

obtenus par la méthode Levallois (pointes, éclats retouchés...) suggère que des humains les avaient apportés là. Les chercheurs ont aussi découvert une boîte crânienne humaine déformée par les mouvements de terrain et accompagnée de plusieurs restes de la face, une mandibule quasi complète d'adulte, plusieurs éléments postcrâniens et toute une série de dents.

Ces restes humains et ceux trouvés dans les années 1960 représentent au moins cinq individus: trois adultes, un adolescent et un enfant. Ils proviennent d'une strate contenant des outils dont la datation par thermoluminescence donne un âge de 315 000 ans à 34 000 ans près. Une autre technique confirme ce résultat. Ce sont donc les plus anciens fossiles d'*H. sapiens* connus à ce jour.

Outre leur caractère *sapiens*, l'examen de ces restes révèle plusieurs traits archaïques. Les plus évidents sont une forme de l'encéphale assez différente de celle des *H. sapiens* récents et, pour l'un des crânes, des arcades sourcilières proéminentes. Plus gracile que celle d'un Néandertalien, la face des humains de Jebel Irhoud est aussi assez courte.

Pour confirmer l'appartenance des fossiles à l'espèce *H. sapiens*, l'équipe de Jean-Jacques Hublin a réalisé une analyse morphométrique en 3D, une technique statistique qui permet, après avoir mesuré de nombreux traits, de représenter les diverses formes anatomiques par des points dans un espace abstrait. Il en ressort que les hominidés de Jebel Irhoud se placent au milieu du nuage de points correspondant aux *H. sapiens*.

Les chercheurs constatent aussi que les fossiles de Jebel Irhoud peuvent être rapprochés de ceux d'Omo 1 et 2 (195 000 ans, Éthiopie) et de celui, controversé, de Florisbad (259 000 ans, Afrique du Sud). Par ailleurs, on retrouve certains des traits des fossiles de Jebel Irhoud en plusieurs endroits d'Afrique et à plusieurs dates, ce qui suggère une évolution en mosaïque d'*H. sapiens*, c'est-à-dire que ses traits auraient évolué à des vitesses différentes suivant les lieux. Un phénomène peut-être lié à l'épisode climatique qui, il y a environ 330 000 ans, a entraîné une très forte réduction du Sahara et donc rendu possible la circulation entre l'Afrique du Nord et le reste du continent. ■

FRANÇOIS SAVATIER

J.-J. Hublin et al., *Nature*, vol. 546, pp. 289-292, 2017 ;
D. Richter et al., *ibidem*, pp. 293-296

Accord de Paris : l'impact du retrait américain

Les États-Unis se retirent de l'accord de Paris sur le climat. Quelles en seront les conséquences ? La réponse de Valérie Masson-Delmotte, paléoclimatologue qui copréside depuis 2015 le groupe de travail n° 1 (principes physiques du changement climatique) du Giec, le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat.



Propos recueillis par FRANÇOIS SAVATIER

VALÉRIE
MASSON-DELMOTTE
Laboratoire des sciences
du climat et de
l'environnement, CEA,
Gif-sur-Yvette

À moyen terme, quel pourrait être l'impact du retrait américain sur les émissions de gaz à effet de serre ?
Valérie Masson-Delmotte : Rappelons que les États-Unis représentent 25 % des émissions cumulées historiques de CO₂, et aujourd'hui 15 % des émissions mondiales. Malgré la décision du président américain, ce qui compte, ce sont les actions menées aux États-Unis pour réduire les émissions en jouant sur les normes ou l'efficacité énergétique de différents secteurs. Depuis l'élection de Donald Trump, la nouvelle administration américaine a annulé certaines décisions mises en place précédemment qui visaient à mettre les États-Unis en phase avec leur engagement pour l'horizon 2025 (- 26 à - 28 % par rapport à 2005 dans l'accord de Paris).

Un groupe de réflexion américain a évalué que, du fait de ces décisions puis de leur annulation, les émissions américaines devraient continuer à diminuer jusqu'en 2020 (suite aux actions réalisées jusqu'à ce jour), mais stagneront après 2020. Mais ces conclusions doivent être revues en prenant en compte les milliers d'acteurs américains (neuf États, des centaines de villes et d'universités, des milliers d'entreprises) qui veulent mettre en œuvre l'engagement américain à l'horizon 2025. Ils représentent plus de 120 millions de citoyens des États-Unis.

Et à long terme ?

