

Arachna

Christine Rollard et Vincent Tardieu



Réf. 005556

Un récit poétique, des photos et des dessins époustouflants... Embarquez pour un tour de France inédit sur les traces des araignées. Et tombez sous le charme d'animaux captivants qui ne méritent pas leur mauvaise réputation. Un magnifique carnet naturaliste pour porter un autre regard sur des animaux fascinants.

Éditions Belin 2011

192 pages – 30,45 euros – ISBN 978-2-7011-5556-2

Énergies : une pénurie au secours du climat ?

Adolphe Nicolas



Réf. 005854

La pénurie des combustibles fossiles s'apprête à provoquer une crise énergétique et économique sévère, avec à la clé de sacrés défis à relever. Pour le climat en revanche, cette pénurie est une véritable chance : elle pourrait cantonner la hausse des températures à une valeur inférieure à 2°C en 2100...

Éditions Belin/Pour la Science 2011

160 pages – 16,75 euros – ISBN 978-2-7011-5854-9

Histoire des sciences de la vie

Pascal Duris et Gabriel Gohau



Réf. 005987

Cette histoire des sciences de la vie est nouvelle par son approche, son ambition étant de permettre au lecteur de comprendre comment se sont forgés les concepts fondamentaux de la biologie. Un récit vivant qui comblera tous les passionnés des sciences de la vie.

Éditions Belin 2011

251 pages – 29,95 euros – ISBN 978-2-7011-5987-4

Les secrets de la casserole

Hervé This



Réf. 004974

Comment préparer plus de 20 litres de mayonnaise à partir d'un seul jaune d'œuf ? En explorant la physique des émulsions. Comment obtenir un bon rôti ? En empruntant à la chimie ses études des sucres et des acides aminés. Comment obtenir de bonnes gelées ? En se basant sur la physico-chimie des gels, etc.

Éditions Belin 2008

232 pages – 21,35 euros – ISBN 978-2-7011-4974-5

LA SÉLECTION POUR LA SCIENCE C'EST AUSSI...

La supraconductivité

Stephen Blundell

Éditions Belin/Pour la

Science 2011

168 pages – 18,25 euros

ISBN 978-2-7011-6123-5

Réf. 006123



Au nom de l'infini

Jean-Michel Kantor
et Loren Graham

Éditions Belin/Pour la
Science 2010

288 pages – 24,35 euros

ISBN 978-2-8424-5107-3

Réf. 075107



La physique buissonnière

Jean-Michel Courty
et Édouard Kierlik

Éditions Belin/Pour la
Science 2010

160 pages – 22,35 euros

ISBN 978-2-8424-5105-9

Réf. 075105



Pour commander ces ouvrages www.pourlascience.fr/librairie *

ou en renvoyant le bon de commande ci-dessous.

* Pour commander les titres édités par Le Pommier : www.editions-belin.fr

BON DE COMMANDE

à retourner accompagné de votre règlement à : Groupe Pour la Science • 628 avenue du Grain d'Or • 41350 Vineuil • Tél. : 0 805 655 255 • e-mail : pourlascience@audin.fr

☐ Oui, je commande les livres présentés dans la sélection de *Pour la Science*. Je reporte les titres, prix et références à 6 chiffres correspondant aux ouvrages choisis :

Titre	Réf.	Prix
		€
		€
		€
		€
		€
Frais de port (4,90 € France – 12 € étranger)	+	€
Total à régler	=	€

J'indique mes coordonnées :

Nom : _____

Prénom : _____

Adresse : _____

C.P. : | | | | | | Ville : _____

Pays : _____ Tél.* : | | | | | |

*facultatif

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

Numéro | | | | | | | | | |

Date d'expiration | | | | |

Cryptogramme | | | | |

Signature obligatoire

Belin
ÉDITEUR INDÉPENDANT
DEPUIS 1777



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 ☐.

DPL415

La gravitation quantique en deux dimensions

Steven Carlip

Quelle serait l'action de la gravitation si l'espace avait deux dimensions seulement, au lieu de trois ?

L'exploration de cette idée guide les physiciens vers une théorie unifiée des forces fondamentales.

L'ESSENTIEL

✓ Tenus en échec par l'unification de la physique quantique et de la théorie de la relativité générale, les physiciens ont étudié une version simplifiée du problème où l'univers n'a que deux dimensions.

