

POUR LA SCIENCE



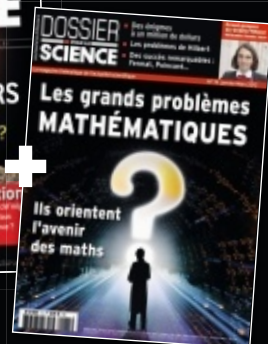
+ En cadeau le CD *Einstein et les révolutions quantiques*

De la relativité à la physique quantique, Alain Aspect - physicien français et membre de l'académie des Sciences- raconte deux révolutions scientifiques majeures qui continuent de bouleverser notre vision du monde.

CD audio de 75 minutes - Collection « L'Académie raconte les sciences » édité par De Vive Voix - Mars 2012 – Valeur : 9,90 €.



Pour la Science
12 n^{os}/an



Dossier Pour la Science
4 n^{os}/an

**POUR LA
SCIENCE**

À retourner accompagné de votre règlement dans une enveloppe non affranchie à : Service Abonnements Pour la Science • Libre réponse 90382 • 75281 Paris cedex 06

- 1** ☐ **Oui, je m'abonne à *Pour la Science + Dossier Pour la Science* au prix de 19€/trimestre ou 76€ pour 1 an.**
En cadeau, je reçois **le CD *Einstein et les révolutions quantiques***. Je bénéficie également des versions numériques sur www.pourlascience.fr

- ## ② J'indique mes coordonnées :

Nom : _____ Prénom : _____

Adresse : _____

Code postal : Ville : Pays : Tél. (facultatif) :

Je souhaite recevoir la newsletter *Pour la Science* à l'adresse e-mail suivante (à remplir en majuscule) :

[illegible]

- ### ③ Je choisis mon mode de règlement :

☐ Je règle en douceur **19€/trimestre***. Je remplis la grille d'autorisation de prélèvement ci-dessous en joignant impérativement 1 RIB.

*Valable en France métropolitaine uniquement.

Autorisation de prélèvement automatique. J'autorise l'établissement teneur de mon compte à prélever le montant des avis de prélèvements trimestriels présentés par *Pour la Science*. Je vous demande de faire apparaître mes prélèvements sur mes relevés de compte habituels. Je m'adresserai directement à *Pour la Science* pour tout ce qui concerne le fonctionnement de mon abonnement.

Titulaire du compte à débiter

Nom, Prénom : _____

N°: _____ Rue : _____

CP: | | | | | Ville: _____

Compte à débiter

Établissement	Code guichet	N° de compte	Clé RIB
---------------	--------------	--------------	---------

Établissement teneur du compte à débiter

Établissement :

N° : _____ Rue : _____

CP: | | | | | Ville: _____

Date et signature (obligatoire)

Organisme créancier

Pour la Science

N° national d'émetteur : 426900

- ☐
- Je préfère régler mon abonnement en une seule fois
- 76 €**
- (+ frais de port en sus pour l'étranger : Europe 16 € - autres pays 35 €)

- ☐
- par chèque à l'ordre de Pour la Science

- par carte bancaire

Nº: |

Expire fin : Clé (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-contre 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 ☐

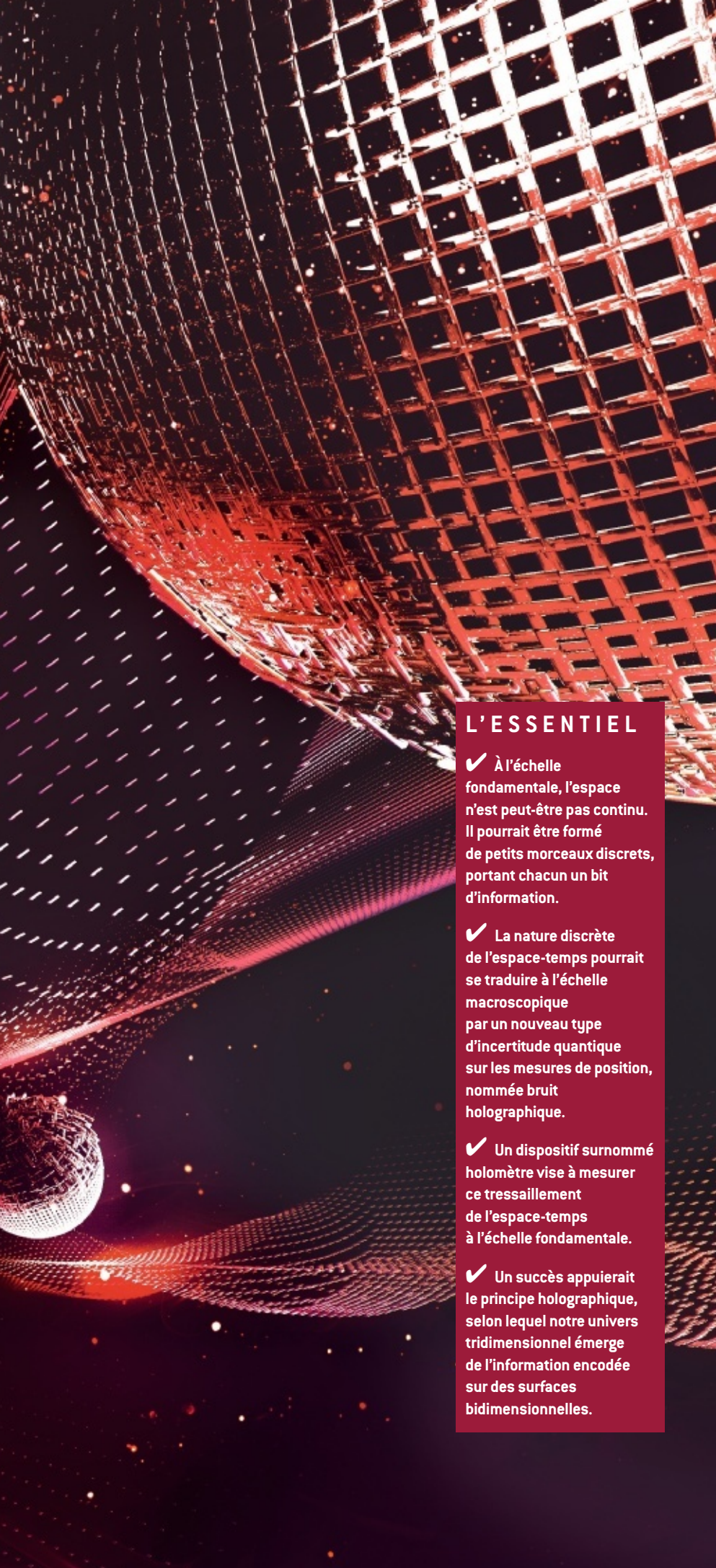
PLS416. Offre réservée aux nouveaux abonnés, valable jusqu'au 30.06.12. Livraison du cadeau sous 5 semaines dans la limite des stocks disponibles

