

Géophysique

Le sort des plaques de la croûte terrestre

Après une subduction, les plaques de croûte continentale ou océanique pénètrent dans le manteau terrestre, où elles se mélangent plus ou moins bien à ce dernier. Combien de temps ces plaques subsistent-elles dans le manteau ? L'analyse de laves volcaniques, constituées de roches du manteau terrestre, aide à répondre à cette question. Rita Cabral, de l'Université de Boston, et ses collègues américains, suédois et français (du Laboratoire Magmas et volcans, à Clermont-Ferrand), ont étudié des laves du volcan Mangaia des îles Cook, dans le Pacifique. Cette équipe de géologues a mis en évidence l'existence d'une croûte océanique enfouie dans le manteau et qui serait âgée d'au moins 2,45 milliards d'années.

L'analyse repose sur l'étude de la composition des laves en isotopes du soufre (^{32}S , ^{33}S et ^{34}S). À l'aide d'une sonde ionique, au Muséum d'histoire naturelle de Stockholm, en Suède, les chercheurs ont mesuré les rapports des isotopes de soufre dans quelques inclusions magmatiques, des traces de roche fondue piégées dans des cristaux d'olivine qui contiennent les laves de Mangaia.

Les géologues ont montré que le fractionnement isotopique du soufre de ces inclusions est « anormal », c'est-à-dire différent de celui de la roche environnante, et qu'il indique une ancienneté de plus de 2,45 milliards d'années. L'atmosphère terrestre était alors pauvre en oxygène et donc dépourvue de couche d'ozone (O_3). Le rayonnement ultraviolet pénétrait dans l'atmosphère et, par certaines réactions photochimiques, a produit le fractionnement isotopique anormal. Ainsi, une plaque océanique aurait acquis cette composition isotopique en soufre avant de plonger dans le manteau. Une plaque plus récente aurait eu une signature isotopique différente. R. Cabral et ses collègues ont ainsi démontré, pour la première fois à partir d'un échantillon de lave, que du matériau de la croûte terrestre était recyclé dans le manteau.

→ S. B.

R. A. Cabral et al., *Nature*, vol. 496, pp. 490-494, 2013

Archéologie

Une bien vieille jambe de bois

Entouré de montagnes, le bassin du Tarim, entre Chine et Afghanistan, est l'une des régions les plus sèches du monde. Grâce à cette particularité assurant une bonne conservation des matériaux organiques, une tombe vient d'y livrer une prothèse de jambe en bois vieille de plus de 2300 ans – la plus ancienne connue.

Cette jambe de bois appartenait à un membre des communautés agropastorales qui occupaient les oasis du Tarim. Sa tombe a été récemment fouillée par l'équipe de Mayke Wagner, de l'Institut archéologique allemand, au milieu d'une nécropole située à 35 kilomètres à l'Est de Turan, ville du Turkestan chinois.

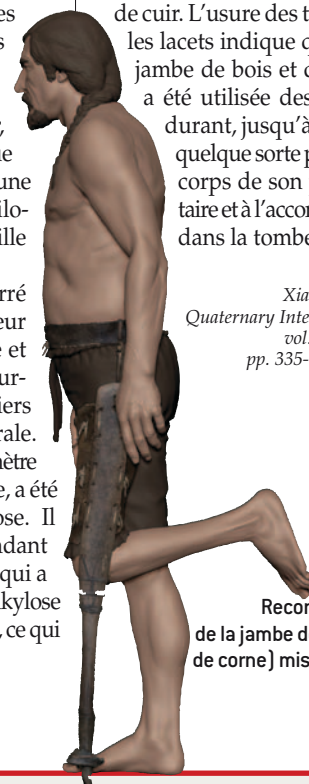
L'homme a été enterré à un mètre de profondeur avec un peu de vaisselle et deux arcs à double courbure, typique des guerriers nomades d'Asie centrale. L'homme, d'environ 1,75 mètre et de constitution robuste, a été frappé par la tuberculose. Il semble avoir résisté pendant des années à la maladie, qui a toutefois provoqué une ankylose osseuse du genou gauche, ce qui l'empêchait de marcher.

