

Une autre région particulièrement riche en répétition est le centromère, la partie centrale et dense au niveau de laquelle les chromosomes sont coupés lors de la division cellulaire.

Pour séquencer ces régions répétitives, l'équipe s'est appuyée sur certaines avancées techniques majeures : les machines de séquençage «longue lecture». Celle de l'entreprise britannique Oxford Nanopore Technologies est capable de lire jusqu'à 1 million de lettres de l'ADN en une seule fois, avec une précision correcte, mais pas optimale, tandis que celle de la compagnie américaine Pacific Biosciences peut en lire environ 20 000 mais avec une précision de 99%. C'est en combinant ces deux approches que les chercheurs ont reconstruit, après de longs mois, chaque chromosome, d'un télomère à l'autre.

Le nouveau génome publié est composé de 3,055 milliards de paires de bases nucléiques et de 19 969 gènes codant des protéines. Parmi ces derniers, 3 604 sont uniquement décrits par ce modèle, mais seulement 140 d'entre eux sont susceptibles d'être exprimés chez un individu donné, les autres étant inactifs. De plus, en comparant à différentes bases de données, les chercheurs ont identifié 2 millions de variants de gènes supplémentaires grâce à ce génome, parmi lesquels 622 concernent des gènes à l'importance médicale reconnue. Ces résultats révèlent aussi de tous nouveaux détails à propos du centromère, dont le fait que les variations génétiques y sont particulièrement nombreuses. Leur étude devrait permettre aux chercheurs d'en apprendre plus sur notre histoire évolutive, mais aussi de comprendre comment elles contribuent à l'émergence de certaines maladies.

Ce premier génome complet a été réalisé à partir d'une seule et unique personne. Des membres du consortium aspirent désormais à lire les séquences ADN entières de centaines de personnes issues du monde entier, afin de capturer de façon exhaustive la diversité humaine. En attendant, ce génome fait office de véritable pierre de Rosette, grâce à laquelle chercheurs et médecins pourront examiner les variations génétiques dans des centaines de milliers d'autres génomes. ■

William Rowe-Pirra

S. Nurk et al., *Science*, 2022

GÉOSCIENCES

Estimer l'ampleur d'une éruption à distance

Le 15 janvier 2022, l'éruption d'un volcan sous-marin a détruit 90 % de l'île inhabitée de Hunga Tonga Ha'apai. En général, le suivi de ces événements dans des zones reculées est difficile, faute de données sur place. Le géophysicien Piero Poli a mis au point un algorithme pour les étudier à distance.



Propos recueillis par Élisabeth Doré

PIERO POLI
géophysicien
à l'université
Grenoble-Alpes

En quoi l'éruption volcanique de Hunga Tonga est-elle exceptionnelle ?

À l'origine d'un panache de cendres de 50 kilomètres de hauteur, l'éruption du volcan Hunga Tonga est probablement la plus importante survenue au XXI^e siècle. Elle a engendré des perturbations de l'atmosphère ainsi qu'un tsunami qui a touché plusieurs régions côtières à travers le Pacifique. Jusqu'ici, les scientifiques devaient se rendre sur le terrain pendant plusieurs semaines pour estimer le volume de cendres et de laves produites. Mais pour des volcans comme Hunga Tonga, très éloignés des stations géophysiques et situés en plein océan, se rendre sur le terrain est d'autant plus laborieux. Pouvoir produire une estimation rapide des paramètres d'une éruption volcanique par d'autres techniques est donc un enjeu actuel majeur.

Quelle méthode avez-vous utilisée pour évaluer l'ampleur de cette éruption ?

Nous avons développé une méthode pour identifier rapidement les éruptions explosives en nous fondant sur l'analyse des données sismiques, et plus particulièrement l'enregistrement des ondes de surface dites Rayleigh. Ces ondes sont enregistrées presque en temps réel dans de nombreuses stations à travers le globe et sont obtenues dans les deux heures qui suivent l'éruption. Pour déterminer l'amplitude de l'éruption du volcan Hunga Tonga, nous avons simulé la force verticale nécessaire pour produire les signaux enregistrés.

Nous avons ensuite dérivé le volume de matériel éjecté à partir de nos données sismologiques afin de déterminer l'indice d'explosivité volcanique (VEI), qui s'étend sur une échelle de 0, pour les éruptions de faible ampleur avec peu de volume éjecté, à 8 pour des éruptions explosives qui rejettent de grands volumes de matière. Avec notre modèle, nous estimons que l'éruption du volcan Hunga Tonga a éjecté un volume de 10 kilomètres cubes de matériel volcanique avec un VEI d'environ 6.

