

ce même calcul en seulement deux jours et demi grâce à une optimisation de l'algorithme classique. Sycamore est certes plus rapide, mais l'écart n'est pas si grand. Peut-on alors vraiment parler d'avantage quantique ?

La course est relancée avec le dernier résultat de l'équipe de Jian-Wei Pan et Chao-Yang Lu. L'approche de ces chercheurs s'appuie sur l'échantillonnage de bosons, une idée proposée en 2011 par Scott Aaronson, aujourd'hui à l'université du Texas à Austin, et Alex Arkhipov, son doctorant à l'époque. Cette méthode est aussi conçue spécifiquement pour atteindre l'avantage quantique avec un calcul inutile, mais très difficile à reproduire sur un ordinateur classique. Le principe revient à envoyer en parallèle un certain nombre de photons (qui font partie de la famille des bosons) individuels et indiscernables dans un système optique constitué d'un réseau de miroirs semi-réfléchissants. Les sorties du dispositif sont équipées de détecteurs de photons uniques.

Le système agit comme un interféromètre de grande taille et on cherche à calculer les probabilités jointes de détection de photons, c'est-à-dire les corrélations entre plusieurs détecteurs (par exemple la probabilité d'avoir un signal sur les détecteurs 3, 8 et 14 ; ou sur les détecteurs 1, 2, 3 et 7 ; etc.). Un ordinateur classique calcule avec difficulté ces probabilités. Pour les obtenir, le calcul

complet prend la forme d'une matrice dont il faut estimer le « permanent », une grandeur qui se rapproche du déterminant de la matrice, mais qui est bien plus fastidieuse à calculer. La complexité de ce calcul croît exponentiellement avec le nombre de photons détectés. Au-delà de quelques dizaines de photons, le résultat est hors de portée des ordinateurs classiques.

Jiuzhang a réalisé un calcul inutile très difficile à reproduire sur un ordinateur classique

Avec un ordinateur quantique, la résolution du problème est plus simple. Il n'y a pas besoin de faire le calcul laborieux du permanent de la matrice. Il suffit de réaliser le dispositif optique avec les miroirs semi-réfléchissants. Les photons injectés jouent en quelque sorte le rôle des qubits et vont alors « explorer » toutes les possibilités (comme dans l'analogie du labyrinthe). En répétant l'expérience un grand nombre de fois, on obtient la distribution statistique des photons et les probabilités jointes.

À la suite de la proposition de Scott Aaronson et Alex Arkhipov, de nombreux

spécialistes pensaient qu'il serait expérimentalement difficile de contrôler assez de photons dans le dispositif imaginé pour atteindre l'avantage quantique. En effet, pour que le système fonctionne, il faut, entre autres, pouvoir générer des photons individuels et indiscernables de façon synchrone. Les physiciens avaient réalisé ce dispositif avec une poignée de photons puis, en 2019, l'équipe de Jian-Wei Pan a développé un système d'échantillonnage de bosons portant sur une dizaine de photons. Les chercheurs ont montré que le calcul classique était difficile pour un ordinateur individuel, mais encore à la portée d'un supercalculateur.

Pour accroître encore le nombre de photons, ils ont utilisé une variante de l'échantillonnage de bosons, l'« échantillonnage gaussien de bosons », qui n'utilise plus des sources de photons uniques. L'« ordinateur quantique » de l'équipe chinoise, nommé Jiuzhang, comporte 100 entrées. Les photons traversent ensuite un circuit de 300 miroirs semi-réfléchissants et 75 miroirs. Ils émergent par l'une des 100 sorties munies d'un détecteur. Les chercheurs ont obtenu la distribution de probabilité de photons en 200 secondes environ. Ils avaient en moyenne 43 photons détectés pour chaque tirage, et un maximum de 76 photons. Ces nombres élevés de particules donnent une idée de la complexité du calcul à traiter par l'approche classique.

