

En 2013, afin d'étudier ces redondances, une équipe a supprimé un codon stop du génome d'*E. coli*. et l'a remplacé systématiquement par un codon équivalent. Mais cela n'avait un impact que sur un nombre limité (321) de codons dans l'ADN de la bactérie. Jason Chin et son équipe ont procédé à des modifications plus importantes. Ils ont remplacé deux codons de la sérine et un codon stop par des synonymes. Cela a impliqué de modifier pas moins de 18214 triplets de bases.

Le nouvel ADN a été conçu sur ordinateur et synthétisé par des processus chimiques bien maîtrisés. La difficulté rencontrée par les chercheurs venait de la taille du génome de la bactérie, qui comprend 4 millions de paires de bases. Comme il ne peut être synthétisé en une fois, les chercheurs ont dû produire des fragments de 100 000 bases, qui étaient injectés au fur et à mesure dans le génome d'*E. coli*. Ils ont finalement obtenu une lignée de bactéries au génome complètement recodé. Nommée *Syn61*, cette lignée est viable, mais ses membres se reproduisent plus lentement que leurs consœurs. En outre, les images au microscope indiquent que les bactéries *Syn61* sont légèrement plus longues.

La biologie de synthèse étant une discipline qui progresse vite, le record établi par l'équipe de Jason Chin ne tiendra pas très longtemps. Un consortium international achèvera bientôt la synthèse du génome complet de la levure *Saccharomyces cerevisiae*, soit 12 millions de paires de bases. Et la constitution d'un génome d'*E. coli* utilisant seulement 57 codons est aussi en cours.

Par ailleurs, le fait de réduire les redondances sur les codons présente un intérêt majeur. Il est alors possible de réaffecter un codon non utilisé et, par des opérations de génie génétique, lui faire correspondre un acide aminé que ne produisent pas les organismes vivants. Ce qui pourrait donner des protéines de synthèse aux fonctions nouvelles.

À terme, l'un des objectifs est de fabriquer des organismes spécialement conçus, par exemple, pour produire certains composés : des sortes de micro-usines sur mesure, à l'image des souches génétiquement modifiées d'*E. coli* qui produisent l'insuline humaine à destination des diabétiques. ■

SEAN BAILLY

J. Fredens et al., *Nature*, en ligne le 15 mai 2019

Un trésor bourguignon de la fin du xv^e siècle

Au sein du Dijon médiéval, la mise au jour d'un trésor monétaire témoigne des nombreux échanges de la puissante Bourgogne de la fin du xv^e siècle. L'archéologue Stéphane Alix, coauteur de la découverte, nous en dit plus.



Propos recueillis par FRANÇOIS SAVATIER

STÉPHANE ALIX,
archéologue
à l'Institut national de
recherche archéologique
préventive (Inrap)

Comment avez-vous découvert ce trésor monétaire ?

Nous étions en train d'effectuer le diagnostic archéologique préalable à des travaux, imposé par la loi, dans le secteur de Saint-Bégnigne au sein du Dijon médiéval. Dans les couches de la fin du Moyen Âge, nous avons trouvé les restes d'une petite boîte en bronze détériorée par les constructions modernes. Elle contenait des monnaies d'or et d'argent.

Combien exactement ?

Trente-quatre, mais la plupart de ces monnaies étaient collées les unes aux autres par la corrosion. Nous avons donc dû envoyer le tout au Centre de restauration et d'études archéologiques municipales de Vienne (dans le Rhône) pour que des restaurateurs les séparent et les nettoient afin de les rendre lisibles.

Et, dès lors, qu'a-t-on identifié ?

Le trésor contenait des monnaies des Sforza, la famille régnante de Milan, des monnaies de Ferrare, du Pape, des monnaies anglaises, de certaines

principautés du Saint-Empire germanique et d'autres, très rares, d'un évêché suisse... Ces pièces livrent un témoignage rare d'un point de vue numismatique sur la circulation des monnaies de valeur entre la Bourgogne de la fin du xv^e siècle et toute une série d'États européens. La remarquable qualité des pièces démontre la volonté de prestige des personnalités qui les dirigeaient, et leur diversité illustre les échanges internationaux entre les puissances de l'époque et l'influent duché de Bourgogne, qui, rappelons-le, s'étendait à l'époque de la région de Genève aux Pays-Bas.

Peut-on présumer que ces monnaies appartenaient à un marchand ?