Comment avez-vous testé cet algorithme ?

Pour vérifier la robustesse de notre modèle, nous avons appliqué la même analyse aux données enregistrées en 1991 lors de l'éruption du volcan Pinatubo, en Indonésie. Pour ce volcan, les caractéristiques de l'ampleur de l'éruption avaient été obtenues à l'aide de données collectées sur le terrain, ce qui avait permis d'estimer précisément le volume de matériel éjecté (10 kilomètres cubes) et son VEI (6), identiques aux paramètres que nous avons estimés pour le volcan Hunga Tonga. En utilisant seulement les données sismiques enregistrées en 1991, nous avons obtenu les mêmes résultats qu'avec les données collectées sur le terrain. Ainsi, notre méthode est assez fiable pour fournir un ordre de grandeur général des caractéristiques d'une éruption.

Cet algorithme pourrait-il remplacer les méthodes standard pour l'étude des volcans ?

Le point fort de cette méthode est qu'elle est facile d'utilisation car elle est fondée sur l'enregistrement de données sismologiques qui sont faciles et rapides à obtenir. Cependant, elle ne fournit que des ordres de grandeur de l'ampleur d'une éruption car certaines informations, que nous pourrions seulement obtenir sur le terrain, sont manquantes. Ainsi notre méthode doit rester complémentaire des méthodes directes, plus précises mais plus fastidieuses. Nous espérons néanmoins que notre démarche sera généralisée afin d'étudier plus facilement les grandes éruptions. Il serait également intéressant d'explorer le potentiel de notre méthodologie appliquée à d'autres situations qui engendrent aussi des signaux sismiques comme les tremblements de terre et l'activité de volcans sous-marins de grande profondeur. ■

P. Poli et N. M. Shapiro, *Geophysical Research Letters*, 2022

PHYSIQUE DES PARTICULES

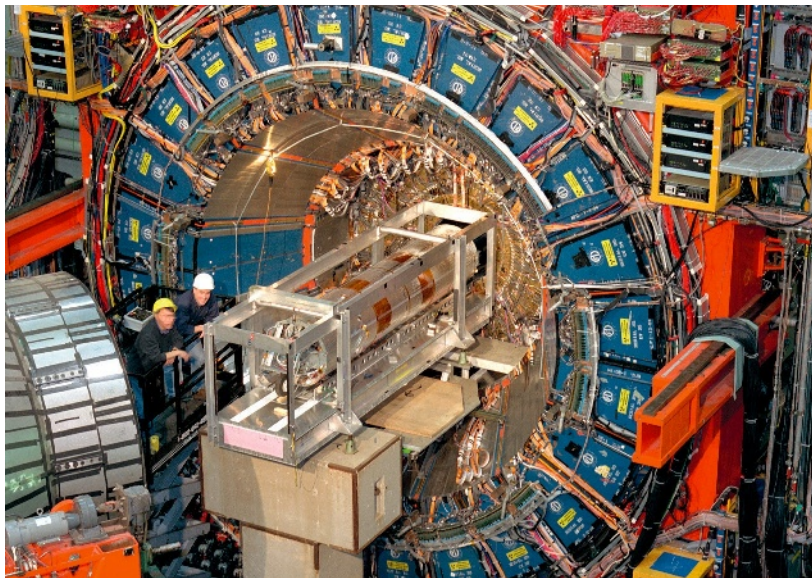
QUI A COMMANDÉ UN BOSON W TROP LOURD ?

La nouvelle mesure de la masse de cette particule est plus lourde que ce que prévoit le modèle standard. Faut-il y voir un signe de nouvelle physique ?

En 1936, lors de la découverte du muon, une version plus massive de l'électron, le physicien Isidor Isaac Rabi (prix Nobel en 1944) s'était exclamé «mais qui a commandé cela?». Cette histoire fait écho au résultat récent de la collaboration CDF (*Collider Detector at Fermilab*), une expérience de l'accélérateur du Fermilab, près de Chicago. Malgré l'arrêt de ce collisionneur en 2011, les physiciens ont continué d'analyser les données collectées. Et après dix ans de travail, une équipe vient d'annoncer l'estimation de la masse du boson W, une particule responsable de l'interaction faible: 80 433 mégaélectronvolts (un peu plus de 80 fois la masse d'un proton) avec une incertitude de seulement 0,01%. Or ce résultat est incompatible avec la valeur théorique de 80 357 mégaélectronvolts calculée dans le cadre du modèle standard de la physique des particules. Comment comprendre cette différence infime de 0,1%? Le modèle standard est-il défaillant, ou y a-t-il un problème avec l'analyse?