Les chercheurs ont estimé que le supercalculateur chinois Sunway TaihuLight (quatrième supercalculateur mondial en novembre 2020) exécutant un algorithme optimisé obtiendrait le même résultat en 2,5 milliards d'années ! De façon générale, les spécialistes saluent le résultat de l'équipe de Jian-Wei Pan. La performance technique est une démonstration forte des progrès de la photonique dans la course à l'ordinateur quantique. Cependant, nombre de chercheurs soulignent que, pour l'instant, une machine comme Jiuzhang n'effectue pas un calcul utile et n'est pas programmable pour résoudre des problèmes concrets – contrairement à la puce Sycamore de Google, qui est un vrai processeur programmable mais limité par son petit nombre de qubits. La course à l'ordinateur quantique continue ! ■

SEAN BAILLY

H.-S. Zhong et al., *Science*, en ligne le 3 décembre 2020



Le processeur Sycamore qui est au cœur de l'ordinateur quantique de Google manipule 53 qubits. Il est programmable, contrairement au dispositif photonique de l'équipe de Hefei.

NEUROBIOLOGIE

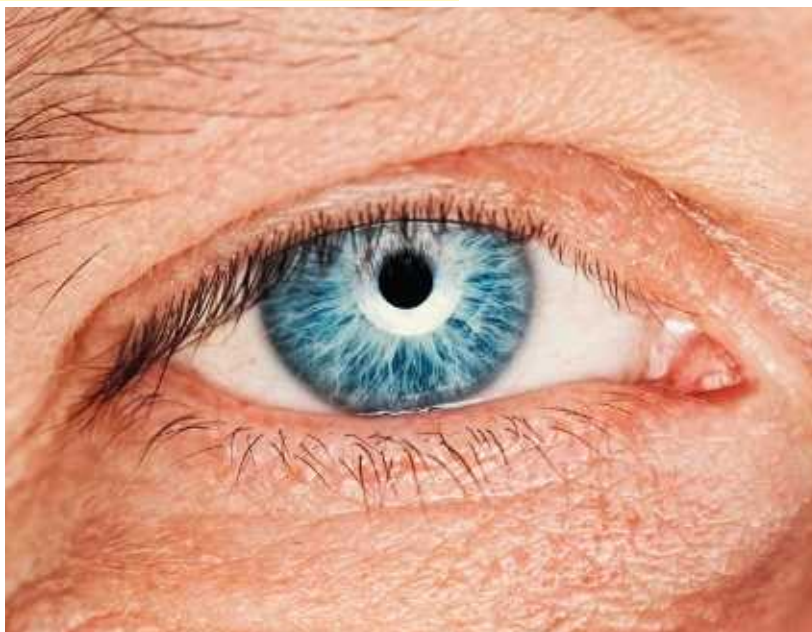
UN ÉLIXIR DE JOUVENCE POUR LA RÉTINE

Des biologistes ont inversé le processus de vieillissement des cellules rétinienne de souris, ce qui a restauré en partie la vision des animaux.

Le vieillissement est avant tout une affaire de bruit. Pour le comprendre, il faut se tourner vers l'épigénétique, une discipline étudiant les mécanismes qui modifient l'expression des gènes de façon réversible et sans altérer leur séquence. À l'aube de la vie, durant le développement embryonnaire, l'un de ces mécanismes, la méthylation de l'ADN, établit des « patrons » qui fixent l'identité et, par extension, la fonction de chaque cellule de l'organisme. Hélas, au fil du temps, et pour des raisons encore mal comprises, ces patrons s'altèrent, produisant un « bruit épigénétique » qui perturbe l'expression originale des gènes et provoque le vieillissement des cellules. Chez les mammifères, le système nerveux central est l'un des premiers à subir les conséquences de ce phénomène, notamment en perdant ses capacités régénératrices. Mais si les mécanismes épigénétiques sont réversibles, serait-il possible de réaliser l'un des plus vieux rêves de l'humanité en inversant le processus du vieillissement ? David Sinclair, de la faculté de médecine de l'université Harvard, et ses collègues se sont penchés sur la question chez des souris âgées ou atteintes d'un glaucome. Grâce à trois gènes, ils sont parvenus à restaurer la prime jeunesse et la fonctionnalité partielle de leurs yeux.