Des artisans lui ont façonné une prothèse de jambe de qualité comparable aux prothèses que l'on faisait en Europe, par exemple pour aider les mutilés de la Grande Guerre ! Longue de 89 centimètres et composée de quatre parties en bois et en corne, dont une plaque de bois de 52 centimètres, elle se fixait à la cuisse par l'extérieur. Elle était percée de 16 trous, par lesquels passaient sans doute des lacets de cuir. L'usure des trous par les lacets indique que cette jambe de bois et de corne a été utilisée des années durant, jusqu'à faire en quelque sorte partie du corps de son propriétaire et à l'accompagner dans la tombe.

→ F. S.

Xiao Li et al., *Quaternary International*, vol. 290-291, pp. 335-343, 2013

© DAI/S. Lochmann



Reconstitution de la jambe de bois (et de corne) mise au jour.

DERNIÈRE minute...

FONTE DE L'ANTARCTIQUE PAR LE DESSOUS

Les barrières de glace de l'Antarctique correspondent au prolongement des glaciers, qui s'étendent sur l'océan. Elles s'avancent continuellement, mais perdent en masse lors de leur progression. Le vêlage – le détachement de blocs de glace – était considéré comme le mécanisme principal. Éric Rignot, de l'Université de Californie à Irvine, et ses collègues ont montré que c'est le cas pour les barrières de glace les plus grandes. Mais

sur l'ensemble de l'Antarctique, la fonte de la glace située en dessous, au contact de l'eau de mer, serait globalement plus efficace.

NANOTUBES ULTRASENSIBLES

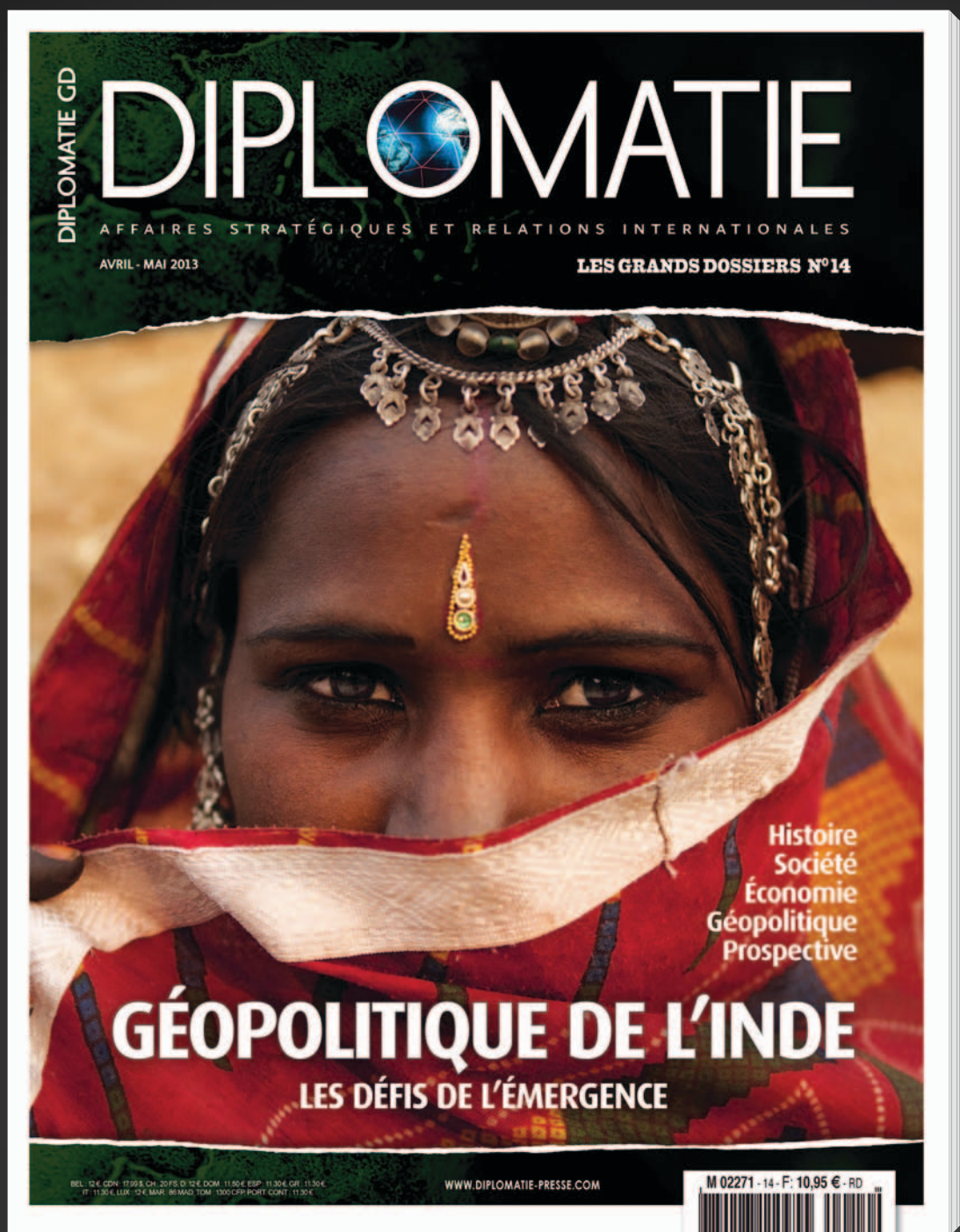
Adrian Bachtold, de l'Institut de photonique de Barcelone, et ses collègues ont montré qu'en utilisant des nanotubes de carbone en guise de résonateurs mécaniques, on peut détecter des forces infimes, de l'ordre de la dizaine de zeptonewtons ($1 \text{ zN} = 10^{-21} \text{ newton}$)