Elles ont en tout cas été rassemblées par quelqu'un – petit aristocrate ou marchand – connecté à la sphère marchande « internationale ». Pour autant, il s'agit du pécule relativement modeste d'une personne privée, qui y a adjoint un bijou de famille – un médaillon de mariage constitué de deux lettres d'or émaillées verte et blanche (voir la photo ci-dessous) –, avant de le cacher dans le sol. Celui d'une maison probablement.

Ce trésor est-il d'une grande valeur ?

J'ignore tout de sa valeur pécuniaire, mais sa valeur numismatique est indéniablement très grande. Par ailleurs, si ma collègue Céline Capdeville et moi, qui sommes archéologues, avons apprécié de tomber sur des objets aussi beaux qu'intéressants, nous avons aussi été captivés par les niveaux inférieurs à celui qui contenait le trésor.

Pourquoi ?

Parce qu'on a mis au jour de très intéressants niveaux médiévaux plus anciens, dont l'étude sera utile pour reconstituer l'histoire de Dijon, et, au-dessous de ces couches, un cimetière gallo-romain de la fin de l'Antiquité que les historiens et archéologues soupçonnaient depuis longtemps, sans jamais avoir pu prouver son existence. C'est chose faite désormais. ■



PLANÉTOLOGIE

COMMENT PLUTON PRÉSERVE UN OCÉAN LIQUIDE

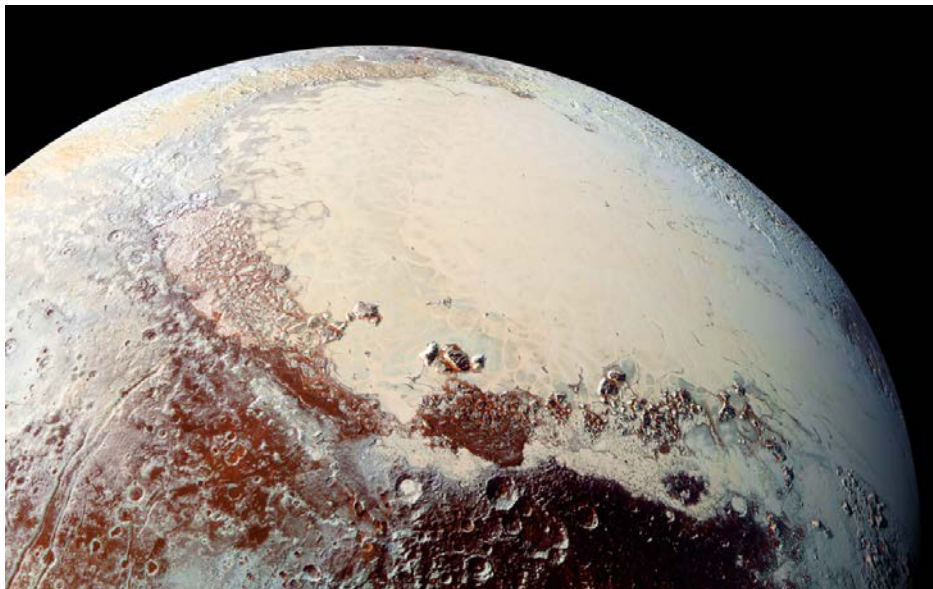
Pluton présenterait un océan souterrain d'eau liquide. Mais pourquoi celui-ci n'a-t-il pas gelé ? Une couche isolante formée d'hydrates de méthane expliquerait sa persistance.

Sur Pluton, lointaine planète naine située aux confins du Système solaire, la température moyenne de surface est de -229°C . L'eau y est donc présente surtout sous forme de glace. Et pourtant, elle abriterait un océan liquide sous sa surface ! Cette hypothèse découle de l'observation d'un excès local de masse identifié grâce à des anomalies gravitationnelles mesurées par la sonde *New Horizons* lors de son passage près de la planète naine en 2015. La même méthode suggère aussi que des océans souterrains existent sur certains satellites glacés de Jupiter et Saturne, comme Europe ou Encelade. Pour ces derniers, les planétologues ont proposé des mécanismes qui expliquent comment ces océans n'ont pas gelé, mais ils ne s'appliquent pas au cas de Pluton. Pour cette planète naine, Shunichi Kamata, de l'université de Hokkaido, au Japon, et Francis Nimmo, de l'université de Californie à Santa Cruz, ont proposé un autre scénario.