Ces biologistes ont visé les neurones de la rétine – les cellules ganglionnaires qui constituent le nerf optique, lui-même en charge de la perception visuelle. Lorsque les axones de ces cellules – les fibres nerveuses qui conduisent les signaux électriques jusqu'au cerveau – sont endommagés par le vieillissement naturel ou une maladie telle que le glaucome, il s'ensuit une perte progressive de la vision allant jusqu'à la cécité. L'objectif des chercheurs était donc de réinitialiser l'épigénome de ces neurones, c'est-à-dire l'ensemble de leurs modifications épigénétiques, sans effacer leur identité, afin de rétablir leurs capacités régénératrices.

Pour ce faire, ils ont recouru à un cocktail de gènes utilisé en 2006 par le Prix Nobel de médecine Shinya Yamanaka pour reprogrammer génétiquement des cellules spécialisées en cellules souches pluripotentes, capables de se différencier en certains types cellulaires.



Le glaucome est une maladie dégénérative du nerf optique qui détériore la vision. Une piste pour le contrer est de rajeunir les neurones qui constituent ce nerf.

Exprimés au stade embryonnaire et réprimés à l'âge adulte, ces gènes codent des protéines nommées « facteurs de transcription » qui régulent l'expression de différents gènes. La reprogrammation qu'ils induisent réinitialise en quelque sorte les cellules et, notamment, remet à zéro « l'âge de méthylation de l'ADN ».

David Sinclair et ses collègues ont fait exprimer trois gènes du cocktail chez leurs souris modèles pendant plusieurs jours, puis ils ont étudié les effets sur des gènes altérés par l'âge. Résultat : les neurones modifiés avaient retrouvé leurs patrons originaux de méthylation et le profil d'expression de leurs gènes n'était plus perturbé. De plus, leur axone repoussait, leur identité était conservée et aucune tumeur n'avait émergé. La vision des souris a par ailleurs été partiellement restaurée. Une piste novatrice et engageante pour laquelle il faudra notamment vérifier les effets à long terme. ■

WILLIAM ROWE-PIRRA

Y. Lu et al., *Nature*, vol. 588, pp. 124-129, 2020

EN BREF

SURVIVRE DANS LE KÉFIR

Le kéfir est une boisson de lait fermenté, qui contient des colonies de bactéries et de levures. Sonja Blasche et ses collègues du Laboratoire européen de biologie moléculaire, en Allemagne, ont montré que, par eux-mêmes, la plupart des microorganismes qui composent le kéfir ne sont pas adaptés pour survivre dans le lait. Cependant, en communauté, ils sont capables de coloniser ce dernier en produisant chacun des métabolites qui permettent aux autres de survivre dans ce milieu.

Nature Microbiology, 4 janvier 2020

MÉTHANE SOUS INFLUENCE LUNAIRE

D'importantes quantités de méthane gisent dans les sédiments du plancher de l'océan Arctique. Nabil Sultan, de l'Ifremer, et ses collègues ont montré que ces gisements étaient sensibles à de faibles variations de pression de la colonne d'eau au-dessus, et donc de la marée : à marée haute, la pression est plus importante, il y a moins de fuites de gaz, et inversement à marée basse. Les émissions de gaz à effet de serre en Arctique seraient ainsi sous l'influence... de la Lune !