à une température de 1,2 kelvin, ce qui représente une sensibilité 50 fois supérieure aux records actuels. La technique, qui consiste à mesurer les vibrations du nanotube créées par une force extérieure, pourrait s'appliquer notamment à la détection et à la manipulation de spins (moments magnétiques) nucléaires.

Retrouvez plus d'actualités et toutes les références sur www.pourlascience.fr



En vente chez votre marchand de journaux



100 pages • Format 23x30 cm • 10,95 € (codification Presstalis : 02271)

Commandez DIPLOMATIE sur Internet

WWW.GEOSTRATEGIQUE.COM

Et ne manquez pas en librairie ATLAS GÉOPOLITIQUE MONDIAL 2013

270 cartes et graphiques pour décrypter toute l'actualité internationale
(Éditions ARGOS/AREION - Diffusion PUF - 23x30 cm - 212 pages - 22,50 €)



POINT DE VUE

Pour une mémoire des risques

Une meilleure gestion des risques liés aux événements extrêmes ne sera possible que si l'on prend en compte l'histoire passée de tels événements et la façon dont ils ont été gérés à l'époque.

Emmanuel GARNIER

« **U**n véritable raz de marée qui déferle sur les côtes atlantiques ! » C'est en ces termes apocalyptiques que le quotidien *Ouest-France* évoque la tempête qui submerge le littoral atlantique entre le Sud de la Bretagne et la frontière espagnole en mars 1937. Sur le site inhabité de la future commune de La Faute-sur-Mer, la digue est coupée en plusieurs endroits et des militaires interviennent pour épauler les habitants de l'Aiguillon. Pourtant, 70 ans plus tard, élus, ministres et médias n'auront de cesse d'affirmer que la tempête Xynthia du 26 février 2010 relevait « d'un phénomène jamais vu depuis des siècles ».