Physique

Michael Moyer

L'ESPACE ? est-il discret ?

Un dispositif en construction près de Chicago, l'holomètre, tentera de mettre en évidence la nature discrète de l'espace-temps à l'échelle fondamentale. Si l'expérience est couronnée de succès, les lois de la physique seraient à réécrire.



L'ESSENTIEL

✓ À l'échelle fondamentale, l'espace n'est peut-être pas continu. Il pourrait être formé de petits morceaux discrets, portant chacun un bit d'information.

✓ La nature discrète de l'espace-temps pourrait se traduire à l'échelle macroscopique par un nouveau type d'incertitude quantique sur les mesures de position, nommée bruit holographique.

✓ Un dispositif surnommé holomètre vise à mesurer ce tressaillement de l'espace-temps à l'échelle fondamentale.

✓ Un succès appuierait le principe holographique, selon lequel notre univers tridimensionnel émerge de l'information encodée sur des surfaces bidimensionnelles.

Le monde est-il flou ? Ce n'est pas une métaphore. Pour Craig Hogan, physicien des particules à l'Université de Chicago et directeur du Centre d'astroparticules du Fermilab, dans l'Illinois, si nous parvenions à observer les plus petites subdivisions de l'espace et du temps, nous découvririons un univers en perpétuelle effervescence, un incessant bourdonnement de fluctuations. Cette agitation n'est pas celle de particules qui apparaissent et disparaissent, ni d'autres types de « mousses quantiques » imaginés jusqu'ici. Ce bruit serait la marque d'un espace discontinu qui, au lieu d'être une toile de fond bien lisse à la danse des particules, serait au contraire constitué de petits morceaux irréductibles : un univers discret.

À la plus petite échelle possible, l'échelle de Planck (10^{-35} mètre), les deux piliers de la physique du XX^e siècle, la théorie quantique et la relativité générale, semblent irréconciliables. C'est à cette même échelle que des physiciens ont développé depuis quelques décennies une description de l'Univers en termes d'information, c'est-à-dire de bits – des 0 et des 1. Selon cette théorie dite holographique, c'est l'information, et non pas la matière et l'énergie, qui constitue l'essence même de l'Univers. De cette information émerge le cosmos.

C. Hogan a entrepris de tester si la nature discrète de l'espace est une réalité. Il a ainsi conçu une expérience pour explorer l'agitation intrinsèque de l'espace aux échelles les plus fondamentales.

Son dispositif, surnommé holomètre, met en jeu un interféromètre extrêmement précis installé sur le campus du Fermilab. Il tient dans un simple bunker et un tube épais comme le poing, où voyageront des faisceaux laser, court sur 40 mètres entre le bunker et une remise.

Il n'est pas certain que cette expérience livre des résultats satisfaisants. C'est une plongée dans l'inconnu, dont la modestie de moyens tranche avec ceux de la physique des particules actuelle.

Les scientifiques ont développé dans les années 1960 et 1970 un édifice théorique nommé aujourd'hui modèle standard de la physique des particules. Au cours des décennies suivantes, des expériences l'ont testé toujours plus en détail. Les théoriciens proposent une idée, par exemple le boson de Higgs, qui se concrétise en un modèle ; le modèle livre des prédictions, et

Vautier

l'expérience les contredit ou les confirme. La théorie précède l'expérience.

Si ce schéma existe, c'est pour une bonne raison : les expériences de physique des particules coûtent horriblement cher. Le LHC, ou Grand collisionneur de hadrons du CERN, près de Genève, a coûté des milliards d'euros et son exploitation occupe des milliers de physiciens du monde entier. C'est la machine la plus complexe jamais construite. Les scientifiques se demandent si la prochaine génération de collisionneurs de particules (avec des énergies, des dimensions et des coûts plus élevés) ne sera pas simplement trop coûteuse pour l'humanité.

Au Fermilab, l'équipe rassemblée par C. Hogan comprend une vingtaine de membres, dont des conseillers qui ne participent pas aux travaux au jour le jour sur le site. C. Hogan est à l'origine un physicien théoricien, peu habitué aux caprices des pompes à vide et des lasers à solides. C'est pourquoi il a nommé correspondant Aaron Chou, un expérimentateur du Fermilab. En 2011, le projet a

reçu un financement de deux millions de dollars, à peine le prix d'un seul des aimants supraconducteurs du LHC !