✓ Bien que les ondes gravitationnelles ne puissent exister en deux dimensions, un tel univers peut néanmoins changer de forme globale sous l'effet de la gravitation.

✓ La théorie quantique de la gravitation qui en découle éclaire diverses énigmes des théories d'unification, telles que la façon dont le temps émerge d'une toile de fond atemporelle ou le rayonnement des trous noirs.

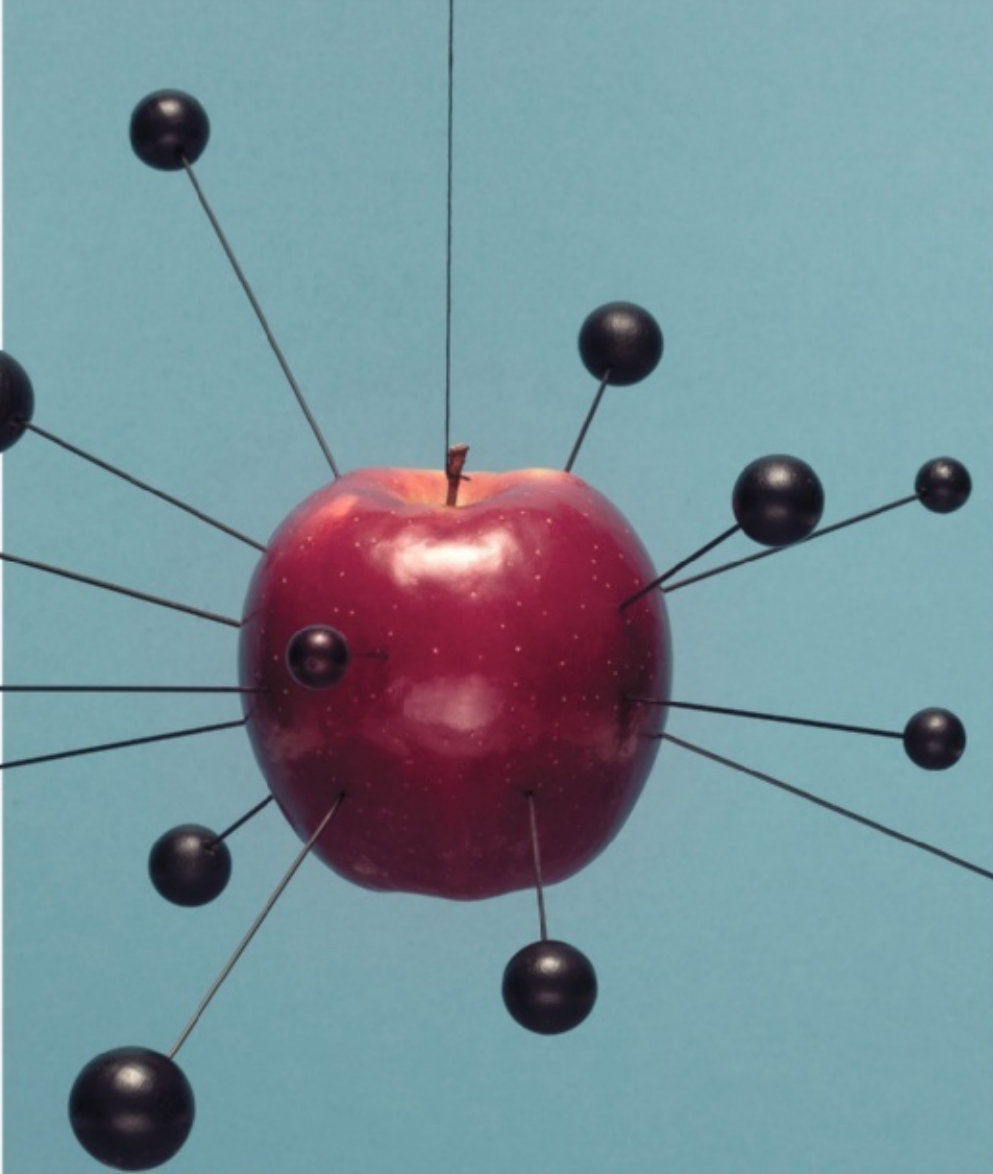
Depuis qu'elle existe en tant que science, la physique recherche l'unité dans la nature. Newton a ainsi montré que la force responsable de la chute d'une pomme est la même que celle qui maintient les planètes sur leur orbite. Maxwell a rassemblé les descriptions de l'électricité, du magnétisme et de la lumière en une théorie unique, l'électromagnétisme. Un siècle plus tard, les physiciens y ajoutaient l'interaction faible pour créer la théorie unifiée dite électrofaible. Einstein, quant à lui, réunissait au début du XX^e siècle l'espace et le temps en un unique continuum, l'espace-temps.

