

Physique théorique



Première simulation quantique en physique des particules

Une forme rudimentaire d'ordinateur quantique a été utilisée pour imiter, dans le cadre d'une théorie simplifiée, l'apparition de paires particule-antiparticule dans le vide.

En 1982, le physicien américain Richard Feynman suggérait d'utiliser des systèmes quantiques simples et bien contrôlables pour en étudier d'autres nécessitant des calculs qui dépassent les capacités des ordinateurs classiques. Il a été exaucé : pour la première fois, une équipe de l'université d'Innsbruck, en Autriche, a utilisé un « ordinateur quantique » pour simuler un phénomène de physique des particules, à savoir la création de paires particule-antiparticule.

L'objectif, à terme, est de simuler des situations restées mal comprises en chromodynamique quantique (QCD) – la théorie de l'interaction forte qui lie entre eux les quarks. Il s'agit notamment du problème du confinement, propriété selon laquelle un quark n'est pas observable isolément. La QCD est une théorie qui repose sur des symétries, dites de jauge, dont la structure complexe rend les calculs difficiles – d'où l'intérêt de la simuler.

De nombreux progrès ont été réalisés dans le domaine des ordinateurs quantiques, où l'information est codée par des

bits quantiques, ou qubits. Un tel élément peut être dans plusieurs états à la fois, contrairement à un bit classique dont l'état (0 ou 1) est unique. Les physiciens savent aujourd'hui réaliser des ordinateurs quantiques élémentaires constitués d'un petit nombre d'atomes (des atomes ultrafroids, des ions dans des pièges électromagnétiques, etc.). L'équipe de Rainer Blatt et Peter Zoller a conçu un tel dispositif avec quatre ions de calcium alignés dans un piège électromagnétique.

Ce système présente une analogie mathématique avec le modèle de Schwinger, une version simplifiée de l'électrodynamique quantique (ou QED, la théorie de jauge qui décrit l'électromagnétisme dans un cadre quantique et qui est moins complexe que la QCD), à une seule dimension d'espace. Cette analogie a permis de simuler l'apparition et la disparition de paires particule-antiparticule en présence d'un champ électrique.

Dans l'expérience, des lasers simulent le champ électromagnétique. Les ions excités par les lasers émettent un rayonnement de

fluorescence, qu'on peut interpréter comme la création d'une particule ou d'une antiparticule. En modifiant les paramètres des lasers, les chercheurs contrôlent l'interaction des ions. Les mesures ont ensuite été comparées aux prédictions du modèle de Schwinger : le simulateur quantique reproduit fidèlement la dynamique de la création de paires.

La théorie simulée est relativement simple et les résultats des calculs théoriques déjà connus, mais cela a permis aux physiciens d'Innsbruck de montrer qu'un simulateur quantique permet d'étudier une théorie de jauge. La prochaine étape consistera à simuler des systèmes de QED en deux ou trois dimensions d'espace pour sonder des interactions plus complexes, puis à simuler des modèles tels que la QCD. De nombreux dispositifs ont déjà été proposés sur le papier. Au vu des progrès techniques dans le domaine des atomes froids et des ions piégés, cette approche pourrait connaître un essor rapide.

Sean Bailly

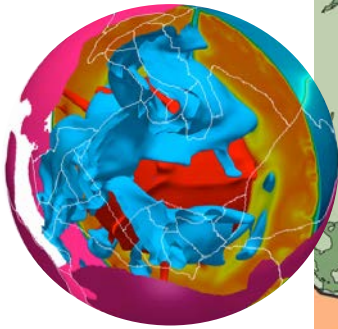
E. A. Martinez et al., *Nature*, vol. 534, pp. 516-519, 2016

Dans le vide quantique, des paires particule-antiparticule éphémères surgissent et disparaissent sans cesse (vue d'artiste, à gauche). Pour imiter précisément la dynamique de ce phénomène décrite par un modèle simplifié, l'équipe de l'université d'Innsbruck a conçu un simulateur quantique utilisant quatre ions calcium alignés dans un piège électromagnétique et contrôlés avec des lasers (les ions sont placés entre les deux pointes, à droite).