V. M.-D. : À long terme, c'est la question de l'innovation, en vue des technologies efficaces de demain, qui est cruciale. Le projet de budget de la Maison Blanche prévoit de fortes coupes dans de nombreux secteurs de la R&D de l'Agence pour la protection de l'environnement (EPA) du Département de l'énergie. Cela n'incite pas à l'optimisme...

Quelles conséquences potentielles sur l'attitude des autres pays pourrait avoir le retrait des États-Unis ?

V. M.-D. : Il est difficile à ce stade de l'évaluer, mais la plupart des signataires de l'accord de Paris, y compris les grands pays émergents, ont annoncé la poursuite ou le renforcement de leur ambition. La Chine pourrait avoir atteint son INDC, c'est-à-dire sa contribution décidée à l'échelle nationale, près de dix ans avant la date prévue de 2030. L'Inde, dont les émissions augmentent actuellement de 7 % par an en moyenne, vient de décider de développer les énergies renouvelables plutôt que le charbon. C'est encourageant.

Et quelle sera l'incidence sur le climat ?

V. M.-D. : À court terme, il est délicat de le prévoir. L'ensemble des études réalisées à partir des INDC de l'accord de Paris (en supposant une intensification de l'effort après 2030) suggère un bénéfice d'au moins 1 °C par rapport au « laisser-faire », ce qui est très important.

Quels risques la Maison Blanche fait-elle courir aux recherches américaines ?

V. M.-D. : Le projet de budget de la Maison Blanche est tragique pour plusieurs domaines de recherche, comme à l'EPA, à la Nasa, à la Noaa et à la NSF, puisqu'il prévoit des coupes sombres allant jusqu'à 40 % pour les sciences du climat et de l'environnement. Le désarroi de nos confrères américains s'est traduit dans l'importance de la Marche pour les sciences dans un pays où il est rarissime que les chercheurs manifestent. Tout va dépendre du vote du budget par le Congrès. Mes collègues sont extrêmement préoccupés, car tout est en jeu : leur emploi, les ressources essentielles pour travailler (moyens d'observations, de calcul) et leur attractivité pour les meilleurs étudiants du monde. Les décisions américaines pourraient remettre en cause la capacité à surveiller l'état du climat global et le partage mondial des jeux essentiels de données, tels les résultats des modèles de climat, qui permettent de comparer ces derniers. ■

GÉOSCIENCES

DES LAVES PLUS CHAUDES QUE PRÉVU

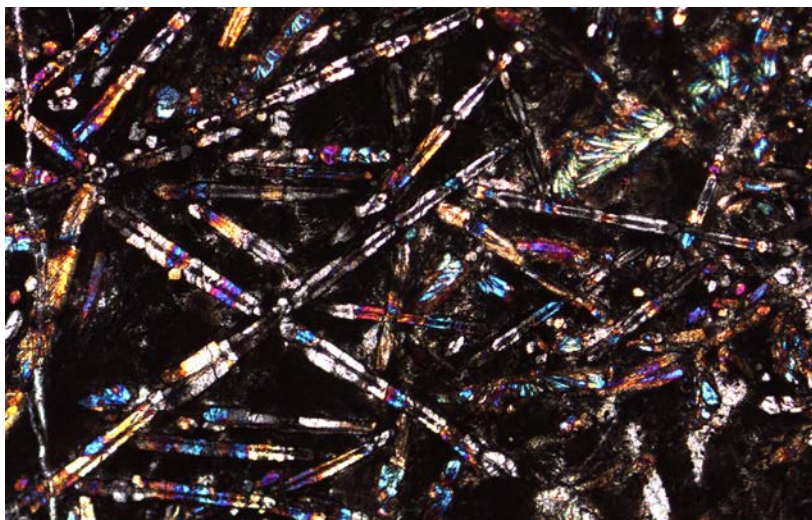
Depuis sa formation, la Terre s'est refroidie. Des géophysiciens ont pourtant découvert des roches de lave relativement récentes qui témoignent d'une température très élevée.

Quand la Terre était plus jeune, les éruptions déversant des millions de kilomètres cubes de lave et submergeant des régions entières étaient assez nombreuses. Ces épanchements de lave étaient dus à des panaches – des remontées de roche du manteau terrestre – très chauds. Or, au cours du temps, avec le refroidissement de la Terre, ces épisodes se sont raréfiés. L'absence, dans les formations géologiques récentes, de certaines roches, les komatiites, est un témoin de cette baisse de température, car elles ne se forment qu'à partir de panaches atteignant au moins 1700 °C. Aujourd'hui, les éruptions basaltiques, qui prennent leur source dans le manteau supérieur, présentent des températures de l'ordre de 1300 °C. Les géophysiciens pensaient donc que les conditions pour former des komatiites n'étaient plus réunies depuis la fin de l'Archéen, il y a 2,4 milliards d'années. Or Jarek Trela, à Virginia Tech, aux États-Unis, et ses collègues, dont des chercheurs du laboratoire ISTerre à Grenoble, ont découvert de telles roches dans des laves âgées de moins de 90 millions d'années, à Tortugal, au Costa Rica.

