

GÉOSCIENCES

LA TECTONIQUE DES PLAQUES A PLUS DE 3,3 MILLIARDS D'ANNÉES

Des roches volcaniques attestent que le recyclage des plaques tectoniques était déjà actif il y a 3,3 milliards d'années, plus tôt qu'on ne le pensait.

Elle remodèle sans arrêt le visage de la Terre: la tectonique des plaques déplace depuis des milliards d'années les continents les uns par rapport aux autres, modifiant la géographie, donc le climat et le monde vivant. Mais dater sa mise en place se révèle délicat. Alexander Sobolev, de l'institut des sciences de la Terre (ISTerre), à Grenoble, et ses collègues apportent de nouveaux indices montrant que ce processus était déjà à l'œuvre au Paléoarchéen (il y a entre 3,6 et 3,2 milliards d'années), 600 millions d'années plus tôt qu'on ne l'estimait précédemment.

Les chercheurs ont étudié des komatiites trouvées à Barberton, en Afrique du Sud, et formées il y a 3,3 milliards d'années. Ces roches volcaniques résultent du refroidissement de magma issu de la fusion de roches du manteau et remontant vers la surface sous la forme de panaches très chauds. Alexander Sobolev et ses collègues se sont intéressés à la chimie des inclusions vitreuses contenues dans ces komatiites pour connaître les conditions de leur formation. Alors que le magma s'est lentement refroidi en cristallisant sous la forme de minéraux, ces derniers ont parfois piégé des gouttelettes de magma qui sont passées très vite à l'état solide, formant ainsi les inclusions vitreuses.

Lors de leur analyse, les géologues ont trouvé que les roches mantelliques à l'origine de ces komatiites présentaient un excédent d'eau par rapport à ce qui était attendu pour le manteau à cette époque dans les modèles classiques d'évolution de la planète. La présence d'eau en excès en profondeur serait révélatrice d'une tectonique active: une croûte océanique hydratée aurait plongé dans le manteau (on parle de subduction) où elle se serait déshydratée, principalement au niveau du manteau supérieur, mais aussi plus profondément, dans la zone de transition entre le manteau supérieur et inférieur (entre 400 et 600 kilomètres de profondeur), où le magma commence à se former.

Pour s'assurer que l'eau en excès provient de la plongée d'une plaque tectonique, les chercheurs ont étudié la composition des inclusions en isotopes légers (H) et lourds (D) de l'hydrogène. Dans les inclusions des komatiites, le rapport D/H est plus faible que celui du manteau



Produit d'une fusion à température élevée de roches du manteau terrestre, les komatiites (ici l'une d'elles en gros plan) renseignent sur la composition ancienne de celui-ci.

1 700 °C

C'EST LA TEMPÉRATURE MINIMALE DES PANACHES NÉCESSAIRE POUR FORMER DES KOMATIITES. AVEC LE REFROIDISSEMENT DE LA TERRE, LES ÉRUPTIONS MAGMATIQUES NE PRODUISENT PLUS DE KOMATIITES DEPUIS 2,4 MILLIARDS D'ANNÉES.

paléoarchéen, et correspond à celui d'une croûte plongeante arrivée dans la zone de transition. Enfin, les géologues y ont trouvé des concentrations élevées de chlore, caractéristique de roches altérées par l'eau de mer.

À partir de tous ces indices, les chercheurs ont reconstitué le scénario à l'origine des komatiites de Barberton. Il y a 3,3 milliards d'années, un panache de roches très chaudes, en provenance du manteau profond, est remonté jusqu'à la zone de transition, où les roches ont partiellement fondu. Dans cette zone, la composition du manteau était modifiée par l'apport d'eau et de chlore d'une plaque tectonique plongeante. Ces éléments ont été entraînés par le magma du panache. Arrivé près de la surface, le magma a cristallisé, et des inclusions vitreuses porteuses de la signature géochimique de la plaque plongeante ont été emprisonnées dans les minéraux.