Depuis cinquante ans, le modèle standard de la physique des particules a été testé de maintes façons et n'a jamais été mis en défaut. Pourtant, les spécialistes ont de bonnes raisons de penser que ce modèle n'est pas la description ultime des particules fondamentales. Les physiciens cherchent donc les indices d'une théorie plus fondamentale dont le modèle standard ne serait qu'une approximation. Un tel indice se manifesterait par l'intermédiaire d'une mesure dont le résultat s'écarterait sensiblement de ce que prévoit le modèle.

L'annonce sur la masse du boson W est-elle donc le signal tant attendu? Malheureusement, la situation est loin d'être simple. De précédentes estimations, au LHC (Large Hadron Collider) notamment, sont toutes compatibles avec la prédiction du modèle standard. Pour Matthias Schott, de l'université de Mayence, en Allemagne, spécialiste de cette mesure sur l'expérience *Atlas*, au LHC, la priorité n'est donc pas de comprendre l'écart entre la mesure de CDF et le modèle standard, mais de comprendre pourquoi ce résultat est si différent des autres. La prudence est effectivement de mise. La mesure de la masse du boson W a la



L'expérience CDF au Fermilab, près de Chicago, a enregistré des données de collisions à haute énergie entre 1985 et 2011. Près de 400 chercheurs dans 23 pays continuent d'analyser ces données. L'expérience est un assemblage de détecteurs qui enregistrent la trajectoire et l'énergie des différentes particules produites lors d'une collision.

réputation d'être particulièrement difficile. «C'est le genre d'analyse où le diable se cache dans les détails», souligne Olivier Arnaez, physicien de l'expérience *Atlas*.

Pour les théoriciens, en faisant le pari de la validité de la mesure de CDF, ce résultat est l'occasion d'éprouver des hypothèses qui expliqueraient cette masse «anormale» du boson W. Différentes pistes sont explorées, telle la supersymétrie, une théorie qui suggère que chaque particule du modèle standard est dotée d'un superpartenaire plus massif.

Avec le redémarrage prochain du LHC, il y a de fortes chances que les équipes aient à cœur de poursuivre cette analyse avec de nouvelles données, mais surtout en étudiant les effets fins dans les données déjà collectées. Mais si les résultats au LHC confirment une compatibilité avec le modèle standard, comment les concilier avec la valeur de CDF? «Sur le sujet de la masse du boson W, je pense qu'il est temps de dépasser les résultats individuels des expériences du Fermilab et du LHC et de privilégier une mise en commun des meilleures pratiques avec possiblement un partage des données. L'union fait la force!», commente Olivier Arnaez. ■

Sean Bailly

Collaboration CDF, *Science*, 2022

EN BREF

Contrôle du vol chez l'abeille

Comment les abeilles contrôlent-elles leur altitude de vol ? Julien Serres, de l'université Aix-Marseille, et ses collègues ont testé l'hypothèse selon laquelle ces insectes utilisent la vitesse de défilement du sol (plus on est haut plus le sol défile lentement). Ils ont introduit des abeilles dans un tunnel dont le sol et le plafond étaient recouverts de miroirs qui annulent l'effet de défilement. Les abeilles étaient désorientées et finissaient par s'écraser contre les parois.

Biology Letters, 23 mars 2022

Le plus vieux calendrier Maya

À l'aide d'une datation au radiocarbone de peintures murales issues du site maya San Bartolo, au Guatemala, David Stuart, de l'université du Texas à Austin, et ses collègues ont trouvé une preuve de la plus ancienne notation connue du calendrier maya : une date, « 7 Cerfs », inscrite de 300 à 200 ans avant notre ère. Cette date faisait partie du calendrier divinatoire de 260 jours utilisé dans toute la Méso-Amérique.