Une version moderne de l'expérience de Michelson et Morley

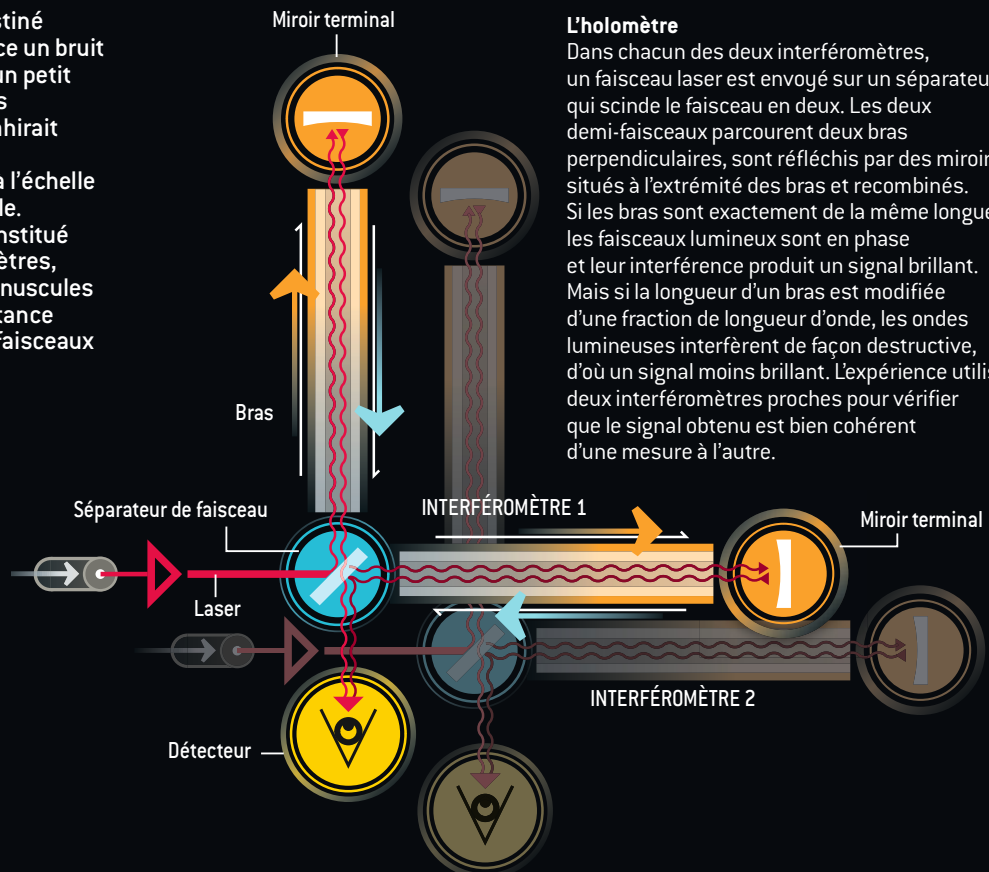
Si l'holomètre est si bon marché, c'est que, pour l'essentiel, il s'agit d'une version moderne de la célèbre expérience de Michelson et Morley, qui a détruit la vision qu'on avait de l'espace et du temps à la fin du XIX^e siècle. Les physiciens savaient alors que la lumière se comporte comme une onde. Or, depuis les vaguelettes à la surface d'une mare jusqu'au son qui se propage dans l'air, toutes les ondes semblaient partager certaines caractéristiques. En particulier, elles avaient toujours besoin d'un substrat physique pour assurer leur propagation. La lumière étant une onde, il devait exister un milieu de propagation, une substance invisible qui baignait l'Univers : les scientifiques l'appelaient l'éther.

En 1887, Albert Michelson et Edward Morley mettent au point une expérience destinée à mettre en évidence l'éther. La lumière d'une source se propage sur toute la longueur de deux bras perpendiculaires, est réfléchi par des miroirs placés à leurs extrémités, et se recombine au point de départ. Si le temps de parcours diffère d'un bras à l'autre, ne serait-ce que d'une fraction de microseconde, des interférences destructives se produisent et la lumière recombinaison est moins brillante. Michelson et Morley ont scruté les interférences lumineuses de leur dispositif durant plusieurs mois. Selon la direction du mouvement de la Terre autour du Soleil, le mouvement relatif par rapport à l'éther devait modifier le temps de trajet de la lumière dans l'un ou l'autre bras.

Mais l'expérience n'a rien mesuré de tel et imposa la conclusion que la lumière se propage à la même vitesse, quelle que soit la direction et quel que soit le mouvement de la source ou de l'observateur. Quelques années plus tard, Einstein s'empara de cette idée fondamentale pour

UN MICROSCOPE POUR ACCÉDER À LA LONGUEUR DE PLANCK

L'holomètre est destiné à mettre en évidence un bruit dit holographique, un petit tressaillement dans les positions qui trahirait la nature discrète de l'espace-temps à l'échelle la plus fondamentale. Le dispositif est constitué de deux interféromètres, qui détectent de minuscules variations de la distance parcourue par des faisceaux laser.



L'holomètre

Dans chacun des deux interféromètres, un faisceau laser est envoyé sur un séparateur, qui scinde le faisceau en deux. Les deux demi-faisceaux parcourent deux bras perpendiculaires, sont réfléchis par des miroirs situés à l'extrémité des bras et recombinaison. Si les bras sont exactement de la même longueur, les faisceaux lumineux sont en phase et leur interférence produit un signal brillant. Mais si la longueur d'un bras est modifiée d'une fraction de longueur d'onde, les ondes lumineuses interfèrent de façon destructive, d'où un signal moins brillant. L'expérience utilise deux interféromètres proches pour vérifier que le signal obtenu est bien cohérent d'une mesure à l'autre.

développer la théorie de la relativité restreinte, puis générale.