Dans le cas d'Europe ou Encelade, ces lunes englacées sont soumises à d'intenses forces de marée exercées par la planète géante proche, respectivement Jupiter et Saturne. Ces forces provoquent des frictions au sein des lunes gelées, d'où un dégagement de chaleur. Cette dernière, avec la chaleur émise par la radioactivité, reste ensuite piégée sous la croûte de glace et maintient liquide l'eau des océans souterrains.

Pluton n'est pas le satellite d'une planète géante. Par conséquent, elle n'est pas soumise à des forces de marée aussi intenses. Elle a de plus une couche de glace trop mince pour retenir suffisamment la chaleur. Un scénario possible suppose une forte concentration d'ammoniac dans l'océan, qui abaisse alors la température de solidification de l'eau. Cependant, cette théorie est difficile à défendre en l'absence d'indices de la présence d'ammoniac sur Pluton.

Shunichi Kamata et ses collègues proposent un autre scénario. Ils ont supposé qu'il existe entre l'océan et la croûte de glace une couche solide, formée de clathrates de méthane. Les clathrates de méthane (ou hydrates de méthane) sont composés de glace d'eau dans laquelle est piégé du méthane gazeux : les molécules d'eau forment des nanocages où se niche le méthane. Or ces hydrates conduisent 5 à 10 fois moins



Sur Pluton, l'anomalie gravitationnelle associée à la région de Sputnik Planitia suggère que la croûte de surface cache un océan d'eau liquide.

bien la chaleur que la glace d'eau et sont 10 fois plus visqueux. Cette couche isolante limiterait les pertes de chaleur de l'intérieur de la planète naine, qui pourrait ainsi rester bien plus chaud que la croûte de glace en surface.

Mais d'où viendrait cette couche d'hydrates de méthane ? Elle se serait formée à partir de gaz, capturé en profondeur lors de la naissance de Pluton, ou produite à partir de la fragmentation de matière organique à plus de 150°C , température atteinte dans le cœur de la planète naine pendant une partie de son histoire. Le piégeage du méthane dans les hydrates explique aussi la faible proportion de ce gaz à la surface de Pluton, par comparaison à ce qu'on observe sur d'autres planètes.

Les simulations effectuées par Shunichi Kamata et son équipe ont montré qu'en l'absence d'une couche d'hydrates l'océan aurait gelé en 3,8 milliards d'années, alors qu'avec une telle couche, il resterait liquide après 4,5 milliards d'années (l'âge du Système solaire). Si ce scénario est le bon, et au vu de l'abondance du méthane dans l'Univers, on peut penser qu'il existe un grand nombre d'océans cachés partout dans le cosmos ! ■

IZIA PÉTILLON

S. Kamata et al., *Nature Geoscience*, vol. 12, pp. 407-410, 2019

EN BREF

POUR LES SINGES, UN DRONE EST UN AIGLE

Les vervets, des singes africains de la famille des cercopithécidés, émettent des cris d'alarme afin d'avertir leurs congénères de la présence de leurs trois prédateurs. Ils disposent de cris distincts pour signaler « guépard », « serpent » ou « aigle ». Pour tester si les vervets confrontés à une menace inconnue créeraient un cri, l'équipe de Julia Fischer, du Centre allemand de primatologie, à Göttingen, a fait survoler un groupe par un drone. Les singes n'ont pas créé de nouveau « mot », mais ont crié : « Aigle ! ».

PRÉDÉCESSEUR THAÏ DU T-REX

Adun Samathi, jeune paléontologue thaï et doctorant à l'université de Bonn, a découvert un prédecesseur du *Tyrannosaurus rex* en étudiant des os conservés au musée Sirindhorn, en Thaïlande. Nommé *Phuwiangvenator yaemniyommi*, ce mégaraptor de 6 mètres de long avait de grands bras et un long bec denté pour museau. Désormais attentif aux théropodes thaïlandais, l'étudiant est ensuite tombé sur un autre mégaraptor, comparable, mais plus petit (4,5 mètres). Sauf par son nom : *Vayuraptor nongbualamphuensis* !

RÉSEAUX NEURONAUX POUR LA SISMOLOGIE

La multiplication rapide des données sismiques oblige à en accroître les capacités de traitement. Des chercheurs de l'Institut géophysique de Karlsruhe ont entraîné un réseau de neurones artificiels en se servant de 411 séismes enregistrés par un réseau sismique du nord du Chili. Cela a suffi pour que le réseau neuronal devienne aussi performant que les sismologues pour déterminer les temps d'arrivée des ondes sismiques, dont on déduit par triangulation les hypocentres et épicentres des séismes.

