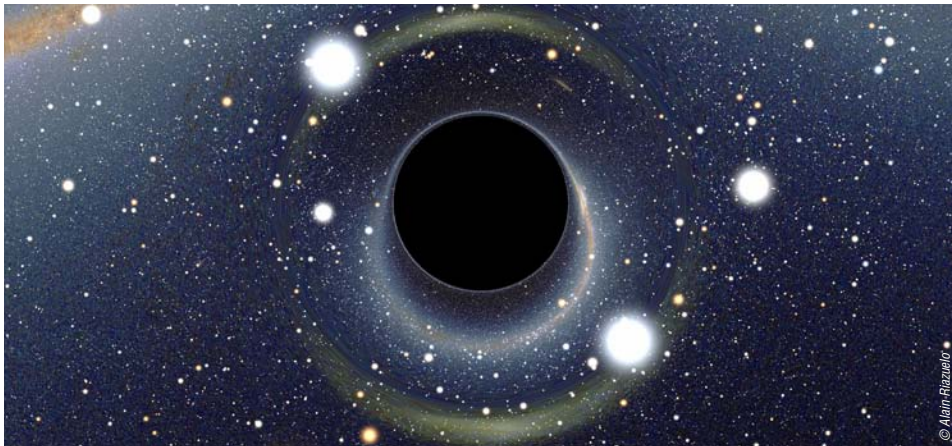


## Astrophysique

### L'horizon des trous noirs remis en question

*Que devient l'information dans un trou noir ? Stephen Hawking apporte une nouvelle contribution à un vieux débat, en proposant de revoir la notion clef d'horizon des événements.*



Cette simulation illustre les effets de courbure de l'espace-temps au voisinage d'un trou noir. Mais que se passe-t-il à l'horizon des événements ?

**S**tephen Hawking, de l'Université de Cambridge, au Royaume-Uni, a créé l'émotion chez les spécialistes. Dans un article rendu public il y a quelques semaines, il propose de revoir radicalement la description des trous noirs, en abandonnant une de leurs caractéristiques principales, l'horizon des événements – du moins tel qu'on le définissait jusqu'à présent.

Cette proposition fait suite à un problème soulevé en 2012 par Joe Polchinski et ses collègues, de l'Institut Kavli de physique théorique, en Californie. L'objectif de ces physiciens était de rassembler les développements les plus récents en relativité générale, mécanique quantique et thermodynamique sur ce qui se passe à proximité d'un trou noir.

Ces astres compacts déforment autour d'eux l'espace-temps à un point tel que, en deçà d'une limite nommée l'horizon des événements, rien ne peut échapper à leur attraction gravitationnelle, pas même la lumière. Dans le cadre de la relativité générale, cependant, un observateur en chute libre ne perçoit rien de particulier

quand il traverse l'horizon des événements. Mais J. Polchinski et son équipe ont dû attribuer des propriétés particulières à cette région pour garantir la conservation de l'information.

De quoi s'agit-il ? En 1974, S. Hawking avait montré qu'un trou noir rayonne : il perd une partie de sa masse par « évaporation ». Ce phénomène repose sur l'apparition spontanée et fugace de paires particule-antiparticule, possible n'importe où et quand selon les lois de la mécanique quantique. Si une telle paire naît à proximité de l'horizon, l'un de ses membres peut tomber dans le trou noir et l'autre s'échapper. Ainsi, pour un observateur éloigné, le trou noir rayonne.

Ce rayonnement n'est pas en contradiction avec la relativité générale, mais il l'est avec le principe de conservation de l'information. En effet, le rayonnement de Hawking étant aléatoire, il ne peut exister de lien entre lui et la matière qui a formé le trou noir. Toute information éventuelle contenue dans la matière engloutie semble ainsi détruite.

La question est restée très débattue. Près de 20 ans plus

tard, Juan Maldacena, de l'Université Harvard, a présenté un argument fort en faveur de la conservation de l'information, mais il restait à en comprendre le mécanisme. Une piste était de supposer que l'information est sauvegardée grâce à l'intrication de chaque paire particule-antiparticule avec l'ensemble du rayonnement de Hawking. L'intrication est un phénomène purement quantique où les états de deux particules (ou davantage) sont corrélés au point qu'elles forment un système indissociable, quelle que soit la distance qui les sépare.

Cependant, on montre que la particule d'une paire ne peut être intriquée simultanément avec son antiparticule et l'ensemble du rayonnement. J. Polchinski a donc supposé que l'intrication au sein de chaque paire est rompue près de l'horizon des événements. Il en résulterait une forte émission d'énergie, phénomène qui a été surnommé « pare-feu » (*firewall*). Mais dans ce scénario, l'horizon devient une région particulière, en contradiction avec la relativité générale.

S. Hawking propose de résoudre les difficultés en supposant que, en raison de fluctuations quantiques, l'horizon des événements ne peut s'établir. Il y aurait malgré tout un horizon apparent, jouant le même rôle, mais sur des durées limitées. Ce serait grâce à cette instabilité que de la matière, donc de l'information, peut s'échapper du trou noir. Le scénario de S. Hawking est à l'étude, bien que de nombreux physiciens soient sceptiques.

