

PULSARS ET POSITRONS

Depuis 2009, des expériences spécialisées dans les rayons cosmiques (*Pamela* et *AMS*) ont mis en évidence un excès de positrons par rapport à ce que prévoyaient les modèles. Deux hypothèses ont été avancées: les positrons sont produits par l'annihilation de particules de matière noire, ou ils sont émis par des pulsars (des étoiles à neutrons en rotation rapide dotées d'un fort champ magnétique). L'observatoire de rayons cosmiques *HAWC*, au Mexique, a étudié le rayonnement gamma émis par les deux pulsars les plus proches. Les résultats confirment que les pulsars sont bien des sources de positrons (ces derniers produisent des rayons gamma en s'annihilant avec des électrons du milieu environnant). Mais les deux pulsars proches sont-ils à l'origine de l'excès de positrons observé? La question reste débattue. ■

S. B.

A. U. Abeysekara *et al.*, *Science*, vol. 358, pp. 911-914, 2017

LE SON DE L'AILE DU PIGEON

Lorsqu'un oiseau s'envole rapidement en cas de danger, ses congénères le suivent. Certains oiseaux lancent un cri d'alarme, mais ce n'est pas toujours le cas. Le mouvement d'envol ou le bruit des ailes sert-il alors de signal? D'après Trevor Murray, de l'université australienne de Canberra, et ses collègues, un bruit caractéristique des ailes peut être interprété comme un signal de danger, au moins dans le cas de la colombe long-gup (*Ocyphaps lophotes*), un pigeon australien.

Les chercheurs ont montré que la huitième plume primaire de ce pigeon engendrait deux sons, l'un à 1,3 kilohertz lorsque les ailes montent, et l'autre à 2,9 kilohertz lorsque les ailes descendent. Le cycle de notes est répété au rythme des battements d'ailes. Les chercheurs ont enregistré cette séquence et l'ont jouée à des pigeons en modulant la vitesse. Si le son est joué normalement, les oiseaux s'envolent; s'il est ralenti (comme si l'oiseau s'envolait en absence de danger), les oiseaux ne s'enfuient pas. ■

S. B.

T. G. Murray *et al.*, *Current Biology*, vol. 27, pp. 3520-3525, 2017

UN TRÉSOR RETROUVÉ À CLUNY

Ces 21 dinars ont été frappés au XII^e siècle dans l'empire almoravide, dont le territoire allait du Maroc à l'Andalousie.



Une cornaline gravée en creux sertie dans une bague en or pour former un sceau constitue sans doute l'objet le plus précieux du trésor qui vient d'être découvert dans l'abbaye de Cluny. Anne Baud et Anne Flammin, du laboratoire Archéologie et archéométrie, à Lyon, recherchaient les fondations de l'ancienne infirmerie de la célèbre abbaye de Saône-et-Loire quand un membre de leur équipe aperçut une pièce d'argent dans le sol. L'alerte donnée, une fouille prudente à la main ramena au jour plus de 2200 deniers et oboles d'argent frappés par l'abbaye. Ces monnaies avaient été enterrées dans un sac de toile, qui contenait aussi un petit paquet de peau tannée et nouée protégeant une feuille d'or pliée de 24 grammes, un petit objet circulaire en or, la bague sigillaire mentionnée plus haut et 21 dinars en or frappés entre 1121 et 1131 en Espagne et au Maroc, donc au sein de l'empire berbère almoravide.

Ce trésor date manifestement de la première moitié du XII^e siècle, période pendant laquelle l'abbaye était encore à son apogée, mais commençait à avoir des difficultés financières, notamment à la suite de la construction de Cluny III, une nouvelle église abbatiale qui a été la plus grande d'Occident.

Qui l'a dissimulé? Dans la mesure où il contient des deniers d'argent frappés à Cluny, il est possible qu'il ait été caché par l'administrateur général de l'abbaye, le moine cellérier. Les prochaines recherches devraient toutefois permettre d'avancer d'autres hypothèses sur l'origine d'un trésor qui semble par ailleurs intégrer une partie de la rente en or que les rois de Castille avaient consentie à l'abbaye (300 pièces d'or annuelles, puis 200 au milieu du XII^e siècle). Quoi qu'il en soit, avec ses dinars almoravides, le trésor de Cluny illustre bien la quasi-absence d'émission monétaire en or au Moyen Âge en Occident chrétien. Il faudra attendre que Florence, en 1252, batte ses premiers florins pour que les émissions d'or reprennent véritablement en Europe. ■

FRANÇOIS SAVATIER

<http://www.arar.mom.fr/recherche-et-activites/axes-de-recherche/equipe-3/abbaye-de-cluny-2015-2018/tresor-medieval-a-abbaye-de-cluny>

PALÉONTOLOGIE

LES PTÉROSAURES PONDAIENT EN COLONIE

La découverte en Chine de plus de 200 œufs de ces reptiles volants livre des informations sur la nidification des ptérosaures et le développement des juvéniles.