La tectonique des plaques aurait donc débuté il y a au moins 3,3 milliards d'années. Mais au vu du temps nécessaire au plongement d'une plaque tectonique jusqu'au manteau profond, elle avait certainement démarré bien avant la formation des komatiites de Barberton. ■

NICOLAS BUTOR

A. V. Sobolev et al., *Nature*, vol. 571, pp. 555-559, 2019

EN BREF

LA MASSE DU NEUTRINO SE PRÉCISE

Sur les trois types de neutrinos, au moins deux ont une masse non nulle, mais très petite. Les données cosmologiques ne donnent qu'une limite supérieure sur la somme des trois masses, tandis que la physique des particules ne renseigne que sur les différences entre ces masses. Arthur Loureiro, de l'University College, à Londres, et ses collègues ont examiné comment ces contraintes jouent sur la distribution statistique des galaxies. Ils en ont déduit que la masse du neutrino le plus léger est inférieure à 0,086 électronvolt. Six millions de fois moins que la masse de l'électron !

UN PREMIER VACCIN ANTICHLAMYDIA ?

La chlamydiose est une maladie sexuellement transmissible qui touche 131 millions de personnes chaque année. Chez la femme, l'infection peut entraîner des douleurs pelviennes chroniques, voire une stérilité. Sonya Abraham, de l'Imperial College, à Londres, et ses collègues ont testé, contre placebo, deux formulations d'un nouveau vaccin auprès d'une trentaine de femmes. Ces vaccins se révèlent bien tolérés et déclenchent une réponse immunitaire efficace contre la bactérie responsable de la maladie.

DES MENHIRS AUVERGNATS

À Veyre-Monton, dans le Puy-de-Dôme, Ivy Thomson et son équipe de l'Inrap ont mis au jour un alignement, unique pour la région, d'une trentaine de menhirs sur 150 mètres. Abattus et retrouvés dans des fossés, ces monolithes auraient été intentionnellement éliminés du paysage, peut-être à cause de changements de croyances. L'un des menhirs se distingue par sa nature calcaire et sa forme grossièrement anthropomorphe dotée de deux petits seins.

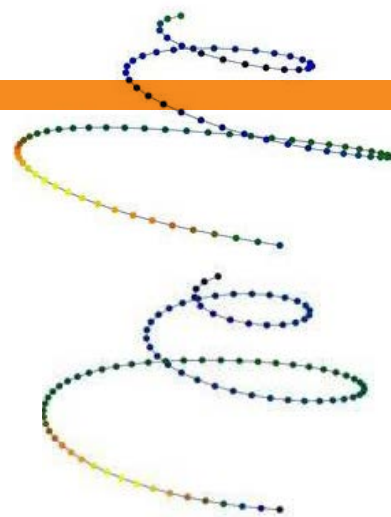
ANATOMIE HUMAINE

LA COCHLÉE INDIQUE LE SEXE

Identifier le sexe d'un humain à partir de son seul squelette n'a rien d'évident. La question se pose en médecine légale et surtout en archéologie avec des squelettes plus ou moins bien conservés. Les chercheurs utilisent différents os, mais même le bassin, le plus fiable, est sujet à caution: chez les jeunes enfants, la morphologie du bassin des filles ne diffère guère de celle des garçons. Une solution se nicherait au sein du rocher, petit os de l'oreille interne et l'un des plus solides du squelette.

Souvent bien préservé chez les fossiles, cet os héberge la cochlée, l'organe spiralé de l'audition qui convertit les ondes sonores en signaux électriques à destination du cerveau. Cet organe est le seul qui présente dès la naissance sa morphologie et sa taille définitives, qu'il imprime en creux dans le rocher. José Braga, de l'université Toulouse 3, et ses collègues viennent de montrer que la forme de la cochlée, plus précisément la torsion de sa spirale, diffère notablement selon le sexe. Ce résultat leur a permis de mettre au point une méthode fiable de détermination du sexe des squelettes, ne faisant pas appel à l'ADN.