De telles affirmations sont assez systématiques au lendemain de tout désastre naturel, alors même que le rapport SREX du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) du 28 mars 2012 sur l'adaptation de la gestion des risques d'événements extrêmes au changement climatique déplore que la plupart des données « historiques » se rapportant à ces événements se limitent à une période récente. Malheureusement, ce dogme de « l'inédit » se révèle néfaste sur le long terme : bien que la proposition de loi adoptée au Sénat le 3 mai 2011 à la suite de Xynthia revendique une « préparation à la gestion de crise et à la culture du risque », ses modalités pratiques, parce qu'elles s'appuient sur le caractère inédit, et donc imprévisible, des événements extrêmes, occultent la vulnérabilité croissante de nos sociétés.

Dans cette perspective, cependant, les sciences sociales apportent une contribution

originale. Depuis six ans, plusieurs enquêtes sont conduites par des historiens français dans le cadre de programmes transdisciplinaires nationaux et internationaux (Union européenne, Royaume-Uni), visant à étudier, d'une part, l'évolution de la fréquence des événements extrêmes au cours des 500 dernières années et, d'autre part, la gestion des risques au fil de l'histoire. Les résultats obtenus à propos des tempêtes, des submersions ou des sécheresses montrent que ces événements sont récurrents, mais de fréquence aléatoire, sans recrudescence particulière au XXI^e siècle.

En Europe, le XVIII^e siècle fait figure de période à risques en raison de températures plutôt élevées, associées à des tempêtes et à des sécheresses récurrentes. Hormis le rude hiver 1709, les années 1705-1740

LA GRANDE SUBMERSION ATLANTIQUE de 1937 n'avait provoqué aucun décès dans le secteur de La Faute-sur-Mer.

sont marquées par des étés très chauds à Paris, observés et mesurés à l'époque par les scientifiques de l'Académie des sciences. L'expérience historique donne donc tout son sens à la notion souvent négligée de variabilité, géographique ou historique. Ainsi, alors que les Français percevaient Xynthia comme inédite, les Britanniques, les Hollandais et les Allemands savaient que ce risque littoral demeurerait, eux qui avaient affronté de telles catastrophes en 1953 et en 1962. A *contrario*, l'approche historique consacrée aux cyclones dans l'océan Indien depuis le XVII^e siècle souligne une recrudescence de

ces aléas depuis les années 1960, sans que ceux-ci soient plus forts pour autant.

L'histoire de la gestion du risque est aussi riche d'enseignements. Contre toute attente, le risque n'était pas vu jadis comme une fatalité, mais plutôt comme une attente : le souvenir d'une catastrophe passée créait une conscience collective d'une menace maritime permanente. Par peur que l'événement ne se reproduise, les populations percevaient le danger et se tenaient prêtes à agir. Pour maintenir cet état d'attente, la communauté veillait à entretenir le souvenir de ces événements sous des formes diverses et originales, par exemple les ex-voto marins pour les tempêtes ou les repères de crues pour les submersions.

À Toulouse, au XVIII^e siècle, les habitants des quartiers exposés aux inondations savaient qu'ils devaient atteindre la rue des Couteliers pour se mettre à l'abri. À Paris, des repères sur l'échelle du pont de la Tournelle indiquaient le degré de gravité des crues de la Seine. Au cours de la grande inondation de 1784, en fonction du niveau constaté, le libraire Hardy surélevait ses meubles et s'installait au premier étage de sa maison située sur l'île de la Cité. Les enquêtes orales dans les Cyclades, en Grèce, ont mis en lumière un exemple d'adaptation agricole original à la sécheresse, puisque les habitants avaient sélectionné des légumes capables de pousser sans eau. Connues localement sous le nom de plantes « anhydro », leurs semences sont aujourd'hui en passe de disparaître, car moins productives que les cultures intensives sous serres, alors que la sécheresse augmente dans cette région.

Plus proche de nous encore, la grande submersion atlantique de 1937 n'avait provoqué aucun décès dans le secteur de La Faute-sur-Mer. La ville n'existait pas encore, à peine s'y trouvaient quelques cabanes de pêcheurs. Quant à L'Aiguillon-sur-Mer, elle se développait derrière la protection naturelle des deux cordons dunaires. Depuis, 3 000 maisons ont été construites sur d'anciennes zones marécageuses situées sous le niveau de la mer. En occultant les risques encourus, les aménageurs ont rendu ces secteurs plus vulnérables aux aléas marins. La multiplication des intérêts économiques et politiques depuis la création de la commune, en 1953, combinée à une perte de mémoire locale, expliquent le lourd bilan humain de Xynthia (53 décès).

