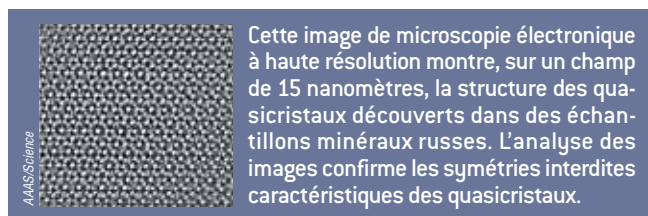


Minéralogie

Un quasicristal naturel

Paul Steinhardt, de l'Université de Princeton, et trois collègues ont mis en évidence des quasicristaux dans des échantillons de minéraux provenant des montagnes de Koryak, en Russie. Découverts il y a 25 ans, les quasicristaux sont des matériaux dont la structure atomique est presque périodique, et respecte des symétries (telle la symétrie pentagonale, symétrie de rotation de $360/5 = 72$ degrés par rapport à un axe) qui seraient impossibles dans un vrai cristal, matériau strictement périodique. Jusqu'ici, tous les exemples de quasicristaux ont été synthétisés en laboratoire, dans des conditions bien contrôlées. Les quasicristaux trouvés par l'équipe de P. Steinhardt sont des grains de taille micrométrique d'un alliage d'aluminium, de cuivre et de fer. Leur structure est icosaédrique et comporte six axes de symétrie pentagonale. Comment la nature a-t-elle formé de tels matériaux ? La question reste ouverte. Quoi qu'il en soit, il semble qu'il faudra étendre la définition des minéraux.

→ M. M.

L. Bindi et al., *Science*, vol. 324, pp. 1306-1309, 2009

Biologie animale

Fourmis : digestion partagée

Le partage des tâches est une caractéristique des insectes sociaux que sont les fourmis ou les abeilles. La nutrition ne fait pas exception, et Audrey Dussutour, du Centre de recherche sur la cognition animale (CNRS/Université Paul Sabatier), et Stephen Simpson, de l'Université de Sydney, ont montré que les fourrageurs – les fourmis ouvrières qui rapportent la nourriture au nid – sont informés des besoins nutritionnels des larves et adaptent leur récolte.

Les biologistes ont mis à disposition de colonies de fourmis *Rhytidoponera* – ayant ou non des larves – de la nourriture riche en sucre ou bien riche en protéines. Quand il y a des larves dans la colonie, les ouvrières rapportent surtout de la nourriture riche en protéines, lesquelles permettent aux larves de se développer. En revanche, quand il n'y a pas de larves, les fourmis préfèrent la nourriture riche en sucre.

En outre, les biologistes ont montré que les fourmis rapportent toujours la même quantité de sucre : s'il y a trop de protéines, elles extraient le sucre et le digèrent, régurgitant les protéines à l'extérieur du nid. Or les fourmis nourries avec trop de protéines meurent beaucoup plus que les autres, car les protéines sont toxiques, pour des raisons inconnues. En fait, ces colonies survivent quand il y a des larves : ce sont elles qui assimilent les protéines. Ces résultats indiquent que les fourmis se partagent les tâches jusqu'à la nourriture : certaines font la récolte, les unes digèrent le sucre, les autres les protéines.

→ B. S.-L.

A. Dussutour et S. Simpson, *Current Biology*, vol. 19, pp. 740-744, 2009

Géophysique

Un manteau à une couche

Le manteau terrestre serait composé d'une couche unique, mais non homogène.

Le manteau terrestre comporte-t-il deux couches ou une seule ? Deux géochimistes des Universités Rice et Harvard proposent un modèle en faveur d'un manteau à couche unique, mais qui serait hétérogène.

Leur point de départ est une observation géochimique : la composition des basaltes des îles océaniques, telles Hawaï et la Réunion, et celle des dorsales océaniques diffèrent. Les basaltes des îles océaniques semblent résulter d'une remontée de matière profonde, d'un « point chaud » qui devrait être localisé dans le manteau profond, tandis que les seconds auraient une origine plus superficielle. Pour aboutir à cette conclusion, les géochimistes ont étudié les rapports de deux isotopes de l'hélium : l'hélium 3, un isotope « primordial » incorporé au manteau profond lors de la formation de la Terre, et l'hélium 4, issu de la décomposition radioactive d'éléments du manteau supérieur (uranium et thorium). Le rapport isotopique est inférieur pour les basaltes de point chaud. Cette observation semblait conforter l'hypothèse d'un manteau supérieur et d'un manteau inférieur séparés par une zone de transition située entre 410 et 660 kilomètres de profondeur.

