

Selon Samir Mathur, de l'université d'État de l'Ohio, un trou noir ne consisterait pas en une singularité de densité infinie entourée d'un horizon des événements, et ne comporterait pas de mur de feu. Il s'agirait plutôt d'une frontière de l'espace-temps, nommée *fuzzball*, composée de cordes, ces objets élémentaires introduits par la théorie du même nom.

Cette modélisation résout de nombreux problèmes, comme la présence d'une singularité et la non-conservation de l'information. En effet, la surface de la *fuzzball*, structurée par les cordes fondamentales, est rendue floue (*fuzzy* en anglais) par les effets quantiques et est située juste au-delà de la position de l'horizon selon la relativité générale.

Pour certains physiciens, l'absence de singularité et d'horizon rend la *fuzzball* plus proche de l'étoile à neutrons que du trou

noir. Il s'agirait de l'état de la matière le plus compact possible. La surface de la *fuzzball* n'entoure cependant pas un volume de matière répartie dans l'espace, elle marque la fin quantique de ce dernier.

Il existe tout de même certaines similarités avec le trou noir. Samir Mathur a montré que l'aire d'une *fuzzball* de masse donnée est presque identique à celle de l'horizon des événements d'un trou noir classique de même masse. Il a de

plus calculé son entropie, qui correspond à l'agencement des cordes, et a obtenu un résultat voisin de la formule de Bekenstein pour un trou noir.

La *fuzzball* émet par ailleurs un rayonnement dont les caractéristiques rappellent le rayonnement de Hawking des trous noirs. Néanmoins, le trou noir et la *fuzzball* se distinguent par leur description quantique, ce qui est important pour la question de la conservation de l'information.

La difficulté ne se présente pas avec la *fuzzball*, car il n'y a pas d'horizon des événements. L'information contenue dans la matière lors de sa formation s'échappe avec le rayonnement et il est possible, en théorie, de la reconstituer, contrairement au cas du trou noir.

En ce qui concerne la matière qui tombe sur une *fuzzball*, Samir Mathur pense que, par interaction avec la surface, elle induit des vibrations quantiques de cette dernière. L'information apportée s'ajouterait alors à celle de la *fuzzball* sans être perdue, et un observateur en chute libre vers une *fuzzball* suffisamment massive ressentirait quasiment ce que prédit la relativité générale pour un trou noir : rien de spécial puis un écartèlement chaotique.

Le mur de feu proposé par Joseph Polchinski et ses collègues n'existerait pas en raison d'une hypothèse injustifiée dans leur étude. Ces divers travaux restent toutefois très spéculatifs et le débat est loin d'être clos.

— Sean Bailly

BIBLIOGRAPHIE

A. Almheiri *et al.*, *Black holes : complementarity or firewalls ?*, *JHEP*, vol. 2013, n° 2, article 62, 2013.

R. Parentani, *Les prédictions de Stephen Hawking*, *Dossier Pour la Science*, n° 75, avril-juin 2012.

L. Susskind, *Trous noirs : la guerre des savants*, Robert Laffont, 2010.

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

l'espace prend fin à l'horizon, et l'astronaute qui y tombe se dissout en bits quantiques d'information au niveau de cette frontière. Et si le mur de feu existe, quelles seraient les implications pour les trous noirs réels, tel celui qui occupe le centre de la Voie lactée ? Il est trop tôt pour le dire.

Pour éviter des scénarios aussi étranges, les physiciens ont tenté de contourner la conclusion du mur de feu. Une piste consiste à dire que la particule B du rayonnement de Hawking peut être intriquée à la fois avec A et avec C si la particule A fait partie du système C : la particule se trouvant sous l'horizon est, d'une certaine façon, le même bit d'information que celui encodé dans le rayonnement de Hawking, même s'ils se trouvent à des endroits très différents.

Cette notion rejoint l'idée originale de complémentarité des trous noirs, mais pour faire de ce scénario un modèle concret, il semble encore nécessaire de modifier la physique quantique. Une façon radicale d'éviter cette difficulté est l'idée de Juan Maldacena et Leonard Susskind consistant à supposer que, dans chaque paire, les particules intriquées sont connectées par un microscopique trou de ver spatio-temporel. Une autre approche est de partir du principe que l'horizon des événements n'existe pas (*voir l'encadré ci-dessus*).