L'expérience de C. Hogan s'appuie elle aussi sur des interféromètres, plus élaborés, pour tenter de mettre en évidence une hypothétique toile de fond invisible de l'espace-temps, qui rappelle l'idée de l'éther. En utilisant deux interféromètres placés l'un à côté de l'autre, il compte sonder l'échelle de Planck, la plus petite échelle de l'Univers, celle où l'information existe sous forme de bits.

Sonder l'échelle de Planck

La longueur de Planck n'est pas simplement petite, c'est la plus petite. Une masse regroupée dans un volume plus petit correspondrait à moins d'un quantum d'énergie, ce qui est impossible.

L'échelle de Planck est plus que celle où la théorie de la relativité générale et la théorie quantique achoppent. Depuis quelques dizaines d'années, un débat sur la nature des trous noirs a fait émerger

une compréhension nouvelle de l'échelle de Planck. L'essence de l'Univers serait l'information, dont les bits constitutifs seraient encodés dans la trame de l'espace-temps à l'échelle de Planck.

Selon un principe fondamental de la physique, l'information ne disparaît jamais. Elle peut changer de forme, être brouillée, mélangée, mais elle subsiste à un niveau fondamental. Même lorsque ce magazine aura été réduit en pâte à l'usine de recyclage, l'information qui y est imprimée sera réorganisée sous une autre forme, mais pas effacée. En théorie, ce processus peut être inversé – les mots et les images peuvent être reconstitués à partir de la pâte à papier – même si, en pratique, cela semble impossible. Les physiciens traduisent cela par le fait que l'entropie, quantité qui mesure le nombre de configurations microscopiques compatibles avec l'état macroscopique d'un système, ne peut que croître avec le temps.

Tous les physiciens sont d'accord sur ce principe, sauf dans un cas particulier : qu'advient-il de l'information engloutie

par un trou noir ? En effet, rien, pas même la lumière, ne peut émerger d'un trou noir. Pire, Stephen Hawking a montré en 1975 que les trous noirs ne sont pas immuables : ils perdent de l'énergie en émettant un rayonnement thermique, « s'évaporant » ainsi lentement jusqu'à disparaître. L'information qu'ils renferment est alors perdue à jamais (le rayonnement de Hawking est dépourvu de structure et ne peut restituer l'information contenue dans le trou noir) ! En résumé, selon S. Hawking, l'information qui pénètre dans un trou noir y est irrémédiablement piégée.

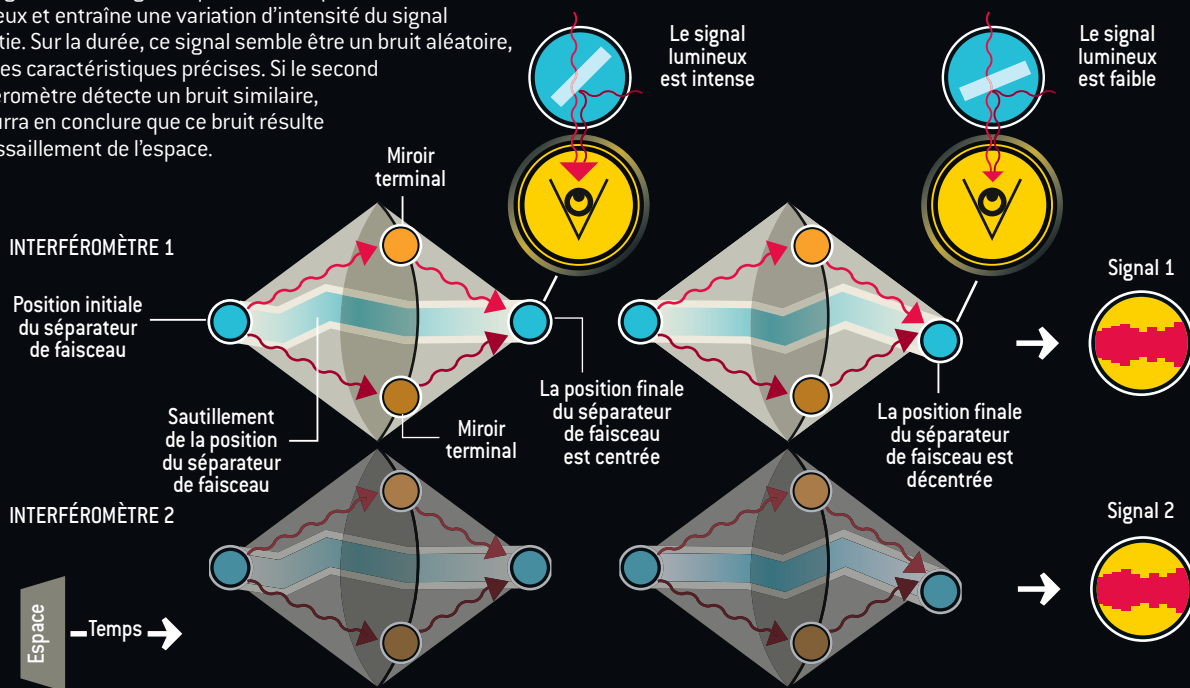
Pour Leonard Susskind, de l'Université Stanford, et Gerard 't Hooft, de l'Université d'Utrecht aux Pays-Bas, ce paradoxe de la disparition de l'information soulevé par S. Hawking était tout simplement inacceptable.