Les groupes, observatoires ou comités dédiés à la prévention des risques se sont

multipliés depuis 2010, sous la pression des instances européennes notamment. Ils sont constitués majoritairement de représentants de l'État et d'ingénieurs. Leur composante scientifique est en général constituée de spécialistes tels que des climatologues, des météorologues ou des hydrologues. Dans ces conditions, les remèdes préconisés ne sont pas forcément adaptés aux attentes des populations. La modélisation livre des scénarios contradictoires et complexes sur le plan mathématique pour le citoyen, alors que les systèmes de défense (réservoirs, digues, barrages) onéreux envisagés depuis 2010 et leur entretien semblent hypothéqués par la crise économique. On voit donc mal comment l'objectif ministériel et sénatorial visant à promouvoir une « culture du risque » parmi nos concitoyens pourrait être atteint si l'histoire

des risques et du climat est occultée, alors même qu'elle constitue un outil privilégié de prévention. L'apport des sciences sociales n'a de sens que si elles produisent des résultats « appliqués » et si les instances scientifiques soutiennent cette recherche transdisciplinaire. Aujourd'hui, ce n'est pas le cas en France. ■

Emmanuel GARNIER est membre senior de l'IUF, professeur invité à l'Université de Cambridge et enseignant-chercheur rattaché au CRH0-Université de Caen (CNRS UMR 6583).

Salon Innovatives SHS, 16-17 mai 2013, Paris.

À écouter dans l'émission *La Marche des Sciences* sur France Culture le jeudi 4 juillet à 14h.



Réagissez en direct à cet article sur www.pourlascience.fr

DÉVELOPPEMENT DURABLE

Marché européen du carbone : une réforme est nécessaire

Le prix du carbone est aujourd'hui trop bas pour inciter les entreprises à réduire leurs émissions de gaz à effet de serre. Comment y remédier ?

Raphaël TROTIGNON

Plusieurs échéances balisent la réduction des émissions européennes de gaz à effet de serre (dioxyde de carbone, méthane...). En 2020, ces émissions devront être inférieures de 20 pour cent à leur niveau de 1990, selon le « paquet énergie-climat » adopté en 2008. Les objectifs de réduction pour 2030 sont en cours de discussion. D'ici 2050, le Groupe intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) préconise une réduction d'au moins 80 pour cent, valeur adoptée dans une feuille de route européenne (non contraignante).

Le système européen des quotas de dioxyde de carbone (CO₂) est un instrument

majeur pour cette « décarbonation » progressive de l'économie. Il consiste à plafonner la quantité d'émissions autorisée (auparavant illimitée) en créant des quotas d'émission (des droits d'émettre une certaine quantité de gaz), dont une partie est distribuée gratuitement aux entreprises et le reste vendu aux enchères. Les entreprises qui dépassent la quantité gratuite reçue peuvent acheter des quotas supplémentaires, tandis que celles qui sont plus économes peuvent revendre les quotas qu'elles n'ont pas « consommés ». S'instaure ainsi un marché du carbone, avec un prix associé au droit d'émettre, supposé inciter les entreprises à réduire leurs émissions.

Or en avril dernier, le prix du carbone s'est établi à son plus bas niveau historique, autour de trois euros la tonne de CO₂. Ce prix devrait être d'environ 30 euros pour qu'une centrale au gaz soit aussi rentable qu'une centrale au charbon (aux prix actuels du gaz, du charbon et de l'électricité), moins chère mais plus polluante. Cet exemple montre que le prix actuel du carbone est trop faible pour inciter au passage à des technologies « bas-carbone ». Les investissements risquent alors d'être retardés, jusqu'à ce qu'un réajustement brutal et coûteux soit nécessaire.

La faiblesse du prix actuel a trois causes principales. La première est la crise