du modèle standard de la cosmologie, mais de nouvelles difficultés émergent par ailleurs. Comment savoir s'il s'agit d'une amélioration ? Deux aspects sont à prendre en compte : les données expérimentales et l'impact auprès de la communauté des chercheurs. Il semble que la piste présentée n'ait pas encore eu d'échos. Mais de tels travaux ne sont pas pour autant stériles. L'imagination des théoriciens permet de défier le modèle standard, de l'enrichir, d'ouvrir des pistes à explorer, quitte à montrer que le scénario standard est, en fin de compte, plus satisfaisant que les idées concurrentes.

– **Alain Riazuelo**  
Institut d'astrophysique de Paris



**LE RAYONNEMENT DU FOND DIFFUS COSMOLOGIQUE** pose des contraintes importantes sur le modèle standard du Big Bang et les pistes alternatives.

plat parce qu'il émerge de l'effondrement d'une étoile très massive.

Ainsi, notre modèle de Big Bang holographique non seulement résout les principales énigmes de la cosmologie standard (l'uniformité et la géométrie presque plate) sans recourir à l'inflation, mais il supprime aussi les effets délétères de la singularité initiale.

### Un scénario que l'on peut tester

La question qui subsiste est : peut-on savoir si ce scénario est correct ? Une des possibilités est d'étudier les détails du rayonnement du fond diffus cosmologique. À l'extérieur de notre brane, l'espace complet contient de la matière, qui serait attirée dans le voisinage du trou noir du fait de l'attraction gravitationnelle. Nous pouvons montrer que ce supplément de matière crée des fluctuations sur la brane qui vont à leur tour déformer le fond diffus dans des proportions faibles, mais mesurables. Nos calculs dans le cadre de ce scénario diffèrent d'environ quatre pour cent par rapport aux dernières données du satellite *Planck*. Mais cette variation peut aussi être la conséquence d'effets secondaires que nous n'avons pas encore correctement modélisés.

De plus, si le trou noir quadridimensionnel est en rotation (beaucoup de trous

noirs tournent sur eux-mêmes), alors notre brane pourrait ne pas être identique dans toutes les directions. La structure à grande échelle de notre Univers présenterait de petites différences selon les directions d'observation. Les astronomes pourraient aussi détecter cette anomalie en étudiant les variations subtiles dans le fond diffus cosmologique.

Bien sûr, en même temps qu'il résout la question de l'origine de notre Univers, notre scénario soulève toute une série de nouvelles questions. En premier lieu : d'où est issu l'univers qui a donné naissance au nôtre ?

Pour résoudre cette énigme, nous pouvons nous tourner une fois de plus vers Platon. Quand ses prisonniers émergent de leur caverne, la lumière du Soleil les éblouit et ils ne comprennent pas ce qui les entoure. Ils mettent longtemps à s'habituer à la luminosité. Au début, les prisonniers sont juste capables de distinguer les ombres et les reflets. Mais bientôt ils voient aussi la Lune et les étoiles. Enfin, ils arrivent à voir le Soleil et faire sens du jour, de la nuit et des saisons. Ils comprennent aussi la nature des ombres qu'ils voyaient, mais sans savoir d'où vient la puissance du Soleil, tout comme nous ne comprenons pas l'univers complet quadridimensionnel. Mais au moins ils savent où chercher les réponses. ■

### ■ BIBLIOGRAPHIE

R. Pourhasan *et al.*, **Out of the white hole : a holographic origin for the Big Bang**, *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics*, vol. 2014, article 04(2014)005, 2014 (en accès libre).

J. Maldacena, **La gravité est-elle illusion ?**, *Pour la Science* n° 339, janvier 2006.

G. Veneziano, **L'Univers avant le Big Bang**, *Pour la Science*, n° 320, juin 2004.

# MARTIN GARDNER, le jeu se poursuit

Colm Mulcahy et Dana Richards

**Avec la rubrique mensuelle qu'il a tenue pendant près de 25 ans dans le magazine *Scientific American*, Martin Gardner a marqué le monde des mathématiques récréatives et a inspiré de nombreuses personnes.**

Comme un bon tour de magie, un casse-tête astucieux peut impressionner, révéler des vérités mathématiques et susciter des questions importantes. C'est en tout cas ce que pensait Martin Gardner. Son nom est indissociable de la rubrique mensuelle *Mathematical Games* qu'il rédigea pendant un quart de siècle dans *Scientific American* (et de 1977 à 1981 dans *Pour la Science*). Gardner, qui aurait eu 100 ans en octobre 2014, présentait chaque mois des sujets mathématiques intéressants sous un angle presque magique et, ce faisant, passionnait un vaste lectorat. Nombreux sont ceux qui ont cité la rubrique de Gardner comme ayant joué un rôle décisif dans leur choix de faire carrière en mathématiques ou dans un domaine connexe.

C'était un homme modeste. Gardner n'a jamais recherché les honneurs ni la célébrité. Mais la centaine d'ouvrages qu'il a laissés (reflétant des connaissances très étendues, qui englobaient sciences et humanités) lui ont valu l'attention et le respect de nombreuses personnalités, tels le paléontologue Stephen Jay Gould ou le linguiste Noam Chomsky.

Bien que Gardner ait arrêté sa rubrique régulière au début des années 1980, son influence est toujours présente aujourd'hui.

## L'ESSENTIEL

- Martin Gardner aurait eu 100 ans en octobre de cette année. Il a tenu durant un quart de siècle une rubrique intitulée *Mathematical Games* (jeux mathématiques) qui a fait sa célébrité.
- Des centres d'intérêt très divers, de nombreuses amitiés et une intelligence remarquable lui ont permis de faire découvrir à un vaste lectorat maints sujets importants : chiffrement RSA, jeu de la vie, fractales, pavages de Penrose, etc.
- Sa rubrique a inspiré des générations de mathématiciens professionnels et amateurs, dont certains perpétuent l'héritage.

Il a publié des écrits jusqu'à sa mort en 2010, et l'ensemble de ses admirateurs s'étend sur plusieurs générations. Ses lecteurs organisent encore des réunions en son honneur et en celui des jeux mathématiques, et ils produisent aussi de nouveaux résultats. La meilleure façon d'apprécier ses rubriques pionnières est peut-être de les relire, ou de les lire pour la première fois, selon les cas. Peut-être le présent hommage à ses travaux et aux graines qu'ils ont semées incitera-t-il une nouvelle génération à réfléchir aux raisons pour lesquelles les mathématiques récréatives ont encore une importance en 2014.

## De la logique aux hexafléxagones

Célèbre dans les milieux mathématiques, Gardner n'était pas pour autant un mathématicien de métier. À l'Université de Chicago, au milieu des années 1930, il se spécialisa en philosophie et excella en logique, mais négligea les mathématiques (il assista cependant à un cours d'« Analyse mathématique élémentaire »). Mais il était bien versé dans le domaine des casse-tête numériques et logiques. Son père, géographe, lui fit découvrir Sam Loyd et Henry