Dans les décennies suivantes, ce désaccord a conduit les physiciens à développer une théorie aujourd'hui nommée principe holographique. Selon ce principe, quand un objet tombe dans un trou noir, la matière est définitivement perdue, mais

Le tressaillement de l'espace

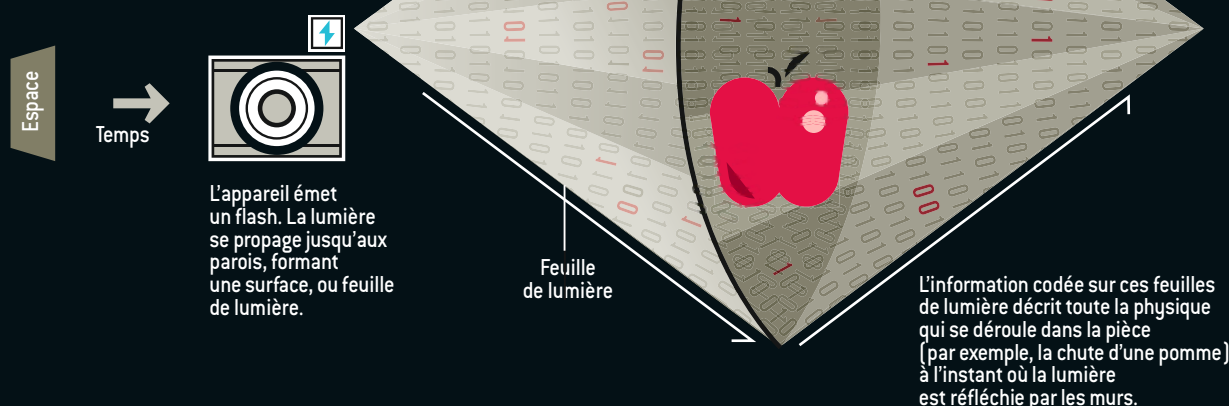
Si l'espace est discret à l'échelle de Planck, cela devrait se manifester à l'échelle macroscopique par un infime et rapide sautilllement de la position des objets à l'échelle macroscopique.

En particulier, le séparateur de faisceau devrait vibrer de façon aléatoire. Ainsi, durant le temps que met la lumière pour parcourir les bras et revenir, le séparateur de faisceau aura légèrement bougé, ce qui décale les phases des faisceaux lumineux et entraîne une variation d'intensité du signal de sortie. Sur la durée, ce signal semble être un bruit aléatoire, avec des caractéristiques précises. Si le second interféromètre détecte un bruit similaire, on pourra en conclure que ce bruit résulte du tressaillement de l'espace.



Leonardo Casalegno

D'après le principe holographique, le monde tridimensionnel émerge de l'information contenue sur des surfaces bidimensionnelles. Raphael Bousso a proposé en 1999 une interprétation en termes de « feuille de lumière ». Imaginons une pomme qui tombe dans une pièce. Des surfaces qui se propagent vers l'intérieur d'un volume à la vitesse de la lumière contiennent toute l'information sur les objets présents dans ce volume et les processus physiques qui s'y déroulent. On peut visualiser ces feuilles de lumière comme le flash lumineux d'un appareil photo qui fait « apparaître » un objet en train de tomber dans une pièce.



Leonardo Castédo

L'AUTEUR

Michael MOYER est rédacteur au magazine *Scientific American*.

l'information qu'elle porte est, d'une façon ou d'une autre, sauvegardée à la surface du trou noir – plus précisément à l'horizon des événements, la surface virtuelle de non-retour, en deçà de laquelle la lumière ne peut plus revenir. Ainsi, l'horizon des événements se double d'un grand livre d'archives. L'information n'est pas perdue.

Des bits d'information à la surface des trous noirs

Dans les années 1980, Raphael Sorkin, de l'Université de Syracuse, a montré que l'entropie fondamentale d'un trou noir vaut un quart de la surface de son horizon mesurée en unités égales à l'aire de Planck. En d'autres termes, sur l'horizon du trou noir, chaque petit carré dont le côté mesure deux longueurs de Planck contient un bit d'information. Ainsi, un trou noir de un centimètre de diamètre – ou plutôt, sa surface – renferme 10^{66} bits d'information. Il s'agit de l'entropie fondamentale, qui mesure les états microscopiques de l'espace à l'échelle la plus fondamentale. La

nature de ces bits d'information, ou degrés de liberté, reste cependant inconnue à ce jour faute d'une théorie complète de la gravitation quantique.

Cette conception selon laquelle l'information comprise dans une région d'espace dépend de sa surface et non de son volume est plus qu'une astuce pour résoudre le paradoxe de l'information des trous noirs. L. Susskind et G. 't Hooft ont étendu l'idée à l'Univers entier en 1993. Selon le principe holographique, à l'instar d'un hologramme qui enregistre une image en trois dimensions sur une pellicule à deux dimensions, toute l'information sur l'univers tridimensionnel qui nous entoure serait encodée sur des surfaces bidimensionnelles (qui restent à déterminer).

Depuis, il a été montré que ce principe est valable pour certains modèles d'espace-temps. Le physicien argentin Juan Maldacena a par exemple établi en 1997 qu'une théorie des supercordes dans un espace-temps dit anti-de Sitter à cinq dimensions est équivalente à une théorie quantique des champs sur la frontière de cet espace-temps.