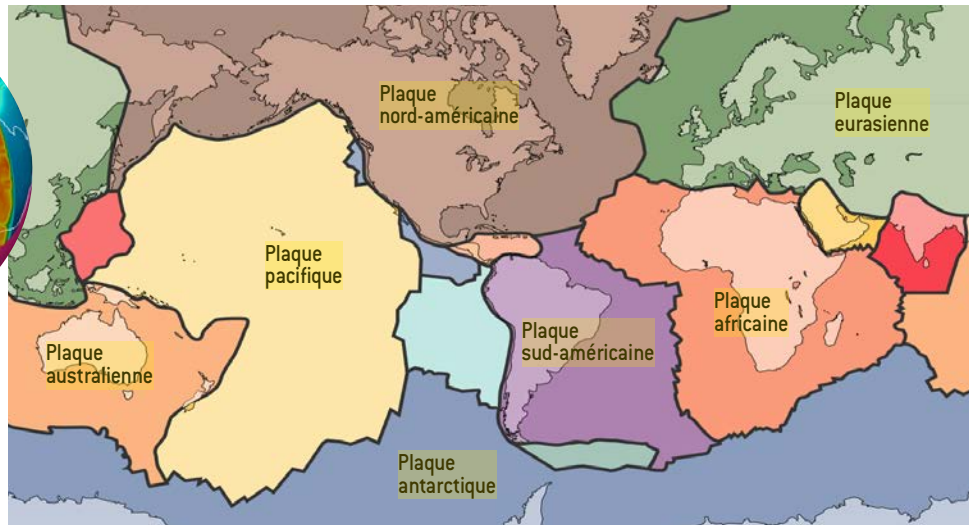
Géophysique

Le puzzle des plaques tectoniques enfin compris

La croûte terrestre est morcelée en un ensemble de grandes et de petites plaques. Cette structure serait le fruit de l'interaction entre les mouvements convectifs du manteau et la résistance de la croûte.



Des simulations de la Terre et de la dynamique convective du manteau (ci-dessus) permettent d'expliquer la part des grandes et petites plaques lithosphériques (seules les plus grandes sont représentées ici).



C. Mallard et al./USGS

La croûte terrestre est un puzzle de 53 pièces, les plaques tectoniques. Ces pièces se classent en deux catégories, les petites et les grandes. Ces dernières sont seulement au nombre de sept, correspondant à l'Amérique du Nord, l'Amérique du Sud, l'Afrique, l'Eurasie, le Pacifique, l'Australie et l'Antarctique. Ensemble, elles couvrent 94% de la surface du globe. Entre ces grandes plaques, on trouve 46 petites plaques complémentaires. Pourquoi une telle répartition et quels mécanismes ont conduit à ce découpage ? Claire Mallard, du Laboratoire de géologie de Lyon, et ses collègues ont réalisé des simulations numériques de Terres fictives en 3D pour comprendre comment la croûte se découpe.

La surface de la Terre est en perpétuel mouvement. Cette idée fut avancée pour la première fois par Alfred Wegener au début du XX^e siècle, mais la communauté des géophysiciens mit des décennies à accepter sa théorie de la dérive des continents. Dans les années 1950-1960, la théorie a été reformulée en termes de tectonique des plaques : la lithosphère

– la croûte et la partie supérieure du manteau terrestre – se compose de plaques qui se forment au niveau des dorsales océaniques et disparaissent en s'enfonçant dans le manteau dans les zones de subduction. On peut reconstituer le mouvement des plaques grâce aux anomalies magnétiques enregistrées dans la croûte océanique. Mais celle-ci a une courte durée de vie, si bien qu'il est difficile de reconstruire l'histoire géologique au-delà de 100 millions d'années et d'en déduire les mécanismes sous-jacents.