Stephen Hawking pensait que la relativité générale s'applique correctement aux trous noirs tandis que la physique quantique y atteint ses limites. Juan Maldacena concluait que la physique quantique n'est pas modifiée, mais que l'espace-temps est holographique. Peut-être la vérité se trouve-t-elle à mi-chemin.

Beaucoup d'idées ont été avancées, la plupart d'entre elles abandonnant l'un ou l'autre des principes admis de longue date. Il n'y a pas de consensus sur la bonne direction à suivre pour résoudre ces questions. Pour le moment, les chercheurs sont captivés par la découverte d'une nouvelle contradiction entre les deux théories centrales de la physique. Notre incapacité à déterminer si le mur de feu est une réalité traduit la limitation de nos formulations actuelles de la gravitation quantique. Les physiciens doivent repenser leurs hypothèses sur les rouages de l'Univers.

Ces remises en cause feront peut-être naître une compréhension plus profonde de la nature de l'espace-temps et des principes qui sous-tendent toutes les lois de la physique. À terme, en démêlant les paradoxes au cœur du mur de feu des trous noirs, nous réaliserons peut-être la percée nécessaire pour unifier la physique quantique et la relativité générale en une seule théorie. ■



N°455 – septembre 2015
□ réf. M0770455



N°454 – août 2015
□ réf. M0770454



N°453 – juillet 2015
□ réf. M0770453



N°452 – juin 2015
□ réf. M0770452



N°451 – mai 2015
□ réf. M0770451



N°450 – avril 2015
□ réf. M0770450



N°449 – mars 2015
□ réf. M0770449



N°448 – février 2015
□ réf. M0770448



N°447 – janvier 2015
□ réf. M0770447



N°446 – décembre 2014
□ réf. M0770446



N°445 – novembre 2014
□ réf. M0770445



N°444 – octobre 2014
□ réf. M0770444



N°443 – septembre 2014
□ réf. M0770443



N°442 – août 2014
□ réf. M0770442



N°441 – juillet 2014
□ réf. M0770441

POUR LA SCIENCE

Complétez votre collection dès maintenant!

5,50€ dès le 2^e numéro acheté!

À découper ou à photocopier et à retourner accompagné de votre règlement à : Groupe Pour la Science • 628 avenue du Grain d'Or • 41350 Vineuil • e-mail : pourlasciencevpc@daudin.fr

☐ Oui, je commande des numéros de **Pour la Science** au tarif unitaire de 5,50€ dès le 2^e acheté.

Je reporte ci-dessous les références à 6 chiffres correspondant aux numéros commandés et au format souhaité :

1^{re} réf. _____ 01 × 5,50 € = _____ 6,50 €
2^e réf. _____ × 5,50 € = _____
3^e réf. _____ × 5,50 € = _____
4^e réf. _____ × 5,50 € = _____
5^e réf. _____ × 5,50 € = _____
6^e réf. _____ × 5,50 € = _____

Frais port (4,90€ France - 12€ étranger) + _____ €

☐ Je commande la reliure **Pour la Science** (capacité 12 n°s) au prix de 14 € + _____ €
TOTAL À RÉGLER = _____ €

J'indique mes coordonnées :

Nom : _____
Prénom : _____
Adresse : _____

C.P. : _____ Ville : _____
Pays : _____ Tél. : _____
Pour le suivi client (facultatif)

Mon e-mail pour recevoir la newsletter **Pour la Science*** : _____

* à remplir en majuscules

Je choisis mon mode de règlement :

☐ par chèque à l'ordre de **Pour la Science**
☐ par carte bancaire

N° _____
Date d'expiration _____ Code de sécurité _____
(les 3 chiffres au dos de votre CB)

Signature obligatoire _____

En application de l'article 27 de la loi du 6 janvier 1978, les informations ci-dessus sont indispensables au traitement de votre commande. Elles peuvent donner lieu à l'exercice du droit d'accès et de rectification auprès du groupe Pour la Science. Par notre intermédiaire, vous pouvez être amené à recevoir des propositions d'organismes partenaires. En cas de refus de votre part, merci de cocher la case ci-contre ☐.

TOUTES LES ARCHIVES
DEPUIS 1996 SUR
www.pourlascience.fr