Toutefois, selon la théorie de la tectonique des plaques, le manteau est parcouru de courants de convection. Or la convection se produisant dans l'ensemble du man-

teau, elle devrait mélanger les différents isotopes de l'hélium et tous les basaltes devraient avoir la même composition. De surcroît, lorsque deux plaques entrent en collision, l'une plonge sous l'autre et pénètre dans le manteau supérieur. Or certaines plaques plongeantes semblent s'enfoncer bien au-delà de la zone de transition. Voilà qui plaide pour un manteau à couche unique.

Afin de réconcilier les différentes données, les deux géochimistes proposent un nouveau modèle : les plaques plongeantes seraient pauvres en hélium, car ce gaz serait libéré en surface par dégazage. De ce fait, le contenu en hélium 3 du manteau profond aurait diminué au cours du temps, ce qui aurait ralenti l'homogénéisation du manteau par convection (une partie de hélium 3 serait restée « piégée » en profondeur).

Francis Albarède, de l'École normale supérieure de Lyon avait proposé un scénario voisin en 2008 : selon lui, le manteau serait bien constitué d'une seule couche hétérogène. D'une part, le manteau profond serait riche en gaz primordiaux tel l'hélium 3 ; d'autre part, la zone de transition entre la couche supérieure et la couche inférieure serait moins étanche qu'on ne le croyait, en particulier sous le Pacifique et l'Afrique.

→ J.-J.-P.

H. M. Gonnermann et S. Mukhopadhyay, *Nature*, vol. 459, pp. 560-563, 2009

Archéologie

Falaise, premier château normand en pierre ?

A 30 kilomètres au Sud de Caen se trouvent Falaise et son château ducal, que plus de 40 000 visiteurs viennent découvrir chaque année. La réfection d'une partie des remparts a conduit les archéologues de la Direction régionale des affaires culturelles (DRAC) à prouver que la première fortification du château remonte à la fin du X^e siècle.

L'indice clef de cette ancienneté est l'appareillage en *opus piscatum* (arête de poisson) de certaines parties du rempart, c'est-à-dire à base de pierres inclinées à 45 degrés, en changeant de sens à chaque strate successive. Découverts à la base du rempart, donc dans la toute première enceinte, de minuscules charbons de bois ont pu être datés au carbone 14 entre 960 et 1020. Or, à cette époque, les guerriers dressaient presque toujours des donjons de bois au sommet d'une motte ou de tout promontoire naturel, l'entouraient d'une palissade de bois et ménageaient éventuellement une basse-cour ceinte d'une autre palissade pour permettre aux roturiers qu'ils protégeaient de s'y réfugier. Dominant l'agglomération qui s'est peu à peu constituée à ses pieds, le château de Falaise présente exactement cette structure, sauf qu'il fut très tôt érigé en pierre. Pour le médiéviste Pierre Bouet, de l'Université de Caen, cette constatation illustre de façon spectaculaire la puissance des premiers ducs de Normandie, car sur plus de 500 fortifications normandes contemporaines du premier château de Falaise, à peine cinq sont bâties en pierre, en chaux et en sable.

→ F. S.



Vue des remparts Est et des pierres en *opus piscatum* [flèche].

Ville de Falaise

Médecine

Infertilité féminine : deux molécules identifiées

Cinq à dix pour cent des couples connaissent des difficultés pour concevoir un enfant, et dans deux tiers des cas, l'infertilité est féminine. Dans trois cas sur quatre, il s'agit d'un syndrome des ovaires polykystiques, une pathologie ayant plusieurs causes possibles, mais qui aboutit en général à une absence d'ovulation. Heng-Yu Fan et ses collègues, de l'École de médecine Baylor à Houston aux États-Unis, ont identifié deux enzymes nécessaires à l'ovulation et aux mécanismes qui en découlent.

Pour qu'il y ait fécondation, un spermatozoïde doit rencontrer un ovule. À chaque cycle menstruel, dans l'ovaire, un follicule (un agrégat de cellules contenant un ovocyte) se développe et grossit ; quand il est mature, l'ovocyte est libéré. Dans la trompe qui conduit à l'utérus, cet ovocyte est prêt à être fécondé par un spermatozoïde.