Du Trias supérieur à la fin du Crétacé supérieur (de 230 millions à 66 millions d'années), le danger pouvait venir du ciel sous la forme de ptérosaures, dont l'envergure atteignait 10-11 mètres chez certains. Ces reptiles volants avaient de grandes ailes composées de membranes fixées au quatrième doigt, particulièrement allongé, des pattes antérieures. De cet ordre disparu, les paléontologues ont retrouvé de nombreux fossiles partout dans le monde. Mais il n'en est pas de même de leurs œufs : moins d'une dizaine avaient été retrouvés en Argentine et en Chine. On connaissait donc très mal les premiers stades de la vie de ces animaux. Or Xiaolin Wang, de l'Académie chinoise des sciences, à Pékin, et ses collègues viennent de découvrir, pris dans un bloc de grès, un ensemble de 215 œufs de ptérosaures appartenant à l'espèce *Hamipterus tianshanensis*.

Le nombre exceptionnel d'œufs et leurs tailles variables suggèrent qu'ils ont été pondus par différentes femelles sur un même site. Les ptérosaures auraient donc eu un comportement grégaire, au moins pour ce qui est de la ponte. On retrouve ce comportement par exemple chez les tortues luth qui viennent déposer leurs œufs en groupe sur certaines plages.

L'aspect désordonné et l'accumulation des œufs indiquent qu'il y a eu transport de ces derniers. Après avoir analysé la composition et la structure de la roche dans laquelle sont pris les œufs, les chercheurs suggèrent qu'un événement violent tel qu'un fort orage a pu s'abattre sur la zone de nidification et provoquer le déplacement des œufs, qui se sont accumulés avant d'être ensevelis.

Les œufs fossilisés présentent des plis et des déformations indiquant que l'enveloppe était souple, comme les œufs des lézards actuels qui sont dépourvus d'une coquille rigide de carbonate de calcium. Or de tels œufs doivent être déposés dans un substrat humide pour ne pas sécher, ce qui entraînerait la mort de l'embryon. Ainsi, les œufs étaient probablement enterrés dans le sol ou cachés sous un amas de végétaux, mais, du fait du déplacement des œufs par l'orage, les fouilles ne permettent pas de le



Près de 200 œufs de ptérosaures ont été découverts dans un bloc de grès en Chine. Des os d'adultes ont également été retrouvés, ce qui laisse penser que les parents protégeaient les nids.

certifier, ni de dire combien d'œufs par couvée une femelle pondait.

Seize œufs contenaient des restes d'embryons. Xiaolin Wang et ses collègues ont réalisé une reconstruction tridimensionnelle des os pour les étudier. Aucun embryon n'est complet : le mieux préservé contient une aile partielle, des os du crâne et la mâchoire inférieure. Les chercheurs ont constaté que les os des ailes étaient moins développés que les fémurs. Cela suggère qu'au moment de l'éclosion, les ptérosaures étaient probablement capables de se déplacer au sol, mais pas de voler. Une autre observation est que les mâchoires des embryons étaient dépourvues de dents. L'animal nouveau-né ne pouvait donc probablement pas se nourrir seul, ce qui impliquerait une présence parentale.

Mais il est difficile de savoir si les embryons retrouvés étaient quasiment à terme ou beaucoup plus jeunes. Et par comparaison, les dents des crocodiles apparaissent dans les derniers stades de croissance de l'embryon. Il est donc trop tôt pour conclure sur ces aspects du développement des ptérosaures juvéniles. La découverte de ce gisement d'œufs fossilisés n'en est pas moins exceptionnelle. ■

S. B.

X. Wang *et al.*, *Science*, vol. 358, pp. 1197-1201, 2017

POURQUOI LE POISSON-PERROQUET A LA DENT DURE

Les poissons-perroquets mangent beaucoup d'algues coralliennes, qu'ils dégagent du corail en broyant celui-ci avec leurs dents. Ces dernières, qui s'usent et poussent continuellement, doivent donc être d'une extrême dureté. Matthew Marcus a révélé leur structure grâce aux rayons X du synchrotron de Berkeley ; et montré que des cristaux de fluoroapatite (calcium fluorophosphate) longs de 0,1 micromètre et larges de plusieurs micromètres, imbriqués en faisceaux, sont à l'origine de la dureté des dents de ces jolis poissons.

LE « TOMBEAU DU CHRIST » DATE DE CONSTANTIN

Un sanctuaire bâti au sein de l'église du Saint-Sépulcre, à Jérusalem, est censé être le tombeau où aurait reposé le Christ trois jours avant de ressusciter. Lors de sa récente rénovation, une dalle oubliée, maintenue par du mortier, y a été découverte. La datation de ce mortier a révélé qu'il est du milieu du IV^e siècle, donc de l'époque de Constantin. Or c'est bien ce premier empereur chrétien qui envoya un architecte afin de retrouver, d'après la tradition orale, ledit « tombeau du Christ ».