Science Advances, 13 avril 2022

La mémoire des cellules intestinales

Lors d'une réinfection, les cellules de l'immunité adaptative neutralisent plus vite les agents pathogènes déjà rencontrés grâce à leur fonction mémoire. Or l'équipe de James Di Santo, de l'institut Pasteur, a aussi identifié, dans l'intestin, une fonction mémoire chez des cellules de l'immunité innée, le système de défense précoce de l'organisme. Lors d'une nouvelle infection, ces dernières réduisent plus efficacement la charge bactérienne grâce à une prolifération accrue et une production massive de molécules pro-inflammatoires.

Science, 25 février 2022

BIOLOGIE ÉVOLUTIVE

UNE ATTRANCE HÉRITÉE

Pour savoir si les parents peuvent transmettre à leurs descendants la réponse de leur organisme à une influence environnementale, Oded Rechavi, de l'université de Tel Aviv, et ses collègues se sont intéressés à la transmission de l'attractivité sexuelle chez le nématode *Caenorhabditis elegans*. Ce ver est en général hermaphrodite, 1 individu sur 200 étant un mâle. Son mode de reproduction le plus fréquent est l'autofécondation. Mais une température de milieu trop élevée change sa stratégie reproductive. Les vers sécrètent de façon précoce une phéromone qui attire les mâles. Après que dix générations ont été soumises à ce stress, les chercheurs ont constaté que leurs descendants maintenaient le même comportement pendant trois générations même si la température redevenait normale. Les chercheurs ont alors étudié, dans les cellules germinales, des petits ARN interférents, produits en réponse à certaines conditions environnementales, tel un stress thermique. Ces petits ARN influent sur l'expression de divers gènes en clivant spécifiquement des séquences d'ARN messagers. Pour savoir si les ARN interférents sont impliqués dans l'héritage de l'attraction sexuelle, l'équipe de Oded Rechavi a



Caenorhabditis elegans est un ver nématode transparent d'environ 1 millimètre. Il est devenu un organisme modèle en biologie pour établir les bases génétiques et moléculaires du développement.

empêché leur transmission à la descendance en désactivant Argonaute HRDE-1 (cette protéine, couplée aux petits ARN, assure leur transmission) chez les parents stressés. Le pool des ARN interférents était alors appauvri chez la progéniture non stressée, qui ne présentait plus le caractère sexué. Les générations non stressées héritent donc de la capacité à devenir précocement attractantes grâce à la transmission d'ARN parentaux synthétisés en réponse au stress. ■

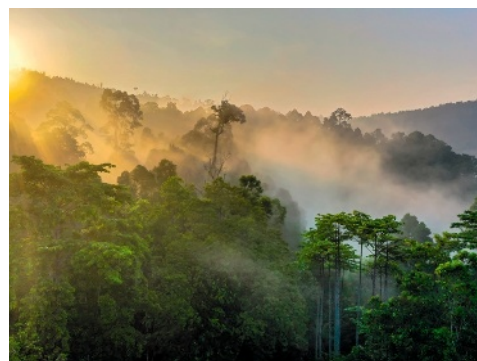
Élisa Doré

I. A. Toker et al., *Cell Reports*, 2022

CLIMATOLOGIE

L'IMPACT BIOPHYSIQUE DES FORÊTS

Les forêts jouent un rôle important dans la régulation du climat. Notamment, elles captent de grandes quantités de dioxyde de carbone (CO_2) de l'atmosphère et le séquestrent sur de longues périodes. Mais leur contribution comporte aussi d'autres phénomènes bien moins documentés. Deborah Lawrence, de l'université de Virginie, aux États-Unis, et ses collègues ont évalué les contributions relatives de trois effets biophysiques principaux : l'albédo, le pouvoir réfléchissant d'une surface (les nuages, comme la neige, réfléchissent beaucoup la lumière alors que les forêts l'absorbent) ; l'évapotranspiration des arbres, où l'eau du sol, transférée vers l'atmosphère et transformée en vapeur d'eau, refroidit le milieu ; la rugosité de la canopée, une microtopographie qui, soumise au vent,



Les forêts séquestrent le dioxyde de carbone mais ont aussi d'autres actions biophysiques sur le climat.

produit des microturbulences, ce qui dissipe la chaleur et refroidit le milieu. Au total, ces effets biophysiques refroidissent la planète d'environ $0,5^\circ\text{C}$, ce qui correspond à un tiers de la contribution des forêts au climat. ■

Isabelle Bellin

D. Lawrence et al., *Frontiers in Forest and Global Change*, 2022