→ Sean Bailly

S. Hawking, en ligne, 2014  
<http://arxiv.org/abs/1401.5761>

## Éthologie

## Le radeau de la fourmi



Les fourmis placent leurs larves à la base du radeau pour améliorer sa flottabilité.

**E**n cas d'inondation, les fourmis se rassemblent pour former des radeaux vivants. Le phénomène est bien connu chez les espèces qui vivent dans des plaines inondables. Mais ce qui l'est moins est la structure de ces radeaux : comment s'organisent les fourmis sur ces fragiles embar-

cations ? Certaines positions, telle la base du radeau, paraissent plus dangereuses, avec un risque élevé de mort par noyade.

L'équipe de Michel Chapuisat, de l'Université de Lausanne, a étudié en laboratoire la formation de ces radeaux chez la fourmi *Formica selysi*. Les chercheurs ont

montré que la reine est la mieux protégée au centre du radeau. Mais, plus surprenant, les fourmis utilisent les larves et les pupes pour le fond de l'embarcation. Elles profitent du fait que ces individus immatures ont une densité plus faible, ce qui améliore la flottabilité du radeau. De plus, la mortalité des larves se révèle très faible. Cette structure bénéficie à l'ensemble du groupe en exposant peu la progéniture au danger. Mais certaines fourmis hésitent à participer à l'édifice, d'autres menaces pesant sur ces radeaux, telle la prédation.

→ S. B.

PLoS ONE, vol. 9(2), e89211, 2014

## Neurobiologie

## Les circuits cérébraux du geste juste

**L**a réalisation d'un geste adéquat nécessite l'évaluation permanente des actions et, le cas échéant, leur correction. Par exemple, au tennis, si le joueur lance la balle en l'air trop haut durant le service, des commandes motrices adaptent le geste en cours de réalisation. Grâce à des enregistrements intracérébraux, Francesca Bonini, de l'Université d'Aix-Marseille, et ses collègues ont précisé le circuit cérébral responsable de l'évaluation de telles commandes.

L'activité cérébrale a été mesurée chez des patients épileptiques, à qui l'on avait inséré des électrodes dans le cerveau dans le cadre d'un examen neurochirurgical préparatoire. Les chercheurs ont soumis les patients à une tâche dite de Simon, où le circuit d'évaluation et de rectification des erreurs gestuelles est mis en œuvre. Ils ont révélé un rôle central de l'aire motrice supplémentaire, une aire cérébrale



Le champion de tennis Roger Federer a-t-il un circuit cérébral d'évaluation des erreurs motrices particulièrement performant ?

essentielle au déclenchement et à la planification des actions, située en avant du cortex moteur.

Il semble que ce soit cette aire qui évalue la pertinence des actions – et non la zone cingulaire rostrale, comme on le pensait auparavant ; cette zone est aussi impliquée, mais plus tard dans l'action. L'aire motrice supplémentaire s'active d'autant plus que la confiance envers le geste est faible. Selon Franck Vidal, l'un des participants à l'étude, également de l'Université d'Aix-

Marseille, elle s'appuierait sur une « copie » des commandes motrices envoyées aux muscles pour simuler en quelque sorte le mouvement en cours et ainsi évaluer sa pertinence, sans même attendre les retours sensoriels. Ce circuit rapide d'évaluation des erreurs est essentiel pour ajuster les mouvements et aboutir à des gestes rapides et précis, tels ceux d'un sportif de haut niveau.

→ Guillaume Jacquemont

F. Bonini et al., Science, en ligne le 20 février 2014

## En bref

## Éléphants consolateurs

Bien que l'empathie soit une faculté assez répandue, peu d'animaux consolent et rassurent leurs congénères. C'est pourtant le cas des grands singes, des chiens, de certains oiseaux... Joshua Plotnik et Frans de Waal, de l'Université Emory aux États-Unis, ont aussi observé ce comportement chez les éléphants d'Asie, au sein d'un groupe de 26 animaux captifs. Quand un congénère semble inquiet, les autres viennent vers lui et le rassurent par des vocalisations particulières et des contacts apaisants.

## Un oiseau géant herbivore

Après l'extinction des dinosaures, il y a 65 millions d'années, une lignée d'oiseaux du genre *Gastornis* a fourni les plus gros animaux de la Terre. Delphine Angst, du Laboratoire de géologie de Lyon, et ses collègues ont étudié l'insertion du muscle adducteur du bec de ces oiseaux hauts de deux mètres, et en ont déduit qu'ils arrachaient et broyaient des végétaux avec une grande force. Ils ont également confirmé leur régime herbivore en mesurant le rapport isotopique  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  de leurs os.

## Un cimetière de chiens

Pour la première fois, des archéologues de l'Institut mexicain d'anthropologie et d'histoire ont découvert un cimetière aztèque de chiens à Mexico. Sous une rue de la ville actuelle, ils ont mis au jour 12 squelettes de chien complets et bien préservés. Une poterie trouvée dans la même strate a permis de dater le cimetière entre 1350 et 1520. Les chiens jouaient un grand rôle dans la mythologie aztèque, mais rien n'indique que ceux que l'on vient de découvrir aient reçu un traitement particulier.