Les komatiites sont des roches volcaniques qui contiennent des olivines spinifex, minéraux dont la forme évoque des épines. Elles tirent leur nom de la rivière Komati, en Afrique du Sud, où elles ont été caractérisées dans les années 1960. Ces roches sont typiques de l'Archéen et il est donc très étonnant d'en trouver des plus récentes. Ce qui soulève la question du modèle thermique de la Terre.

Lors de la formation de la planète, l'accrétion de débris a libéré de grandes quantités d'énergie qui ont entrete nu des océans de magma en surface et une température élevée à l'intérieur du globe. Depuis, la planète dissipe progressivement cette énergie dans l'espace. Sa température interne diminue donc, malgré la chaleur produite par la radioactivité naturelle et par la cristallisation du noyau.

Les roches volcaniques de Tortugal proviendraient d'un panache qui se déplace d'est en ouest (et qui correspond aujourd'hui au point chaud de l'archipel des îles Galápagos). Les chercheurs du laboratoire ISTerre ont



Cet échantillon de komatiite observé au microscope sous lumière polarisée met en évidence la forme caractéristique des olivines spinifex.

500 °C

AU DÉBUT DE L'ARCHÉEN, IL Y A 3,8 À 2,8 MILLIARDS D'ANNÉES, LA TEMPÉRATURE MOYENNE DU MANTEAU TERRESTRE AURAIT ÉTÉ SUPÉRIEURE D'ENVIRON 500 °C À CELLE D'AUJOURD'HUI.

analysé les teneurs en magnésium et en aluminium des komatiites jeunes trouvées au Costa Rica, teneurs qui constituent des indicateurs de la température et de la pression lors de la formation de ces roches. Elles se révèlent comparables à celles des komatiites de l'Archéen.

Ainsi, une température supérieure de plusieurs centaines de degrés à la moyenne règne par endroits dans le manteau. Comment l'expliquer? Il est difficile de penser qu'une région localisée du manteau ait pu conserver une température élevée, étant donné les mouvements de convection et la rapidité de la diffusion thermique.

Une explication possible serait que le panache prenne sa source à la frontière entre le noyau et le manteau, où la température pourrait excéder d'au moins 500 °C la température moyenne du manteau. D'après certains modèles numériques, la température de ces régions n'a peut-être pas beaucoup changé depuis l'Archéen. Si cette hypothèse se confirme, les jeunes komatiites découvertes seraient un témoin unique des conditions régnant à près de 2800 kilomètres de profondeur. ■

SEAN BAILLY

J. Trela et al., *Nature Geoscience*, vol. 10, pp. 451-456, 2017

DES PLANÈTES EN FORME DE TORE

Simon Lock, de l'université Harvard, et Sarah Stewart, de l'université de Californie à Davis, ont imaginé un nouveau type d'objet planétaire. Si deux corps, de la taille de planètes et en rotation rapide se percutaient, ils formeraient une grande quantité de roche vaporisée conservant le mouvement de rotation initial. La planète résultante serait alors entourée d'un énorme nuage torique de débris. Les chercheurs ont nommé *synestia* un tel objet exotique.

DES CRATÈRES SOUS L'ARCTIQUE

Prés de 100 cratères de diamètre compris entre 300 et 1 000 mètres ont été répertoriés sur le fond de la mer de Barents. Karin Andreassen, de l'université arctique de Norvège, explique comment ils sont nés. Le méthane remontant de réservoirs profonds s'est retrouvé bloqué sous la calotte de la dernière période glaciaire. Il s'est accumulé sous forme de glace d'hydrates. Puis, avec le retrait de la calotte il y a environ 12 000 ans, le gaz s'est subitement libéré et a formé les cratères, qui continuent de libérer du méthane.