Deux hormones libérées par une glande du cerveau, l'hypophyse, permettent au follicule de se développer : la folliculostimuline participe à la maturation du follicule, et la lutéinostimuline provoque la rupture du follicule et la libération de l'ovocyte. Si la maturation du follicule s'arrête, l'ovulation n'a pas lieu.

H.-Y. Fan et ses collègues se sont intéressés au follicule lui-

même et aux cellules qui entourent l'ovocyte. Au moment de l'ovulation, les cellules folliculaires se transforment et produisent des hormones indispensables à l'implantation de l'embryon et à la poursuite de la grossesse quand il y a fécondation. Différents facteurs de croissance et la lutéinostimuline – qui permet la rupture du follicule – activent une voie de signalisation cellulaire, dite des MAP kinases (pour *mitogen-activated proteins*) : il s'agit des enzymes MAPK3 ou ERK1 (pour *extracellular-regulated kinase*) et MAPK1 ou ERK2, dont on vient de découvrir le rôle essentiel dans l'ovulation.

Comment les biologistes l'ont-ils montré ? Ils ont créé des souris où ERK2 et ERK1 sont inactivées uniquement dans les cellules entourant l'ovocyte. Ces souris sont stériles et présentent plusieurs anomalies des ovaires : la maturation des ovocytes est stoppée et l'ovulation n'a pas lieu. Ainsi, l'absence des protéines ERK, *in vivo*, empêche la lutéinostimuline d'activer les gènes contrôlant l'ovulation. L'identification de ce mécanisme cellulaire essentiel à l'ovulation devrait permettre de mieux comprendre les causes des pathologies touchant l'ovaire.

→ B. S.-L.

H.-Y. Fan et al., *Science*, vol. 324, pp. 938-941, 2009

DERNIÈRE minute ...

NANODIAMANTS FLUORESCENTS

Les molécules fluorescentes permettent notamment de suivre des molécules biologiques et leurs interactions. Mais elles ont souvent une courte durée de vie en raison de leur réactivité chimique. Or des physiciens français et allemands ont pu fabriquer en grande quantité des nanodiamants fluorescents stables. Ils ont rendu fluorescents des microdiamants indus-

triels par irradiation électronique à haute énergie et un recuit, puis ont réduit la taille des microdiamants pour en faire des nanoparticules, sans altérer leurs propriétés.

AMPOULES DOPÉES AU LASER

Bombarder au laser ultrabref un métal noir augmente l'émission lumineuse quand ce métal est incandescent. C. Guo et ses collègues, de

l'Université de Rochester, l'ont constaté en irradiant avec un faisceau femtoseconde le filament de tungstène d'une lampe à incandescence. À la surface du métal, le faisceau produit des nanostructures dont l'effet est d'amplifier l'émission lumineuse ; elles peuvent aussi être exploitées pour modifier la couleur de la lumière. Une ampoule de 60 watts ainsi traitée éclaire autant qu'une ampoule de 100 watts.

Retour sur des sujets déjà traités dans nos colonnes

→ TOUCHER POUR APPRENDRE

Il y a un an, l'équipe d'Édouard Genot, à Grenoble, montrait que les enfants reconnaissent et mémorisent mieux des formes géométriques s'ils les apprennent en les voyant et en les touchant (voir *Apprendre en touchant*, *Pour la Science*, septembre 2008, p. 14). Aujourd'hui, elle obtient des résultats semblables avec des adultes (*PloS One*, mars 2009), montrant que le toucher facilite l'apprentissage de la lecture – d'une langue étrangère par exemple. Les chercheurs ont demandé à une trentaine d'adultes francophones d'apprendre 15 stimulus visuels inconnus, inspirés de lettres japonaises, et les 15 sons correspondants; certains travaillent uniquement en voyant les « pseudolettres », les autres utilisent le toucher et la vision. Les participants apprennent bien ces stimulus quelle que soit la méthode. Puis les chercheurs ont mesuré les performances de chaque adulte lors de deux tests mesurant leurs capacités à apprendre des associations entre stimulus visuels et auditifs; les partici-

pants ayant appris les stimulus de façon multisensorielle reconnaissent mieux le son correspondant à un stimulus visuel, et inversement. Le toucher permet de mieux connecter la vision et l'audition.