Les chercheurs ont obtenu ce résultat grâce à des méthodes d'analyse de formes 3D complexes. Ces outils ont fourni une représentation fine de la forme spiralée de la cochlée de près



Les torsions de la forme moyenne de la spirale cochléaire masculine (en haut) et féminine (en bas) diffèrent.

d'une centaine d'individus dont les données ont été collectées par tomographie à rayons X. Une analyse statistique non supervisée (c'est-à-dire en mélangeant hommes et femmes), où l'effet de la taille a été éliminé, a montré une claire séparation des individus en fonction du sexe. La détermination à l'aveugle du sexe de chaque individu à partir de la cochlée a montré une performance moyenne de 93%. Reste à améliorer la méthode et à la tester sur des squelettes plus anciens, ce à quoi l'équipe s'attelle, et à déterminer à quel moment de l'évolution ce dimorphisme est apparu. ■

NOËLLE GUILLON

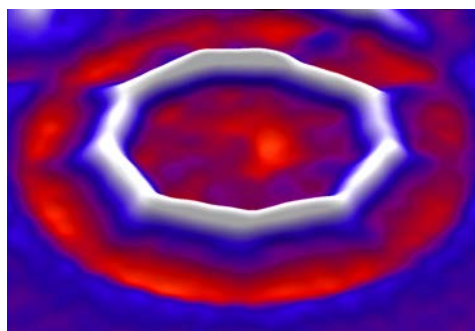
J. Braga et al., *Scientific Reports*, vol. 9, article 10889, 2019

CHIMIE

UN CYCLE EN PUR CARBONE

Diamant, graphène, nanotubes et fullérènes ont en commun de ne contenir que des atomes de carbone. Dans le premier de cette liste, chaque atome est lié à quatre voisins; dans les suivants, chaque atome est lié à trois autres atomes de carbone. Mais est-il possible de fabriquer des cycles de carbone où chacun est lié à seulement deux voisins? Parmi d'autres, le Prix Nobel de chimie Roald Hoffmann avait imaginé cette configuration dès 1966, mais toute tentative de la réaliser avait échoué. Katharina Kaiser, du laboratoire de recherche d'IBM à Zurich, et ses collègues ont réussi ce tour de force en produisant un cycle stable, formé de 18 atomes de carbone.

Pour ce faire, ils sont partis d'une molécule cyclique ($C_{24}O_6$) d'atomes de carbone contenant des groupes CO. En manipulant au



Une molécule cyclique formée uniquement d'atomes de carbone a été synthétisée pour la première fois.

microscope à force atomique la molécule à très basse température (5 kelvins), les chercheurs ont éliminé les CO excédentaires. Le résultat est un cycle où alternent des liaisons C-C triples et simples. Ce qui devrait conférer des propriétés semi-conductrices à ces molécules. ■

S. B.

K. Kaiser et al., *Science*, eaay1914, en ligne le 15 août 2019

LE CRÂNE DU SUPPOSÉ ANCÊTRE DE NOTRE ANCÊTRE PRÉSUMÉ

Le site de Woranso-Mille, en Éthiopie, était prometteur pour les paléanthropologues. Il est devenu majeur: une équipe menée par Yohannes Haile-Selassie, du Muséum d'histoire naturelle de Cleveland, dans l'Ohio, y a exhumé un crâne complet d'australopithèque daté de 3,8 millions d'années (*ci-contre*). D'après les détails de son maxillaire et de sa dentition, les chercheurs attribuent ce fossile, noté MRD, à *Australopithecus anamensis*, une espèce connue jusque-là par des fragments d'os longs, une mandibule et des dents vieux de 3,9 à 4,2 millions d'années.

Si cette identification est correcte, alors nous découvrons la face et la calotte crânienne d'*A. anamensis*, un australopithèque passant jusque-là pour l'ancêtre d'*A. afarensis*, l'espèce de la célèbre Lucy. L'étude morphologique montre que MRD présente nombre de traits primitifs, notamment une calotte crânienne évoquant celle de Toumaï, alias *Sahelanthropus tchadensis* (7 millions d'années). Estimée à 365-370 centimètres cubes, la capacité crânienne de MRD est très proche de celle de Toumaï, tandis que celle d'*A. afarensis* est un peu plus grande (380 à 430 centimètres cubes); celle de la plus ancienne forme humaine, *Homo habilis* (2,1 millions d'années) est encore plus grande (660 centimètres cubes). Les caractéristiques de la face – notamment la forme de la zone postorbitaire et la position en

hauteur du masséter, un puissant muscle de l'appareil masticateur – sont partagées à divers degrés par les hominines (la lignée Toumaï-ardipithèques-australopithèques-*Homo*), y compris par les plus anciens, Toumaï et *Ardipithecus ramidus* (4,4 millions d'années). Bref, MRD, c'est-à-dire *A. anamensis*, représente une forme intermédiaire entre les hominines anciens et primitifs et *A. afarensis*.