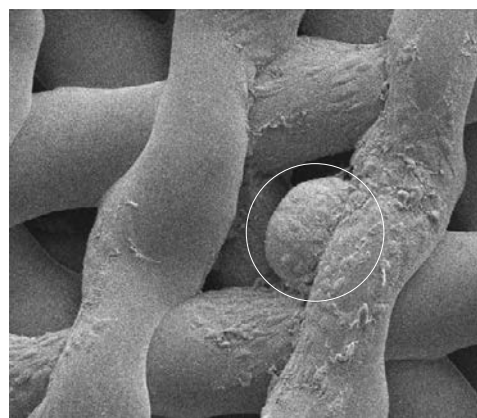
LE WIFI ESPION

En utilisant les émissions radio de votre wifi, un espion pourrait « voir » chez vous. Mais cette technique est difficile à mettre en œuvre du fait des réflexions des ondes sur les murs et autres objets. Il fallait modifier la gamme d'émission du wifi pour l'exploiter. Philipp Holl et Friedemann Reinhard, de l'université technique de Munich, ont trouvé le moyen d'utiliser le signal wifi habituel, dont le front d'onde est capté et traité comme un hologramme. Ils discernent alors l'environnement de la borne wifi. Les chercheurs envisagent déjà des applications industrielles. Les espions ont d'autres solutions, plus efficaces...

IMPRESSION 3D D'OVAIRES

De nombreuses femmes subissent des traitements anticancéreux agressifs, qui se traduisent parfois par la destruction des cellules germinales. Cela conduit à une ménopause précoce, à la stérilité, et, pour les plus jeunes, à l'absence de puberté. C'est dans ce contexte que Monica Laronda, de l'université Northwestern à Chicago, et ses collègues ont mis au point l'impression 3D d'ovaires de synthèse qui, une fois ensemencés par des follicules ovariens (des ovules dans leur environnement cellulaire) et implantés chez des souris stérilisées, ont restauré l'ensemble des fonctions de ces organes.

Le tissu ovarien synthétique mis au point consiste en un réseau régulier de fibres de gélatine, qui offre des pores de taille et de géométrie optimisées pour la survie et la maturation des follicules. Non seulement les follicules ajoutés à cet organe artificiel sont correctement maintenus et se développent sans se déformer, malgré l'augmentation considérable de leur taille lors de la maturation, mais, de plus, en quelques jours, les chercheurs ont constaté *in vivo* chez la souris une revascularisation correcte de l'ovaire imprimé, permettant



Un follicule (cercle) observé au microscope six jours après avoir été implanté dans la matrice de l'ovaire artificiel.

tout particulièrement les échanges hormonaux entre les follicules et le reste de l'organisme.

Sans intervention médicamenteuse ou chirurgicale ultérieure, les souris ont pu ensuite produire des ovulations correctes, suivies par des gestations, naissances et lactations des souris, ce qui atteste de la pleine fonctionnalité des ovaires de synthèse. La transposition aux humains de ces travaux très prometteurs se heurte encore à des difficultés. Notamment, les ovaires sont plus grands et les follicules matures doivent migrer sur des distances plus grandes. ■

MARTIN TIANO

M. M. Laronda et al., *Nature Communications*, vol. 8, article n° 15261, 2017

MIEUX GÉNÉRER DES NOMBRES ALÉATOIRES

Les techniques modernes de cryptographie utilisent des clés de chiffrement, de longues séquences de 0 et de 1. Si une clé n'est pas parfaitement aléatoire, un espion pourrait exploiter cette faiblesse pour accéder aux données chiffrées. Les équipes de Nicolas Brunner et Hugo Zbinden, de l'université de Genève, ont développé un système qui permet à l'utilisateur de contrôler en permanence la fiabilité des nombres aléatoires produits.

Pour engendrer des nombres aléatoires, une idée est d'utiliser des processus quantiques qui sont par essence aléatoires. Par exemple, certains dispositifs commercialisés envoient sur un miroir semi-réfléchissant des photons qui, au hasard, sans qu'on puisse prévoir le résultat, le traversent ou sont réfléchis. Il est cependant impossible de tester ces systèmes

a posteriori pour s'assurer que les nombres produits sont bien aléatoires. Or il peut être important de vérifier si l'appareil fonctionne mal en raison d'un défaut technique ou de l'usure.

Les chercheurs ont conçu un dispositif dans lequel on mesure l'état d'un système quantique. La mesure peut prendre les valeurs 0 ou 1, mais peut aussi produire un résultat indéterminé. L'occurrence de ces derniers cas ne peut être anticipée et est donc un phénomène quantique parfaitement aléatoire. En analysant la distribution des cas indéterminés, il est possible de vérifier en temps réel que le dispositif produit bien des nombres au hasard. ■

S. B.

J. Bohr Brask et al., *Physical Review Applied*, vol. 7, article 054018, 2017