Aujourd'hui, le principal chaînon manquant dans cette quête unificatrice est la réunion de la gravitation et de la physique quantique. La théorie de la gravitation d'Einstein, la relativité générale, décrit aussi bien l'évolution de l'Univers que les mouvements des planètes et la chute des pommes. La physique quantique décrit les atomes, les électrons et les quarks, les interactions fondamentales subatomiques, et bien d'autres phénomènes. Mais là où les deux théories devraient s'appliquer ensemble, dans les situations extrêmes où les effets quantiques et ceux de la gravitation sont importants, par exemple au cœur des trous noirs ou durant les premières fractions de seconde de l'Univers, elles semblent incompatibles. En dépit de tous leurs efforts

depuis plus de 80 ans pour combiner la relativité générale et la physique quantique, les physiciens n'ont pas encore réussi. La théorie de la gravitation quantique nous échappe toujours.

Posez à un physicien une question trop difficile, et il aura le réflexe professionnel de répondre : « Demandez-moi quelque chose de plus simple. » La physique progresse en étudiant des modèles simples qui capturent certains éléments d'une réalité complexe. Les chercheurs ont ainsi travaillé sur de nombreux modèles restreints de la gravitation quantique, par exemple des approximations valables lorsque la gravitation est faible, ou sur des cas particuliers tels que les trous noirs. Une autre approche consiste tout simplement à négliger une dimension de l'espace et à étudier comment la gravitation s'exerce alors. On parle d'approche 2 + 1 dimensionnelle, pour deux dimensions spatiales et une dimension temporelle. Les principes qui gouvernent la gravitation dans cet univers simplifié pourraient s'appliquer à notre Univers tridimensionnel et livrer de précieux indices pour l'unification.

L'idée d'oublier une dimension a déjà connu son heure de gloire. Le roman *Flatland*, publié en 1884 par Edwin Abbott, dépeint les aventures d'un carré, habitant d'un « monde plat », à deux dimensions, peuplé de triangles, de carrés et autres figures géométriques. Bien que ce roman se voulût en fait une satire de la société victorienne, il a aussi déclenché une vague d'intérêt pour la géométrie dans diverses dimensions et a toujours du succès à l'heure actuelle auprès des mathématiciens et des physiciens.



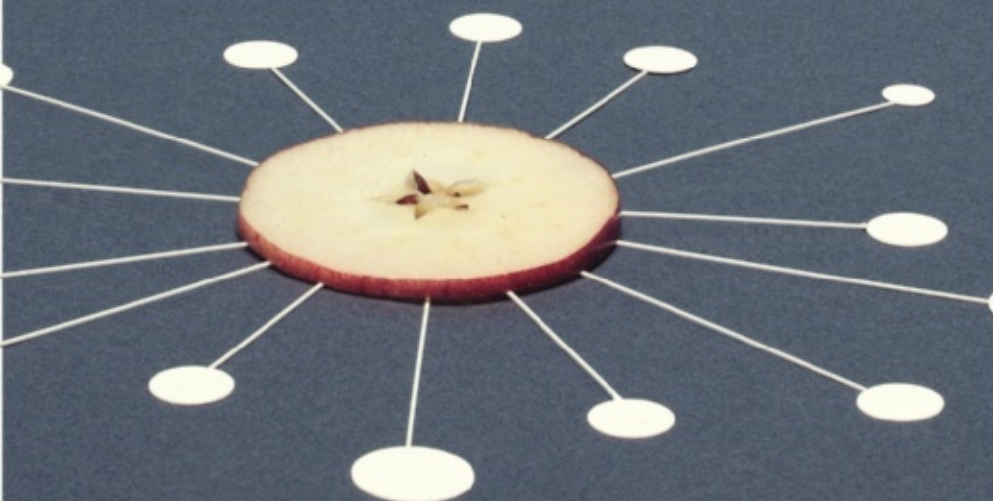
Les premières études de la gravitation dans un monde à deux dimensions, dans les années 1960, furent décevantes. L'espace plan semblait être dépourvu de gravitation, car cette interaction – plus précisément les ondes gravitationnelles – n'a littéralement pas assez d'espace pour se propager. À la fin des années 1980, cependant, le sujet renaît quand les chercheurs s'aperçoivent que la gravitation fonctionne d'une façon inattendue dans un espace à deux dimensions. Certes, deux masses ne s'attirent pas selon la loi de Newton (avec une force proportionnelle à l'inverse du carré de la distance), mais la gravitation joue néanmoins sur la forme générale de l'espace et pourrait même y engendrer des trous noirs. Récemment, la gravitation en deux dimensions a apporté un éclairage sur certains concepts fondamentaux de la gravitation quantique, tels que le principe