Or les chercheurs soulignent que la datation d'un des fossiles (celui noté BEL-VP-1/1) d'*A. afarensis* (3,9 millions d'années) prouve qu'« *A. afarensis* et *A. anamensis* ont été contemporains pendant 100 000 ans au moins. » Étrange, si *A. anamensis* est supposé être l'ancêtre d'*A. afarensis*... Mais pour Yohannes Haile-Selassie et ses collègues, la thèse que l'espèce de Lucy serait issue d'*A. anamensis* reste plausible: un petit groupe d'*A. anamensis* se serait isolé génétiquement et aurait évolué en *A. afarensis* tout en cohabitant avec le reste de la population générale d'*A. anamensis*. Sans surprise, d'autres chercheurs trouvent cela tiré par les cheveux. Une seule chose est sûre: pendant les 4 à 5 millions d'années séparant Toumaï de l'australopithèque gracile (peut-être *A. afarensis* ou *A. gahri* *A. sediba*?) qui a évolué en *Homo*, l'Afrique a foisonné d'hominines proches et différents. ■

FRANÇOIS SAVATIER

Y. Haile-Selassie et al., *Nature*, en ligne le 28 août 2019



MICROBIOLOGIE

COMMENT LES BACTÉRIES SE RÉVEILLEN

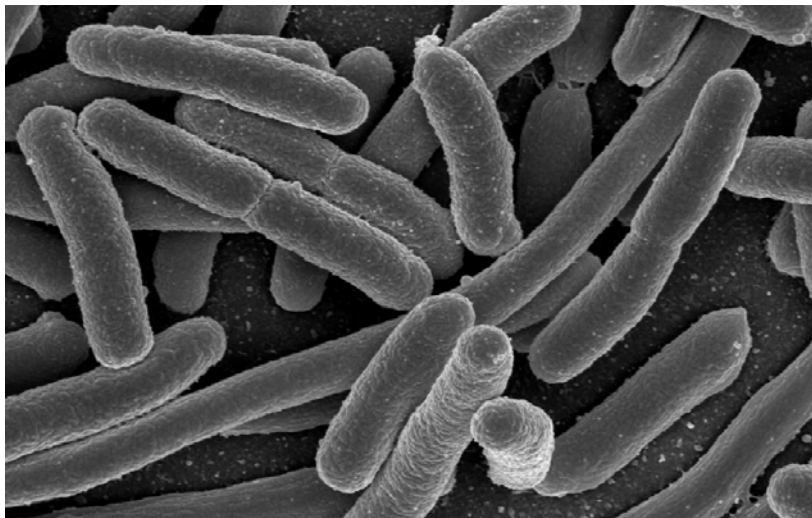
Dans certaines situations, des bactéries entrent en dormance dans l'organisme hôte. On vient d'élucider les mécanismes de leur réveil, qui relance parfois l'infection.

Il faut se méfier de la bactérie qui dort. Dans la plupart des populations bactériennes, il y a une fraction d'individus «persistants» ou «dormants». Ces bactéries sont génétiquement identiques aux autres, mais leur métabolisme est fortement ralenti. Or certains traitements sont inopérants contre ces bactéries en dormance. Elles persistent dans l'organisme et sont capables de se réveiller, se diviser et démarrer une nouvelle infection. Si l'on comprend bien le mécanisme qui déclenche la mise en dormance, ce n'est pas le cas du réveil. Dorien Wilmaerts et ses collègues, du centre de microbiologie de Louvain, en Belgique, ont découvert les mécanismes qui régissent celui-ci.

Ces chercheurs ont étudié chez la bactérie *Escherichia coli* l'une des molécules qui déclenche la mise en dormance: la toxine HokB. Ce peptide forme des paires liées. Puis ces «dimères» s'organisent en constituant un pore dans la membrane de la bactérie, qui laisse s'échapper l'ATP, la molécule fournissant l'énergie de la cellule. La toxine HokB empêche aussi la production de cette molécule du métabolisme. Sans énergie, la bactérie entre en dormance. Certains antibiotiques qui ciblent la production d'ATP, comme l'oligomycine, ne sont alors plus efficaces, et la bactérie les tolère donc momentanément.

