

➤ Ainsi, les spécialistes de la théorie des cordes qui, dans les années 1980, pensaient résoudre rapidement le problème de la gravité quantique ont dû revoir leurs objectifs.

L'approche de la gravitation quantique à boucles a été moins ébranlée par ces données récentes. Cependant, les chercheurs travaillant sur cette piste sont moins nombreux et il faut encore fournir un effort considérable pour obtenir des prédictions quantitatives susceptibles d'être confrontées aux expériences.

En particulier, deux phénomènes concentrent une grande partie de l'attention des physiciens. D'abord, la théorie suggère que le Big Bang aurait été un «grand rebond» (*big bounce* en anglais), un résultat obtenu en 2007 par Martin Bojowald, aujourd'hui à l'université d'État de Pennsylvanie. Suivant cette idée, un préunivers aurait été en contraction, s'effondrant sur lui-même. Mais à cause du caractère discret de l'espace, lorsqu'une densité critique a été atteinte, un rebond aurait inversé la dynamique et renvoyé l'Univers en expansion. Le cosmos ne serait donc pas né d'une singularité de densité infinie.

REBONDIR EN TROU BLANC

Suivant une idée similaire, les trous noirs pourraient eux aussi «rebondir» en se transformant en «trous blancs» (des objets prédits par la relativité générale et encore non observés). L'un de nous (Carlo Rovelli) et ses collègues travaillent activement à déterminer des signatures observationnelles de ces rebonds, en particulier dans le fond diffus cosmologique (le rayonnement émis par l'Univers quand il n'avait que 380 000 ans) et dans les rayons cosmiques. Les éventuels trous blancs produits par des trous noirs primordiaux pourraient même être une composante de la mystérieuse matière noire.

Quelle que soit la formulation correcte de la théorie de la gravitation quantique, elle est, en tout cas... quantique! Elle héritera donc des difficultés conceptuelles de la physique quantique, qui seront peut-être même exacerbées. Car ce ne sont pas seulement les particules qui pourront se trouver dans une superposition d'états ou en intrication, mais aussi la géométrie de l'espace-temps elle-même.

Sur la question de l'interprétation de la physique quantique la plus adaptée à la gravité quantique, comme on pouvait s'y attendre, les théoriciens sont divisés. L'idée des mondes multiples est populaire chez une partie des «cordistes», tandis que l'idée que la physique quantique révèle une structure relationnelle de la réalité a plutôt les faveurs des partisans de la théorie des boucles, historiquement plus proche de la relativité générale, laquelle a déjà un fort contenu «relationnel».

Un petit nombre de théoriciens explorent aussi l'idée que la connexion entre les deux problèmes puisse être plus profonde. Par exemple, le physicien et mathématicien britannique Roger Penrose a suggéré que la réduction dynamique puisse être un phénomène d'origine gravitationnel. Cette idée repose sur un fait étrange et intrigant: l'échelle de longueur naturellement associée à la gravitation quantique (la «longueur de Planck») est extrêmement petite et l'échelle d'énergie (l'«énergie de Planck») est extrêmement grande, mais l'échelle de masse naturellement associée à la gravitation quantique (la «masse de Planck») est de l'ordre du microgramme, valeur curieusement proche de celle qui distingue les systèmes «petits» (où les effets quantiques sont manifestes) des systèmes «grands», au comportement classique, non quantique. S'agit-il d'une coïncidence ou de l'indice d'un lien profond entre la gravitation et le problème de l'interprétation de la physique quantique? Nous ne le savons pas encore.

UNE NOUVELLE GÉNÉRATION D'EXPÉRIENCES

Des indices utiles pourraient venir d'expériences en laboratoire qui sont à l'étude et seront peut-être réalisées dans un futur proche. Trois équipes ont ainsi récemment proposé des protocoles qui mettront à l'épreuve la nature quantique de la force gravitationnelle. Le groupe autour de Markus Aspelmeyer, de l'université de Vienne, en Autriche, et Sugato Bose, de l'University College, à Londres, et indépendamment Chiara Marletto et Vlatko Vedral, de l'université d'Oxford, ont proposé des expériences capables de mettre en évidence une superposition quantique de deux géométries différentes de l'espace-temps.

L'idée est d'observer l'intrication quantique de deux particules après avoir mis chacune d'elles dans une configuration qui serait la superposition quantique de deux positions différentes. L'intrication serait alors causée par la superposition quantique de deux versions de la géométrie de l'espace-temps, dues aux différentes positions des particules.