holographique ou la question de l'émergence du temps à partir d'un cadre atemporel.

Afin de développer une théorie quantique pour une interaction donnée, les physiciens partent en général de la théorie classique correspondante, et cherchent à la réécrire en appliquant les principes quantiques. Pour la gravitation, le point de départ est la relativité générale. C'est là que les ennuis commencent.

Selon la relativité générale, la gravitation n'est pas une force, mais une manifestation de la géométrie de l'espace-temps lui-même. La Terre tourne autour du Soleil non pas parce qu'une force s'exerce sur elle, mais parce qu'elle se déplace en suivant le chemin le plus court dans l'espace-temps, qui est courbé par la masse du Soleil. Unifier la mécanique quantique et la gravitation signifie ainsi quantifier d'une manière ou d'une autre la structure même de l'espace-temps, et pas simplement une interaction.

Pourquoi est-ce difficile ? L'une des pierres angulaires de la physique quantique est le principe d'incertitude de Heisenberg. Selon ce principe, les quantités physiques fluctuent de façon aléatoire et ne peuvent pas être fixées avec une précision infinie toutes en même temps. Dans une théorie quantique de la gravitation, l'espace et le temps eux-mêmes fluctuent, ce qui ébranle tout l'échafaudage de la physique classique. Sans un espace-temps donné *a priori* en toile de fond, nous ne savons pas décrire



Kyle Beani

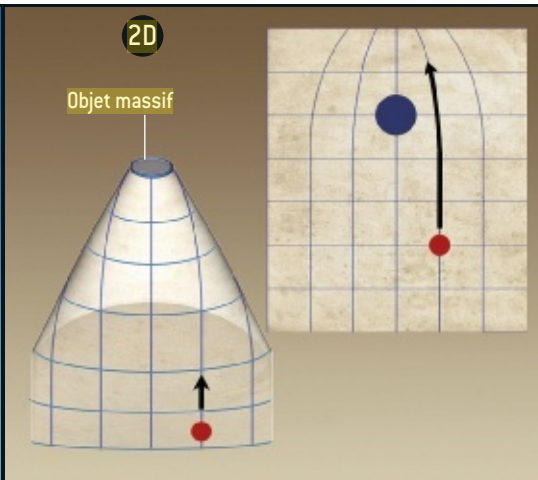
COMMENT LA GRAVITATION FONCTIONNE EN 2D

Si l'on aplatisait un espace tridimensionnel pour le réduire à deux dimensions, les objets deviendraient plats, mais ce n'est pas tout. La force de gravitation, notamment, aurait un comportement complètement différent. Imaginer com-

ment fonctionnerait la gravitation en deux dimensions est une étape utile pour élaborer une théorie quantique de la gravitation, qui réconcilierait la théorie de la relativité générale d'Einstein avec la physique quantique.