La bactérie ne peut se réveiller qu'en arrêtant la fuite d'ATP. En détruisant ses pores? Dorien Wilmaerts et ses collègues ont en effet identifié chez *E. coli* une protéase (une enzyme qui dégrade les peptides), DegQ, qui s'attaque spécifiquement à la toxine de dormance HokB. Ainsi, dans des bactéries qui surexpriment DegQ, les concentrations en HokB sont beaucoup plus faibles. Elles perdent très peu d'ATP et n'entrent pas en dormance. Cependant, l'enzyme DegQ est incapable de dégrader les peptides quand ils sont liés par deux et ne peut donc pas directement s'attaquer aux pores. Ce qui signifie qu'un autre acteur est à l'œuvre pour déclencher le réveil.

Or les chercheurs ont constaté que, chez des bactéries modifiées où une enzyme, DsbC, ne fonctionne plus, on ne retrouve pas HokB à l'état de molécules seules, mais uniquement en dimères. De plus, la présence de la protéase DegQ ne diminue pas la concentration en HokB



Dans une population de bactéries, comme ici *Escherichia coli*, une petite partie des individus sont en dormance. Certains antibiotiques sont alors inopérants contre eux.

0,01 %

C'EST LA PART MOYENNE DE BACTÉRIES DORMANTES DANS UNE POPULATION D'E. COLI. CE NOMBRE VARIE EN FONCTION DES SOUCHES ET DES CONDITIONS DE CULTURE. IL PEUT ALLER DE PLUS DE 1 % À MOINS DE 0,001 %. OR MÊME UNE FRACTION AUSSI FAIBLE PEUT SUFFIRE À RELANCER L'INFECTION À LA FIN DE LA CURE D'ANTIBIOTIQUES.

comme elle le fait chez les bactéries non modifiées. La destruction des pores se fait donc comme suit: les dimères de HokB, qui forment les pores fonctionnels, sont coupés par l'enzyme DsbC en toxines simples, qui sont ensuite dégradées par la protéase DegQ. L'ATP ne peut plus sortir, il n'y a donc plus de perte d'énergie, la bactérie sort de sa léthargie.

Reste une question: comment la bactérie dormante récupère-t-elle l'énergie perdue? Les chercheurs ont étudié le rôle du complexe I, une enzyme impliquée dans la production d'énergie (que l'on retrouve d'ailleurs dans les mitochondries, qui fournissent l'énergie à nos cellules). Les bactéries pour lesquelles ce complexe I ne fonctionne plus peuvent entrer en dormance mais ont du mal à en sortir. Les chercheurs en ont conclu qu'en plus de la destruction des pores, une production d'énergie soutenue est nécessaire au réveil de la bactérie.

Ces travaux ne portent que sur HokB, alors que de nombreuses toxines sont impliquées dans la dormance des bactéries. Mais ils fournissent un modèle qui sera exploré pour d'autres toxines, notamment afin de lutter contre le retour d'infections lié à ce phénomène de persistance. ■

N. B.

D. Wilmaerts et al., *Molecular Cell*, vol. 75, pp. 1-12, 2019

EN BREF

L'ÉCUREUIL ÉCOUTE L'OISEAU QUI CHANTE

Quand un danger approche, les oiseaux s'arrêtent de chanter, puis reprennent peu après. Mary Lilly, d'Oberlin College, aux États-Unis, et ses collègues ont observé que des écureuils gris (*Sciurus carolinensis*) utilisaient aussi ce signal pour estimer la menace. Dans un parc, les chercheurs ont diffusé des cris de buse à queue rousse (*Buteo jamaicensis*), prédateur de petits oiseaux et d'écureuils. Les rongeurs relâchaient leur vigilance plus vite si des chants d'oiseaux étaient diffusés juste après.

UN MINIMOTEUR FAIT D'UN SEUL ION

Des physiciens de l'université de Mayence, en Allemagne, et du Trinity College, en Irlande, ont réalisé une sorte de moteur thermique fondé sur un unique ion. David von Lindenfels et ses collègues ont opéré sur un ion de calcium, piégé par des forces électromagnétiques dépendant du spin de l'ion. En manipulant ce spin par des lasers, on fournit de l'énergie, qui se transforme alors en mouvement d'oscillation de l'ion dans le piège. L'ion stocke ainsi l'énergie un peu comme un volant d'inertie.