CLIMATOLOGIE

POLLUTION ROMAINE

L'homme n'a pas attendu la révolution industrielle et la démocratisation de l'automobile pour polluer l'atmosphère avec du plomb. L'équipe de Susanne Preunkert, du CNRS et de l'Institut des géosciences de l'environnement, à Grenoble, a montré qu'au cours de l'Antiquité, les Romains ont relâché dans l'air des quantités notables de métaux lourds.

Pour parvenir à ce constat, les chercheurs se sont rendus dans le massif du Mont-Blanc, où ils ont étudié les couches les plus profondes du glacier du col du Dôme. L'analyse des couches de glace a révélé la présence de plomb et d'antimoine, deux métaux lourds très toxiques. Associée à une datation au carbone 14 de résidus organiques, l'étude des métaux dans cette glace a permis de repérer deux pics distincts d'émission de plomb. Le premier a eu lieu à l'époque de la République, soit entre 350 et 100 avant notre ère, tandis que le second s'est produit durant la période de l'Empire, soit les deux premiers siècles de notre ère.

Selon Susanne Preunkert et ses collègues, ces émissions étaient dues aux activités minières et à l'extraction de plomb et d'argent par les Romains. En effet, ils extrayaient du minerai de plomb argentifère puis le chauffaient à 1200 °C



Les glaciers du massif du Mont-Blanc présentent des traces de pollution atmosphérique au plomb qui datent de l'époque romaine.

pour séparer l'argent du plomb. Au cours du processus, une partie du plomb, très volatil, s'échappait dans l'atmosphère. Grâce aux données qu'ils ont récoltées, les chercheurs ont montré que les Romains ont multiplié la teneur atmosphérique naturelle en plomb par un facteur 10, ce qui demeure tout de même inférieur à la pollution engendrée par les rejets des automobiles entre les années 1950 et 1990 (50 à 100 fois la teneur naturelle). Pour autant, les émissions toxiques découlant des activités romaines se sont étalées sur une période bien plus longue que celle durant laquelle les voitures utilisaient de l'essence contenant du plomb. ■

WILLIAM ROWE-PIRRA

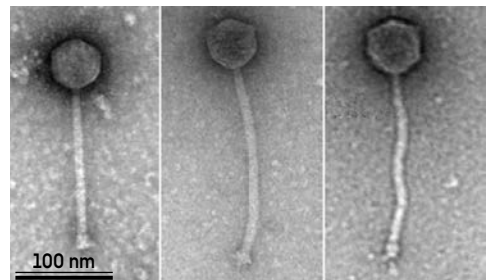
S. Preunkert et al., *Geophysical Research Letters*, en ligne le 7 mai 2019

BIOLOGIE

UN COCKTAIL DE PHAGES

Alors que le problème des bactéries résistantes aux antibiotiques s'aggrave, le salut viendra peut-être des virus. Pour la première fois, un cocktail de bactériophages (ou phages) génétiquement modifiés, des virus capables d'infecter et de détruire des bactéries, a été utilisé pour venir à bout d'une infection résistante de *Mycobacterium abscessus* chez une jeune fille de 15 ans.

Graham Hatfull, de l'université de Pittsburg, aux États-Unis, et ses collègues ont voulu personnaliser le traitement pour le rendre le plus efficace possible. Ils ont utilisé des bactéries isolées de la patiente afin d'identifier des phages capables de lutter contre l'infection. Dans leur collection de plus de 10 000 phages spécifiques des mycobactéries, ils n'en ont trouvé qu'un seul capable de tuer la souche bactérienne. Afin



Un mélange de ces trois phages a été utilisé pour traiter une patiente infectée par une bactérie antibiorésistante.

de limiter les risques d'échecs, ils ont opté pour traiter la patiente avec un cocktail de plusieurs phages. L'équipe a donc manipulé le génome de deux autres phages afin de les rendre plus agressifs. Même si le traitement a été contraignant (des injections intraveineuses toutes les 12 heures pendant 32 semaines), la stratégie a été payante. ■

NOËLLE GUILLON

R. M. Dedrick et al., *Nature Medicine*, vol. 25, pp. 730-733, 2019