En 1999 et 2000, Raphael Bousso, maintenant à l'Université de Californie à Ber-

keley, a proposé une interprétation du principe holographique qui permet de l'étendre à un grand nombre de situations. Imaginez une surface concave, comme la face interne d'une sphère, tapissée d'une infinité de flashes. Ceux-ci se déclenchent tous en même temps, formant un front d'onde lumineux qui se propage vers le centre. C'est sur cette surface à deux dimensions, la « feuille de lumière », que toute l'information concernant les objets situés à l'intérieur de la sphère et rencontrés par le front d'onde est stockée (voir l'encadré page ci-contre).

L'espace-temps est un sous-produit des quanta d'information

Cette feuille de lumière, d'après le principe holographique, contient l'information sur la position des particules et des forces s'exerçant sur elles à l'intérieur de la sphère. Mais il ne s'agit pas d'une simple pellicule qui enregistre ce qui se passe dans la région tridimensionnelle d'univers. Au contraire, la feuille de lumière vient en premier. Elle projette sur le monde l'information contenue à sa surface, faisant apparaître tout l'univers tridimensionnel que nous voyons. L'espace-temps, ainsi que la matière et les forces qui s'exercent sur elle, est un sous-produit de la surface holographique encodant des bits d'information.

Ainsi, le principe holographique laisse entrevoir une connexion profonde entre l'information, l'espace-temps, la matière et la gravité. Il pourrait en ce sens révéler la direction à suivre pour développer la théorie quantique complète de la gravitation, qui engloberait la relativité et la physique quantique.

Même si le principe holographique est correct, des questions subsistent. Sous quelle forme l'information est-elle codée ? Comment est-elle traitée pour faire émerger l'Univers que nous observons ? Pour certains physiciens, l'Univers est un ordinateur qui traite l'information pour faire apparaître ce que nous percevons comme la réalité physique. Mais cet ordinateur est pour le moment une boîte noire.

C. Hogan ne cherche pas à résoudre ces questions complexes. Il propose seulement de déterminer si, au niveau fondamental, l'espace se décompose en unités d'information. Dans la plupart des inter-

prétations, l'espace-temps qui émerge de la description holographique de l'Univers est intrinsèquement quantique, c'est-à-dire qu'il est discret et fluctuant.

Plus précisément, dans cet espace-temps quantique émergent, la position d'un objet n'est pas précisément définie. Il ne s'agit pas d'une incertitude quantique usuelle, selon laquelle on ne peut connaître simultanément la position et la vitesse exactes d'une particule, mais d'une incertitude intrinsèque : la notion classique de point, avec des coordonnées bien définies, n'a pas de sens.

À la place, en se fondant sur la « géométrie non commutative » du mathématicien français Alain Connes, C. Hogan a proposé un nouveau concept de position. Selon cette idée, la position d'un objet est mesurée par des opérateurs qui ne commutent pas ; en d'autres termes, une mesure de la position selon une direction x , puis selon une direction y , donne un résultat différent d'une mesure effectuée selon la direction y , puis selon la direction x . Il existerait ainsi une incertitude fondamentale, de nature géométrique, sur les positions dans l'espace-temps qui émerge de la description holographique du monde.

Ainsi, à l'échelle de Planck, l'espace-temps est agité d'un sautillerment permanent, la position précise d'un objet fluctuant sans cesse. L'Univers n'est pas similaire à l'éther classique, transparent, cristallin : sa texture est mouvante.

Mais comment descendre au niveau de cette texture et la mettre en évidence ? L'échelle de Planck est si petite que l'atteindre dans un accélérateur de particules – en concentrant une énergie colossale dans un volume infinitésimal – est tout simplement impossible à l'échelle terrestre. L'holomètre de C. Hogan a pour objectif d'attaquer par le flanc la longueur de Planck.

L'interféromètre de Michelson et Morley tentait de mesurer une minuscule variation de la vitesse de la lumière due au mouvement de la Terre autour du Soleil en comparant deux faisceaux lumineux ayant parcouru une distance raisonnablement grande. En effet, le retard dû à une hypothétique variation de la vitesse de propagation se cumule avec la distance et devient mesurable.

Il en est de même avec l'incertitude quantique sur la position proposée par C. Hogan. Elle induit une erreur à l'échelle



UNE COLLECTION D'ENTRETIENS AUDIO ORIGINAUX À TÉLÉCHARGER



EINSTEIN ET LES RÉVOLUTIONS QUANTIQUES

La révolution quantique du début du XXe siècle se prolonge de nos jours avec une deuxième révolution qui repose sur le concept étrange d'intrication.

Alain Aspect, Professeur à l'Institut d'Optique et membre de l'Académie des sciences

MP3 - 75 minutes **9,90€**



LE CERVEAU

Une exploration détaillée et fascinante de l'organe le plus complexe du corps humain par un des plus grands neurologues français.

Yves Agid, Neurologue, membre de l'Académie des sciences

MP3 - 57 minutes **9,90€**

TÉLÉCHARGEZ LES NOUVEAUTÉS DE LA FABRIQUE SCIENCES SUR DEVIVEVOIX.FR

SCIENCES & MUSIQUES D'AVANT-GARDE



QUADRIVIMUM

RADIO

Découvrez le programme de podcasts de la webradio Quadrivium en partenariat avec le magazine Pour la Science. Pénétrez dans les plus grands laboratoires pour écouter la parole des chercheurs.