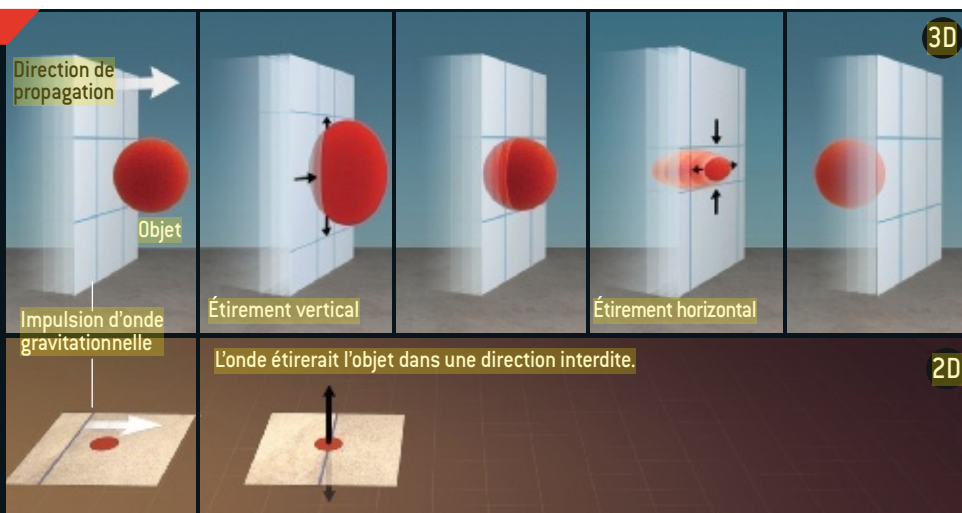
UNE ATTRACTION DIFFÉRENTE

Un objet massif courbe l'espace. En trois dimensions, cette distorsion a pour effet que deux objets s'attirent comme le décrit la loi de l'attraction universelle de Newton. En deux dimensions, un objet massif déforme l'espace en lui imprimant une forme conique. Les trajectoires des objets sont toujours déviées, mais selon une loi qui n'est plus celle de Newton.



LES ONDES IMPOSSIBLES

D'après la relativité générale, les variations du champ gravitationnel se propagent sous la forme d'ondes gravitationnelles, qui sont fondamentalement tridimensionnelles : elles étirent périodiquement les objets dans les deux directions perpendiculaires à l'axe de propagation (*en haut*). Elles ne peuvent se propager en deux dimensions (*en bas*). Or sans ondes gravitationnelles, on ne sait pas quantifier la gravitation.



DES TROUS NOIRS EXISTENT

Les trous noirs sont des régions où les objets peuvent pénétrer, mais dont ils ne peuvent sortir en raison de l'attraction gravitationnelle intense de l'objet central. L'une des découvertes les plus surprenantes de la théorie de la gravitation en deux dimensions est que des trous noirs peuvent exister dans l'espace bidimensionnel à condition que l'espace contienne de l'énergie sombre. En raison d'effets quantiques, les trous noirs, en 3D comme en 2D, émettent un faible rayonnement thermique dit de Hawking.



Malcolm Godwin

les positions, les vitesses, les accélérations et les autres grandeurs de base de la physique. En d'autres termes, nous ne savons pas donner un sens précis à l'espace-temps quantique.

Ces obstacles à la définition d'un espace-temps quantifié se manifestent de plusieurs façons. L'une d'entre elles est le célèbre « problème du temps ». Le temps est fondamental dans la réalité que nous observons. Presque toutes les théories physiques sont en fin de compte une description de la façon dont certaines grandeurs varient au cours du temps. Il importe donc de savoir précisément ce que signifie le concept de « temps ». Mais en réalité, nous ne le savons pas.

Pour Newton, le temps était absolu, hors de la nature. Les formulations habituelles de la mécanique quantique intègrent cette idée d'un temps absolu. Les théories de la relativité restreinte puis générale, en revanche, ont détrôné le temps absolu. Des observateurs en mouvement relatif ont une perception différente de l'écoulement du temps, et ne peuvent s'accorder sur la simultanéité de deux événements. Le rythme d'une horloge est plus lent dans un champ gravitationnel intense. Dans la théorie de la relativité, le temps n'est plus un simple paramètre externe, mais une composante dynamique de l'espace-temps.

Cependant, s'il n'y a pas d'horloge idéale universelle, existant « en dehors »

de la réalité matérielle, l'écoulement apparent du temps doit émerger de la structure même de l'Univers. Mais comment ? On ne sait même pas par où commencer pour répondre à cette question.

Pas de temps ni de coordonnées absolus

Le problème du temps a un cousin moins célèbre : le problème des observables. La physique est une science empirique. Une théorie doit faire des prédictions testables portant sur des quantités observables. En physique classique, ces quantités sont affectées à des positions spécifiques. On calcule l'intensité du champ électrique « ici » ou la probabilité de trouver un électron « là ». Les lieux sont étiquetés avec des coordonnées, et les théories prédisent comment les observables dépendent des valeurs de ces coordonnées spatiales et du temps.