Si l'expérience devait montrer que l'espace-temps ne peut pas se mettre dans une superposition quantique d'états, cela indiquerait une relation nouvelle et profonde entre gravitation et quantique, peut-être dans le prolongement des idées suggérées par Roger Penrose. Si, au contraire, dans le cas que nous pensons le plus probable, l'effet d'intrication est observé, alors celui-ci témoignerait que notre monde n'est pas dessiné sur la toile d'un espace-temps donné: il serait lui-même sujet aux mystères de la physique quantique. ■

BIBLIOGRAPHIE

F. LALOË, *Comprenons-nous vraiment la mécanique quantique?*, EDP Sciences/CNRS (2^e édition), 2018.

S. BOSE ET AL., A spin entanglement witness for quantum gravity, *Phys. Rev. Lett.*, vol. 119(24), article 240401, 2017.

G. GHIRARDI, Collapse theories, *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, E. N. Zalta (ed.), 2016.

C. ROVELLI, *Par-delà le visible : la réalité du monde physique et la gravité quantique*, Odile Jacob, 2015.

**ABONNEZ-VOUS À
POUR LA
SCIENCE**

SCIENCE

2 FORMULES AU CHOIX

	FORMULE PAPIER + HORS-SÉRIE	FORMULE INTÉGRALE
Le magazine papier 12 numéros par an	✓	✓
Le magazine en version numérique 12 numéros par an		✓
Le hors-série papier 4 numéros par an	✓	✓
Le hors-série en version numérique 4 numéros par an		✓
Accès à pouirlascience.fr actus, dossiers, archives depuis 1996		✓
VOTRE TARIF D'ABONNEMENT	79€ Au lieu de 114,40 €	99€ Au lieu de 174,40 €

31 %
de réduction *

43 %
de réduction *

BULLETIN D'ABONNEMENT

À renvoyer accompagné de votre règlement à :

Pour la Science – Service abonnements – 19 rue de l'Industrie – BP 90053 – 67402 Illkirch Cedex – email: pourlascience@abopress.fr

PAG20STDOS



OUI, je m'abonne
pour 1 an à **POUR LA SCIENCE**

1 / Je choisis ma formule (merci de cocher)



**FORMULE PAPIER
+ HORS SÉRIE**

- 12 n° du magazine papier
- 4 Hors-série papier

79€
Au lieu de
~~114,40€~~

P1A79E



FORMULE INTÉGRALE

- 12 n° du magazine (papier et numérique)
- 4 Hors-série (papier et numérique)
- Accès illimité aux contenus en ligne

99€
Au lieu de ~~174,40€~~

11A99E

2 / J'indique mes coordonnées

☐ M. ☐ Mme

Nom: Prénom:

Adresse:

Code postal Ville:

Téléphone

Email : (indispensable pour la formule intégrale)

.....@

J'accepte de recevoir les offres de Pour la Science

☐ OUI ☐ NON

3 / Je choisis mon mode de règlement

☐ Par chèque à l'ordre de Pour la Science☐ Carte bancaire

Nº

--	--	--	--

--	--	--	--

--	--	--	--

--	--	--	--

Date d'expiration Clé (Les 3 chiffres au dos de votre CB)

Signature obligatoire:

* Réduction par rapport au prix de vente en kiosque et l'accès aux archives numériques. Durée d'abonnement: 1 an. Délai de livraison: dans le mois suivant l'enregistrement de votre règlement. Offre valable jusqu'au 31/03/2021 en France métropolitaine uniquement. Pour un abonnement à l'étranger, merci de consulter notre site <https://boutique.pourlascience.fr>. Photos non contractuelles.

Les informations que nous collectons dans ce bulletin d'abonnement nous aident à personnaliser et à améliorer les services que nous vous proposons. Nous les utiliserons pour gérer votre accès à l'intégralité de nos services, traiter vos commandes et paiements, et vous faire part notamment par newsletters de nos offres commerciales moyennant le respect de vos choix en la matière. Le responsable du traitement est la société *Pour la Science*. Vos données personnelles ne seront pas conservées au-delà de la durée nécessaire à la finalité de leur traitement. *Pour la Science* ne commercialise ni ne loue vos données à caractère personnel à des tiers. Les données collectées sont exclusivement destinées à *Pour la Science*. Nous vous invitons à prendre connaissance de notre charte de protection des données personnelles à l'adresse suivante : <https://lebrand.ly/charte-donnees-pls>. Conformément à la réglementation applicable (et notamment au Règlement 2016/679/UE dit « RGPD ») vous disposez des droits d'accès, de rectification, d'opposition, d'effacement, à la portabilité et à la limitation de vos données personnelles. Pour exercer ces droits (ou nous poser toute question concernant le traitement de vos données personnelles), vous pouvez nous contacter par courriel à l'adresse protection-donnees@pourlascience.fr.

L'intrication quantique défie l'intuition physique classique. Elle établit un lien instantané entre deux particules (*en rouge et en bleu*) même si elles sont très distantes l'une de l'autre.