Nature Comm., 9 octobre 2020

RECYCLER L'ARGENT ET LE PALLADIUM

L'industrie fait un usage important de métaux rares comme le palladium ou l'argent, mais ceux-ci sont disponibles en quantités limitées et on les retrouve dans les déchets où ils deviennent une source de pollution. Foni Biswas et ses collègues, de l'université de Kanazawa, au Japon, ont mis au point un procédé de recyclage de ces deux métaux. En utilisant comme adsorbant de la cellulose modifiée, ces chercheurs ont pu extraire 99 % du palladium et de l'argent présents dans des rejets industriels.

Chemical Engineering Journal, 5 octobre 2020

BIOLOGIE VÉGÉTALE

LES RACINES ET LA CONCURRENCE

Sières de l'absorption de l'eau et des nutriments du sol, les racines conditionnent la croissance végétale et donc les rendements agricoles. À l'échelle globale, elles représenteraient un tiers de la biomasse végétale vivante et constituent ainsi d'importants réservoirs de carbone. Cependant, la croissance du réseau racinaire était jusqu'ici assez mal comprise, notamment en présence de plusieurs réseaux concurrents. Les plantes ont-elles une stratégie « agressive » pour préempter un maximum de ressources ou « coopérative » avec un partage équitable ?

En s'appuyant sur la théorie des jeux, Ciro Cabal, de l'université de Princeton, aux États-Unis, et ses collègues ont établi un nouveau modèle capable d'expliquer la répartition des racines dans le sol. Leur modèle prend en compte le coût pour la plante de développer une racine en fonction de la distance de cette dernière à la tige. Plus une racine croît loin de la tige, plus elle coûte en énergie et en matière à la plante, car il faut y transporter des molécules organiques et y mettre en place un ensemble de vaisseaux capables d'acheminer l'eau et les



© C. Cabal / université de Princeton

Des plants de poivrons ont été placés seuls ou par deux pour étudier comment le réseau de racines se développe dans ces deux situations.

nutriments jusqu'à la tige. Et comme une plante est capable de percevoir les ressources dans le sol environnant, mais aussi la présence de racines étrangères, elle répond à ces stimuli et adapte le développement de ses racines. D'après le modèle, en présence de concurrents, la plante diminue l'étendue de son système racinaire, mais développe une surdensité de racines près de sa tige. Les chercheurs ont confirmé ce comportement en observant les racines de plants de poivrons cultivés seuls ou par deux. ■

NICOLAS BUTOR

C. Cabal *et al.*, *Science*, vol. 370, pp. 1197-1199, 2020

GÉOSCIENCES

STOREGGA, UN TSUNAMI PAS TROP DESTRUCTEUR

De puis longtemps, les archéologues s'étonnaient de ne pas avoir retrouvé de traces des habitants du Doggerland, une masse de terre qui, il y a 8200 ans, occupait encore une bonne partie de la mer du Nord quand se produisit le plus grand tsunami connu, le Storegga. En 2018, James Walker, de l'université de Bradford, et ses collègues ont carotté un grand système paléofluvial situé sous la mer face au Lincolnshire dans le sud de l'Angleterre. Ils y ont découvert les dépôts turbulents du Storegga jusqu'à 42 kilomètres à l'intérieur des anciennes vallées, mais aucune sur les terres attenantes. Cela suggère que dans le sud du Doggerland, le tsunami fut canalisé par les rivières, tandis que sa violence était atténuée par l'île Dogger, une île de l'époque devenue aujourd'hui le Dogger Bank, un immense banc de sable situé à 20 mètres de profondeur en pleine mer du Nord. Il est clair



© M. Muru

La plus grande partie du Doggerland aurait disparu en 1000 ans il y a quelque huit millénaires.

désormais que si le Storegga a certainement traumatisé les populations du Doggerland, celles-ci n'ont disparu que bien après lui. ■

FRANÇOIS SAVATIER

J. Walker *et al.*, *Antiquity*, vol. 94, pp. 1409-1425, 2020 ; V. Gaffney *et al.*, *Geosciences*, vol. 10, art. 270, 2020