→ DE JEUNES SUPERNOVAE

Les supernovae de type Ia seraient des explosions de naines blanches, elles-mêmes étant des étoiles de type solaire en fin de vie. Elles exploseraient quand elles absorbent trop de matière d'une étoile compagnon. Comprendre les mécanismes de ces explosions est essentiel aux astronomes, car la luminosité intrinsèque des supernovae est constante, de sorte que ces objets célestes servent d'indicateurs pour estimer des distances entre galaxies (voir *Supernovae: des explosions énigmatiques*, *Pour la Science*, octobre 2005). Aujourd'hui, avec un nouveau modèle, des astronomes chinois confirment l'origine des supernovae de type Ia et le fait que la moi-

tié d'entre elles explosent moins de 100 millions d'années après la période de formation des étoiles majeures de leur galaxie (*Royal Astronomical Society*, avril 2009). Ils montrent que les supernovae « jeunes » correspondent à des naines blanches attirant du matériel d'une étoile compagnon à hélium, émettant dans le bleu, et que c'est seulement dans ce cas que l'explosion a lieu moins de 100 millions d'années après la période de formation des étoiles.

→ IMMORTELLE BACTÉRIE !

Toute l'information permettant à une cellule de vivre est enfermée dans son ADN, que celle-ci soit une composante d'un organisme ou qu'elle soit seule, telle une bactérie. Quand l'ADN est lésé, il faut qu'il soit vite réparé pour que la cellule survive ou ne devienne pas « tumorale »; pour ce faire, un système de réparation dit SOS, présent dans toutes les cellules, permet à l'ADN de rester fonctionnel (voir *SOS génome: réparation et évolution*, *Pour la Science*, mars 2000). Une

bactérie, *Deinococcus radiodurans*, est experte en réparation, car elle survit aux rayonnements ionisants, à une déshydratation extrême, aux produits toxiques et à d'autres agents endommageant l'ADN. Quand elle est exposée à des doses de rayonnements 1 000 fois supérieures au seuil mortel pour l'homme, son ADN se dégrade en centaines de fragments, puis « ressuscite ». Comment fait-elle? Des chercheurs français ont montré que cette réparation de l'ADN implique quatre enzymes présentes non seulement chez cette bactérie, mais aussi dans toutes les cellules (*Cell*, mars 2009). L'inactivation de chacune de ces enzymes suffit pour que la bactérie ne résiste plus à des rayonnements énergétiques. Deux enzymes déclenchent la synthèse d'ADN, deux autres réparent et répliquent les fragments d'ADN endommagés; puis les chromosomes se reforment. *Deinococcus radiodurans* utilise donc les mêmes enzymes que n'importe quelle cellule, de façon plus efficace et plus précise... Mais on en ignore la raison.

→ Bénédicte Salthun-Lassalle

→ DES ESPÈCES MARINES MENACÉES ?

De nombreuses espèces marines – le corail, des algues, des foraminifères, des coccolithophores, des ptéropodes (de petits escargots), etc. – sont des organismes calcaires dotés d'un squelette de calcite et d'aragonite. Or une partie du dioxyde de carbone libéré dans l'atmosphère – par la combustion des énergies fossiles – se dissout dans les océans où il augmente l'acidité de l'eau et diminue la disponibilité en ions carbonates nécessaires à la synthèse de ces squelettes calcaires (voir *L'acidification des océans: l'écosystème menacé*, *Pour la Science*, mai 2006). Plusieurs études ont montré que ce phénomène diminue la calcification des espèces marines. Des biologistes australiens ont comparé le poids des coquilles de foraminifères piégées dans des sédiments datant d'il y a 10 000 ans à celui de coquilles récupérées dans une couche récente de sédiments (*Nature Geoscience*, mars 2009). Ce dernier est 30 à 35 pour cent inférieur, et cette diminution de la calcification dépend bien des concentrations atmosphériques en dioxyde de carbone. En outre, une autre équipe, américaine, a montré que les particules en suspension dans l'air (le cuivre, l'azote, le fer, le phosphore) favorisent la croissance du phytoplancton ou, à l'inverse, le détruisent; tout dépend de l'espèce et de l'aérosol considérés (*PNAS*, mars 2009). Par exemple, les particules de cuivre sont toxiques pour la cyanobactérie *Synechococcus*, mais inoffensives pour *Prochlorococcus*. L'influence de l'atmosphère sur l'écosystème marin reste à explorer.

Les foraminifères (ci-contre) et les coccolithophores (en haut) ont un squelette calcaire.



Steve Gschmeissner, Photo researches, Inc.



Woods Hole Oceanographic Institution