Les simulations des planètes Terre fictives tridimensionnelles effectuées par l'équipe de Claire Mallard incluent une description des mouvements de convection dans le manteau. Ces calculs prennent en compte de nombreux paramètres, tels que la viscosité et la plasticité du manteau.

Les chercheurs ont retrouvé dans leurs simulations une répartition entre grandes et petites plaques équivalente à celle constatée. Cela confirme que la répartition des plaques tectoniques est liée aux interactions entre la convection mantellique et la lithosphère. En particulier,

les chercheurs ont montré que les dimensions des cellules de convection sont comparables à la taille des grandes plaques ; et que les petites plaques se forment préférentiellement près des zones de subduction, là où les plaques, en s'enfonçant dans le manteau, subissent de fortes contraintes.

Jusqu'à présent, les reconstructions de l'histoire géologique étaient fondées sur des approches statistiques. Elles suggéraient que la lithosphère était principalement composée de grandes plaques, il y a 200 millions d'années. Les plaques se seraient morcelées par la suite. D'autres chercheurs pensaient qu'il devait y avoir plus de zones de subduction dans le passé avec davantage de petites plaques, mais sans pouvoir le prouver.

Cette nouvelle étude appuie cette hypothèse et montre que la répartition entre petites et grandes plaques est restée assez stable sur plusieurs centaines de millions d'années. Les précédents modèles surestimaient, pour le passé, le nombre de grandes plaques au détriment des petites.

S. B.

C. Mallard et al., *Nature*, vol. 535, pp. 140-143, 2016

Évolution

Plumes, poils, écailles : une même origine

Le processus de formation des poils des mammifères et celui des plumes des oiseaux présentent des similitudes. Ils débutent par un placode anatomique, un épaississement de l'épiderme, au niveau embryonnaire. Nicolas Di-Poi et Michel Milinkovitch, de l'université de Genève, ont aussi observé ce phénomène chez les reptiles à écailles. Si les placodes n'avaient jamais été repérés auparavant lors de l'embryogenèse de ces animaux, c'est parce qu'ils ne se produisent jamais au même moment et au même endroit. Ce résultat est confirmé au niveau moléculaire, avec des marqueurs similaires et l'implication d'un gène commun chez les oiseaux, les reptiles et les mammifères.

W. R.-P.

N. Di-Poi et M. Milinkovitch, *Science Advances*, en ligne le 24 juin 2016

Neurosciences

Trop de faux positifs avec l'IRMf

L'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf) a révolutionné les neurosciences en une vingtaine d'années. Fondée sur la modification des propriétés magnétiques des tissus due à l'apport d'oxygène par le sang, cette méthode d'imagerie cérébrale identifie les zones du cerveau en activité, qui sont intensément irriguées. Cependant, une étude dirigée par Anders Eklund, de l'université de Linköping, en Suède, vient remettre en question les résultats de milliers d'articles utilisant cette technique : les principales méthodes de traitement des données issues d'IRMf sous-estiment le risque de faux positifs.

L'obtention d'une carte en 3D des zones actives du cerveau nécessite des traitements statistiques complexes pour extraire les signaux pertinents du « bruit » lié au fonctionnement cérébral au repos. L'analyse s'effectue d'abord sur chaque unité spatiale du cerveau (nommée voxel). Ces voxels sont ensuite regroupés en structures plus larges. Les résultats sont alors présentés avec une tolérance maximale de 5 % de faux positifs. Or Anders Eklund et ses collègues ont montré que ce seuil n'était pas vérifié par trois des principaux logiciels utilisés par les spécialistes.