Or d'après la théorie de la relativité, les coordonnées spatiales sont des étiquettes artificielles et arbitraires, et il n'existe pas de repère absolu. Mais si vous ne pouvez pas identifier objectivement un point dans l'espace, vous ne pouvez prétendre savoir ce qui s'y passe. Charles Torre, de l'Université de l'État de l'Utah, a montré qu'une théorie quantique de la gravitation ne peut pas avoir d'observables purement locales, c'est-à-dire des observables dont les valeurs dépendent d'un seul point de l'espace-

temps. Les scientifiques en quête d'une telle théorie doivent composer avec des observables non locales, dont la valeur dépend de plusieurs points en même temps (c'est notamment le cas des systèmes quantiques intriqués). De façon générale, on ne sait pas comment définir de tels objets, et encore moins les utiliser pour décrire le monde que nous observons.

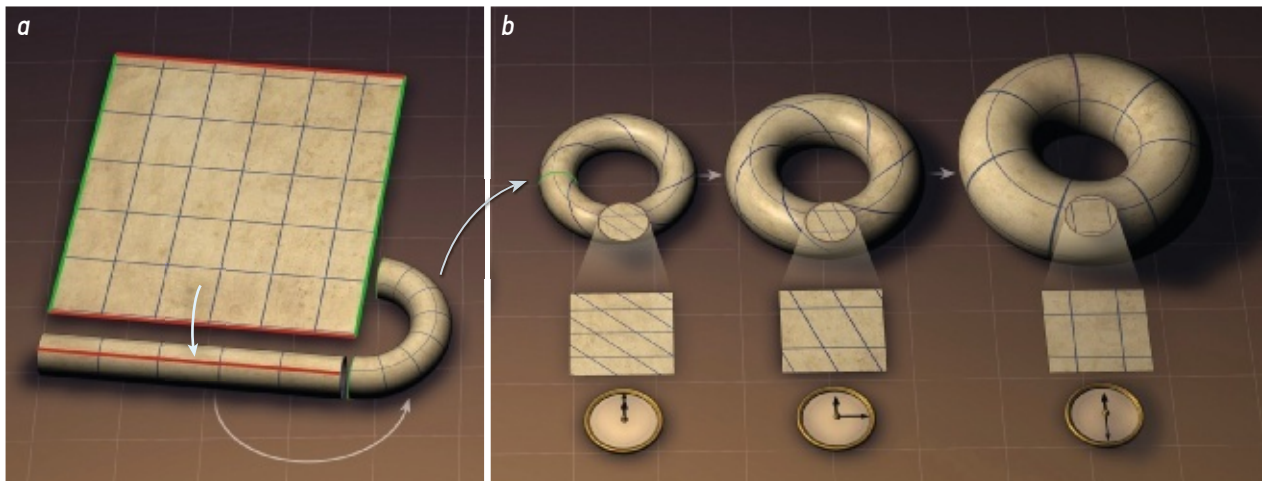
Un troisième problème est celui de la naissance de l'Univers. A-t-il surgi à partir de rien ? Décrit-il un cycle éternel de périodes d'expansion suivies d'effondrements ? Est-ce une bulle en expansion au sein d'un univers parent ? Chaque possibilité pose un problème différent pour une théorie quantique de la gravitation.

Enfin, toute une série de questions concernent les trous noirs, objets parmi les plus mystérieux. Ces astres extrêmes offrent une fenêtre sans équivalent sur la nature ultime de l'espace et du temps. Au début des années 1970, le Britannique Stephen Hawking a montré que les trous noirs ne sont pas totalement noirs. Ils doivent émettre un rayonnement similaire à celui d'un corps noir, c'est-à-dire le rayonnement de tout objet porté à une certaine température. La température reflète habituellement le comportement sous-jacent des composants microscopiques d'un système. Dire qu'une pièce est chaude, c'est dire que les molécules d'air qui la remplissent sont agitées. Dans le cas d'un trou noir, la nature

COMMENT QUANTIFIER LA GRAVITATION EN DEUX DIMENSIONS

En deux dimensions, la gravitation ne peut pas se propager. Contrairement à la situation tridimensionnelle, elle ne modifie pas la courbure de l'espace, mais modifie sa forme globale. Les physiciens ont étudié un modèle d'univers torique, obtenu par exemple en recollant les côtés opposés d'un carré du plan deux à deux [a]. L'univers torique évolue au fil du temps sous

l'influence de la gravitation en des tores de tailles et de proportions différentes [b] (ces changements se traduisent par la variation d'une grandeur nommée module). Ce qui se passe dans chaque petite région de l'espace [zooms] reflète l'état global de l'espace. Dans ce modèle, le microcosme et le macrocosme sont inextricablement liés.



Malcolm Godwin