Biologie

Nicolas Gompel

Institut de biologie du développement de Marseille-Luminy

L'expression des gènes dans le cadre de l'évolution

Physique

Stéphane Mazouffre

Laboratoire Icar à Orléans

Au cœur d'un propulseur à plasma

Physique

Simone Speziale

Centre de physique théorique de Luminy

Gravité quantique

Biologie

Jonathan Ewbank

Centre d'immunologie de Marseille-Luminy

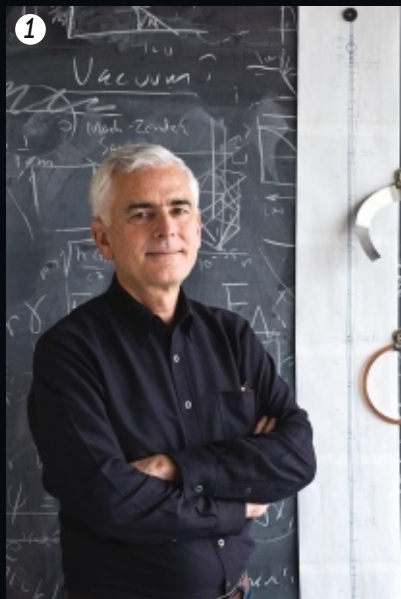
Immunologie

www.quadriviumradio.com

© Pour la Science - n° 416 - Juin 2012

Physique **29**

1



CRAIG HOGAN (1), directeur du Centre d'astrophysique des particules du Fermilab, dans son bureau. L'holomètre est en construction à un kilomètre de là. Les bras des deux interféromètres, où voyageront les faisceaux laser, sont des tubes de 40 mètres de long où régnera un vide poussé (2). Une première paire de bras est abritée dans un bunker autrefois utilisé pour des faisceaux de particules ; l'autre paire part vers l'extérieur, avec à son extrémité une remise où se trouvent des miroirs et l'optique nécessaire à la focalisation (3). Un équipement optique de précision est utilisé pour focaliser et aligner les faisceaux (4).

2



3



4



de Planck sur la position dans la direction transverse au trajet d'un rayon lumineux. Cette erreur se cumule le long du trajet sur des distances macroscopiques. Si elle ne change rien à la propagation de la lumière dans le vide, elle se manifeste là où la lumière interagit avec la matière. L'effet apparaît alors comme une sorte de déplacement perpendiculaire à la direction de propagation par rapport à la position classique, avec une échelle de temps et une amplitude qui dépendent de la taille du système.

C. Hogan a calculé que le signal résultant de cette incertitude sur l'espace-temps, ou bruit holographique, doit avoir une amplitude de l'ordre de l'attomètre (10^{-18} mètre) sur une échelle de temps de quelques dizaines de microsecondes. C'est très petit, mais en principe détectable par les interféromètres les plus précis.

Les tressautements de l'espace-temps à la loupe

L'holomètre est ainsi construit sur un principe similaire à celui de l'expérience de Michelson et Morley, à ceci près que ces derniers ne disposaient pas de lasers et d'électronique de précision. Un faisceau laser est envoyé sur un séparateur de faisceau qui divise la lumière en deux et envoie chaque demi-faisceau le long de deux bras de 40 mètres de long disposés perpendiculairement. Chaque faisceau est réfléchi par un miroir à l'extrémité du bras correspondant, revient au séparateur et se recombine avec le faisceau ayant parcouru l'autre bras. Mais au lieu de mesurer les variations de temps de trajet dues au mouvement de la Terre, le dispositif mesure les éventuelles variations de longueur de la trajectoire des faisceaux, dues aux petits décalages sur les positions, décalages eux-mêmes imputables à la trame quantique de l'espace-temps.

Plus précisément, on montre que le bruit holographique entraîne de petites incertitudes sur la position du séparateur de faisceau (mais pas sur les miroirs terminaux des bras). Pendant le temps qu'il faut à la lumière pour effectuer un aller-retour dans les bras, le séparateur de faisceau subit de petites variations de sa position, de sorte que le trajet des faisceaux réfléchis est légèrement allongé ou raccourci, d'où un déphasage et une

variation du signal de sortie (voir l'encadré page 27).

Cependant, de nombreux facteurs, tels le vrombissement d'un moteur non loin du bâtiment ou un vent fort qui secoue ce dernier, peuvent entraîner un déplacement du séparateur de faisceau. Comment être sûr que le bruit mesuré est bien la manifestation de la trame discrète de l'espace-temps ?

Un problème similaire s'est posé dans une autre expérience d'interférométrie, LIGO (*Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory*). LIGO vise à mettre en évidence les ondes gravitationnelles, des perturbations de la trame de l'espace-temps prédites par la relativité générale, qui résultent du mouvement des astres massifs. LIGO comporte deux gigantesques interféromètres jumeaux, l'un situé en Louisiane et l'autre dans l'État de Washington. Malheureusement, les ondes gravitationnelles font vibrer le dispositif à la même fréquence que d'autres phénomènes banals, tel le passage de camions à proximité. Les détecteurs doivent donc être soigneusement isolés.

Heureusement pour C. Hogan, les déplacements qu'il cherche à mettre en évidence sont beaucoup plus rapides : l'espace est supposé tressaillir à une fréquence caractéristique de l'ordre du mégahertz. Dès lors, les seules sources d'interférences possibles sont les radios locales émettant à la même fréquence, un signal facilement identifiable. Selon Stephan Meyer, physicien à l'Université de Chicago qui travaille sur l'holomètre, la manifestation d'un signal à cette fréquence confirmera l'existence du bruit holographique.