Martin Tiano

A. Eklund et al., *PNAS*, vol. 113(28), pp. 7900-7905, 2016

Physique

Les vagues d'un miroir temporel

Comment inverser certains processus et reconstituer, par exemple, le vase qui vient de se briser en morceaux ? Si cela semble impossible, plusieurs méthodes ont été développées ces dernières années dans le cas de la propagation des ondes. L'équipe d'Emmanuel Fort et Mathias Fink, à l'institut Langevin (ESPCI-CNRS), apporte une nouvelle pierre à l'édifice.

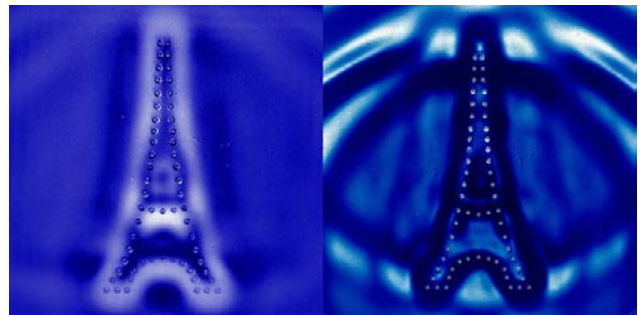
Une technique classique consiste à placer des « antennes » émettrices-réceptrices en divers points d'un milieu où se propage l'onde – qu'elle soit acoustique, électromagnétique ou une ondulation à la surface de l'eau. L'onde est alors enregistrée, traitée puis réémise « à l'envers » par les antennes. Celle-ci va en quelque sorte revivre sa vie passée en se propageant comme si le temps était inversé. C'est le principe des « miroirs à retournement temporel », qui ont de nombreuses applications.

L'équipe d'Emmanuel Fort et de Mathias Fink a trouvé un moyen de se passer de ces antennes. Dans leur dispositif, ils créent une onde dans une cuve d'eau. Au début, l'onde se propage. Puis une forte mais très brève perturbation, ici une accélération verticale de la cuve, dédouble l'onde : l'une des deux ondes résultantes continue de se propager normalement, tandis que la seconde rebrousse chemin et se refocalise sur la source de l'onde initiale. Cette seconde onde équivaut à l'onde initiale qui remonterait le temps.

Que se passe-t-il ? La perturbation fausse les conditions de validité du principe de Huygens-Fresnel qui décrit classiquement la propagation d'une onde. On montre alors que l'onde qui « remonte le temps », normalement détruite par des interférences, peut se former.

S. B.

V. Bacot et al., *Nature Physics*, en ligne le 11 juillet 2016



© V. Bacot et al./Nature Physics

Même en partant d'un motif complexe tel que des ondes engendrées par une petite tour Eiffel placée à la surface de l'eau, le système parvient à réfléchir l'onde et la refocaliser à sa source.

Une planète naine au-delà de Neptune

Provisoirement nommée RR245, une planète naine a été découverte dans la ceinture de Kuiper, au-delà de l'orbite de Neptune. Son diamètre est d'environ 700 kilomètres et sa période de révolution autour du Soleil dure 700 années terrestres. Elle se dirige actuellement vers son périhélie, le point de sa trajectoire le plus proche du Soleil, à 34 unités astronomiques, qu'elle atteindra en 2096. Son orbite est très étirée : son aphélie, le point le plus éloigné, se trouve à 120 unités astronomiques du Soleil.

Une molécule contre trois parasites

La maladie de Chagas, la leishmaniose et la maladie du sommeil touchent 20 millions de personnes dans le monde et en tuent plus de 50 000 chaque année. Les agents responsables sont des parasites unicellulaires similaires. Une équipe internationale dirigée par Frantisek Suppek, de

l'Institut de génomique de la fondation Novartis, à San Diego, en Californie, a sélectionné parmi des millions de molécules un composé, noté GNF5343, qu'elle a amélioré et testé chez des souris modèles : il se révèle bien toléré et très efficace contre les trois parasites, chez lesquels il perturbe la régulation des protéines.

Suivez les dernières actualités de Pour la Science sur les réseaux sociaux



Retrouvez plus d'actualités sur www.pourlascience.fr