PUNAISE À ÉCHANGEUR DE CHALEUR

Comment *Rhodnius prolixus*, une punaise suceuse de sang, peut-elle ingérer jusqu'à dix fois son poids de sang chaud sans mourir d'hyperthermie ? Sa tête est équipée d'un échangeur de chaleur élaboré qui refroidit le sang ingéré, ont découvert Claudio Lazzari, à l'université de Tours, et ses collègues. En l'absence de ce dispositif, le stress thermique serait fatal à l'insecte : ramené à notre échelle, il équivaut à une prise de 600 litres de soupe à 60 °C !

UN LIQUIDE DE SPINS QUANTIQUE

Les propriétés magnétiques des matériaux dépendent de l'alignement et de l'interaction des moments magnétiques des atomes, c'est-à-dire de leurs spins. Une configuration particulière conduit à ce qu'on nomme un liquide de spins quantique, dont un exemple vient d'être synthétisé en laboratoire.

Dans un matériau antiferromagnétique, la configuration stable, de plus basse énergie, est obtenue quand les spins voisins pointent dans des directions opposées. Mais la géométrie du réseau cristallin peut rendre impossible l'obtention d'une telle configuration stable. On dit alors que les spins sont frustrés.

Dans ce cas, il existe plusieurs configurations de spins qui ont l'énergie minimale, et on peut passer de l'une à l'autre en changeant l'orientation de quelques spins, à énergie constante. Le système de spins est dans ce cas instable : il est dépourvu d'« ordre magnétique ». Les spins fluctuent comme dans un état liquide, et cela même à des températures proches du zéro absolu. Dans ce cas, on parle de liquide de spins quantique.

Quelques exemples de liquides de spins quantiques existent dans la nature, et d'autres ont été synthétisés en laboratoire. Pour en créer de nouveaux, le physicien Alexei Kitaev, de Caltech, a proposé d'utiliser une configuration en nid d'abeille. En 2010, on a découvert deux iridates qui suivent ce modèle, l'iridate de sodium

Na_2IrO_3 et l'iridate de lithium Li_2IrO_3 . Dans les deux cas, les atomes d'iridium forment la structure en nid d'abeille et les atomes de sodium ou de lithium sont au centre des hexagones. Cependant, au-dessous de 15 kelvins, ces matériaux montrent un ordre antiferromagnétique.

Fazel Tafti, du Boston College, et son équipe ont observé, par une analyse aux rayons X, que la structure hexagonale n'est pas parfaite : les angles ne font pas exactement 120° , mais sont compris entre $114,9^\circ$ et $124,2^\circ$. C'est cette imperfection qui fait émerger l'ordre antiferromagnétique au-dessous de 15 kelvins.

La déformation du réseau est due à la taille relativement grande des atomes de sodium et de lithium (0,18 et 0,145 nanomètre de rayon). Les chercheurs ont donc substitué (par chauffage) les atomes de sodium par du cuivre, dont le rayon atomique est de 0,135 nanomètre. Les déformations du réseau étaient plus faibles, avec des angles compris entre $118,7^\circ$ et $122,5^\circ$, et l'iridate de cuivre se comporte comme un liquide de spins au-dessus de 2,7 kelvins. En deçà, un faible ordre magnétique apparaît. Ce matériau présente donc une frustration plus importante que les deux autres iridates, ce qui le rapproche d'un liquide de spins quantique à la Kitaev. ■

S. B.

M. Abramchuk et al., *Journal of the American Chemical Society*, vol. 139(43), pp. 15371-15376, 2017

UNE FOURMI MARIONNETTE

Au cours de l'évolution, certains parasites ont acquis une capacité à manipuler le comportement de leurs hôtes. Cette capacité passe en général par l'infection du cerveau de leurs victimes. De façon étonnante, le champignon parasite *Ophiocordyceps unilateralis* pourrait contrôler son hôte, la fourmi charpentière, en envahissant ses muscles et non son cerveau.

L'équipe de David Hughes, de l'université de Pennsylvanie, a montré qu'après 16 à 25 jours d'infection, l'aggrégation de cellules fongiques pousse l'hôte à se fixer avec ses mandibules à une plante et à mourir à un endroit favorable au développement et à la dispersion des champignons. Le champignon établit des connexions entre cellules musculaires par des prolongements mycéliens, qui forment un réseau dense



Une fourmi, sous le joug d'un champignon, se fixe à une branche avant de mourir et permettre la diffusion des spores.

autour des muscles de l'hôte et en leur sein. Cette invasion provoque une atrophie qui relâche les fibres musculaires. Le champignon agirait ainsi comme un marionnettiste, en jouant directement sur les muscles des pattes et des mandibules. ■

NOËLLE GUILLON

M. A. Frederickson et al., *PNAS*, vol. 114, pp. 12590-12595, 2017