LE PHOTOVOLTAÏQUE EST CONCURRENTIEL

En Chine, l'électricité d'origine photovoltaïque est devenue moins chère que celle (d'origines diverses) fournie par le réseau, selon Jinyue Yan, du KTH, l'institut royal de technologie de Stockholm, en Suède, et ses collègues. Ces chercheurs ont évalué les coûts et profits liés à la construction et au fonctionnement de systèmes photovoltaïques qui fourniraient de l'électricité au réseau. La comparaison avec les prix pratiqués dans 322 grandes villes chinoises montre que le photovoltaïque serait moins cher. Dans 22 % d'entre elles, il serait même moins cher que l'électricité provenant des centrales à charbon.

PALÉOANTHROPOLOGIE

DES HUMAINS À HAUTE ALTITUDE

Situées en Éthiopie, les montagnes de Balé s'élèvent jusqu'à environ 4 000 mètres d'altitude et forment une région assez inhospitalière aux conditions extrêmes, typiques des zones de haute altitude. L'air y est pauvre en oxygène, les températures y sont basses ou varient brutalement.

Pour ces raisons, on a longtemps supposé que les humains n'avaient colonisé cet endroit que très tardivement au cours de leur évolution, et seulement pour de très courtes périodes. À tort semble-t-il. Götz Ossendorf, de l'université de Cologne, et son équipe internationale ont découvert dans ces montagnes, près de l'abri de Fincha Habera, des outils en pierre et des fragments d'ossements d'animaux. L'analyse des sédiments de la zone contenant des biomarqueurs et la datation des échantillons au carbone 14 a permis aux chercheurs de conclure que des humains étaient présents à cet endroit pendant de longues périodes il y a 45 000 à 30 000 ans.

Pourquoi des hommes ont-ils colonisé cet endroit inhospitalier? Peut-être, expliquent les chercheurs, parce qu'à cette époque, l'abri se situait près de glaciers qui fondaient de façon régulière, produisant une source d'eau exploitable et accessible pour les habitants de la zone.



Vue extérieure de l'abri de Finch Habera, à 3 450 mètres d'altitude, que des humains ont occupé il y a 45 000 ans.

À cela s'ajoutait la présence de rats-taupes géants, des rongeurs endémiques de la région, qui constituaient des proies faciles à chasser.

Cette nouvelle étude renseigne non seulement sur l'histoire de la colonisation de divers habitats par les hommes, mais aussi sur le potentiel d'adaptation de ces derniers. En effet, en s'installant dans des milieux aux conditions extrêmes tels que cette région de haute altitude, les humains ont fait montre d'une grande capacité d'adaptation physique, génétique et culturelle; un potentiel qui répond aux variations des conditions environnementales d'alors. ■

WILLIAM ROWE-PIRRA

G. Ossendorf et al., *Science*, vol. 365, pp. 583-587, 2019

ÉTHOLOGIE

DES MARES BÂTIES PAR UNE GRENOUILLE

Des chasseurs rapportaient que la grenouille goliath (*Conraua goliath*), de la taille d'un lapin, construit des mares où elle dépose ses œufs, puis monte la garde. Pour en savoir plus, Marvin Schäfer, du Muséum d'histoire naturelle de Berlin, et des collègues allemands et camerounais ont arpenté les berges de la rivière Mpoula, au Cameroun, à la recherche de mares construites par ces batraciens. Au total, ils ont découvert 19 petites mares «artificielles» plus ou moins élaborées, allant de la simple dépression naturelle connectée à la rivière, débarrassée activement de sa litière (les feuilles, boues et branchages qui tombent au fond), à des mares bien circulaires, «nettoyées» et entourées de digues de pierres.

Les chercheurs n'ont pas vu cet animal farouche à l'œuvre, mais leur étude ouvre sur



La grenouille goliath est la plus grande de toutes les grenouilles. Elle crée des mares destinées à ses petits.

une perspective intéressante: la plupart des grenouilles géantes sont, comme la grenouille goliath, des bâtisseuses. Dès lors, on peut supposer que le gigantisme aurait été sélectionné comme un caractère améliorant les capacités de construction de ces grenouilles. ■

CORALINE MADEC

M. Schäfer et al., *Journal of Natural History*, vol. 53(21-22), pp. 1263-1276, 2019