L'holomètre de C. Hogan va-t-il livrer des résultats incontestables ? Et si oui, quelle interprétation théorique les physiciens pourront-ils en donner ? C. Hogan n'a pas de réponse à ces questions. Mais selon lui, le but du dispositif est de livrer les données étranges que les théoriciens de demain devront expliquer, un peu comme, au début du XXI^e siècle, les résultats énigmatiques de certaines expériences ont forcé les théoriciens à inventer la mécanique quantique pour les expliquer. Parfois, pour débloquer une situation théorique, une expérience suffit. ■

✓ BIBLIOGRAPHIE

C. Hogan, *Interferometers as probes of planckian quantum geometry*, <http://arxiv.org/abs/1002.4880v27>, février 2012.

C. Hogan, *Indeterminacy of holographic quantum geometry*, <http://arxiv.org/abs/0806.0665>, septembre 2008.

L. Smolin, *Des atomes d'espace et de temps*, *Pour la Science* n° 316, février 2004. http://bit.ly/316_smolin

J. Bekenstein, *L'Univers holographique*, *Pour la Science* n° 313, novembre 2003. http://bit.ly/313_bekenstein

R. Bousso, *The holographic principle*, *Reviews of Modern Physics*, vol. 74(3), pp. 825-874, 2002. <http://arxiv.org/abs/hep-th/0203101>

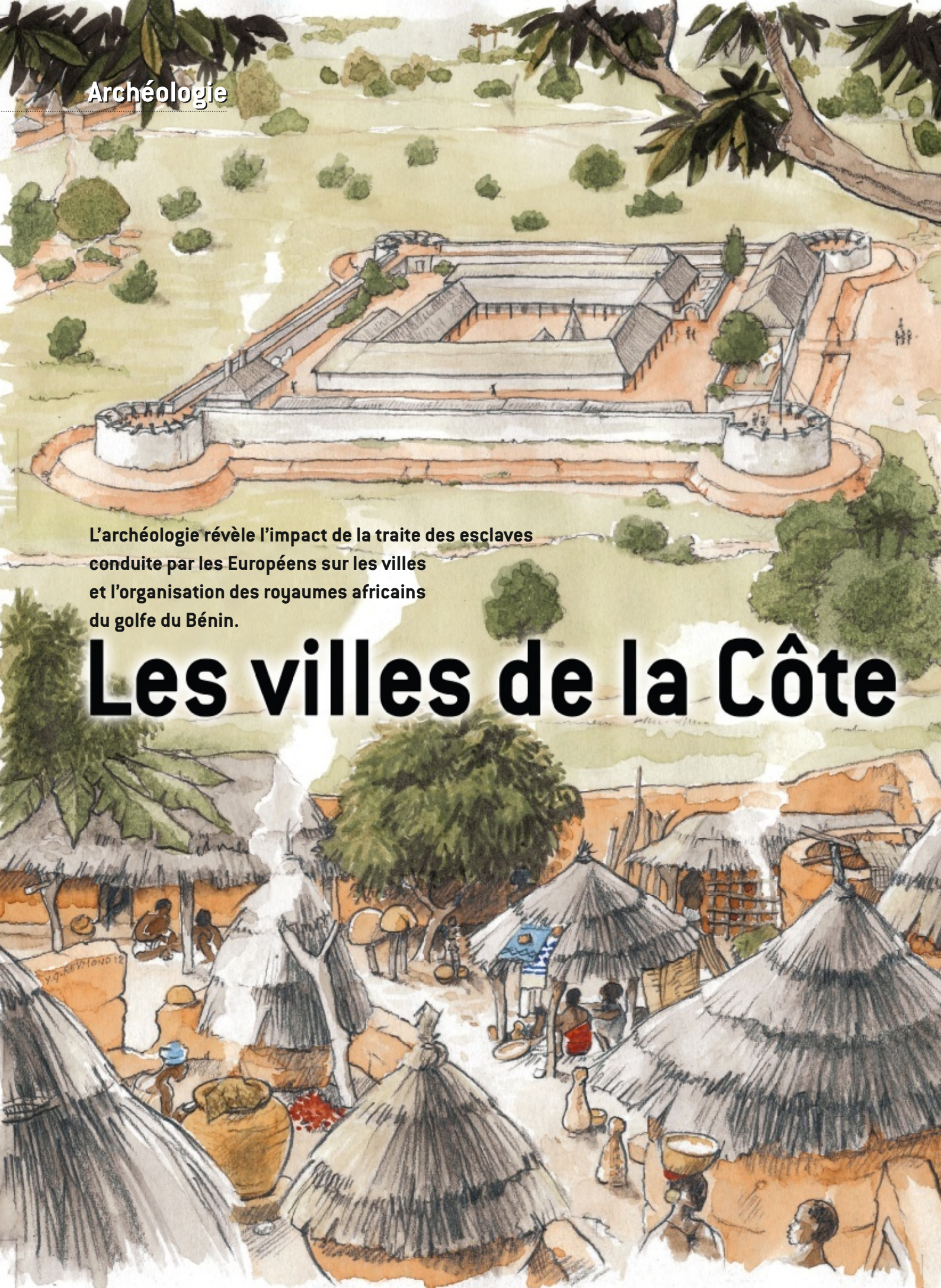
france culture

VOYAGER DANS LE TEMPS

La marche des sciences
Aurélie Luneau
14h/15h - jeudi
En partenariat avec *Pour la Science*

franceculture.fr

Photo: Mike Donaghy © Philippe Barthelemy - Courtesy: gavin kasson - 4/24/09 - Paris 2011

The background of the page is a watercolor illustration. The top half shows a fortified city with a rectangular wall, several towers, and a central courtyard with buildings. The city is surrounded by a body of water and lush greenery with palm trees. The bottom half shows a bustling coastal town with numerous thatched-roof huts, people engaged in daily activities, and large earthenware pots. The style is artistic and historical.

Archéologie

L'archéologie révèle l'impact de la traite des esclaves
conduite par les Européens sur les villes
et l'organisation des royaumes africains
du golfe du Bénin.

Les villes de la Côte