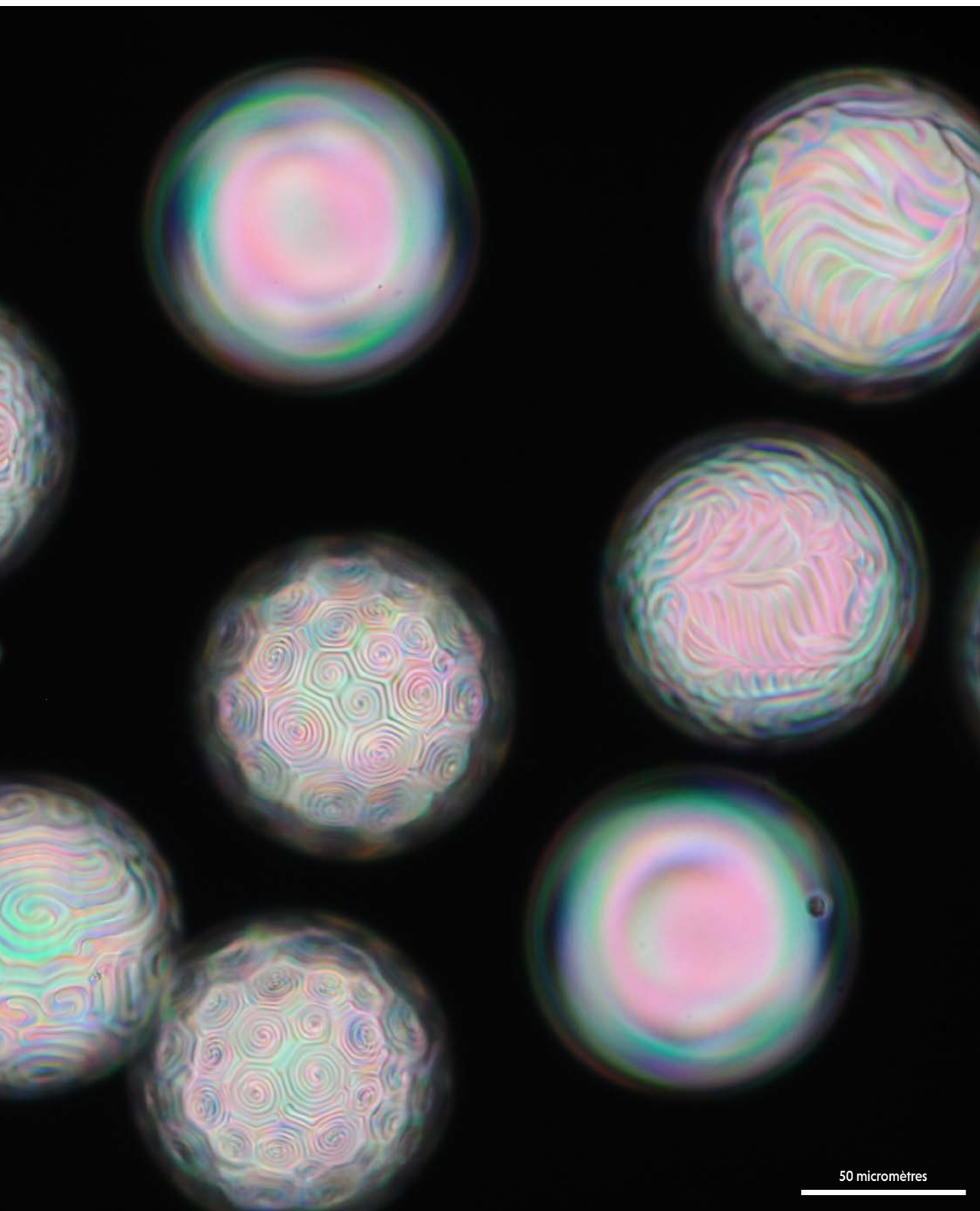




© Guillaume Durey

PHYSIQUE

DES PHOTONS FONT LA PAIRE

Dans un matériau supraconducteur, les électrons forment des paires dites de Cooper, qui circulent dans le matériau sans rencontrer de résistance. Ce phénomène a de nombreuses applications, notamment pour la fabrication d'aimants puissants. André Saraiva, de l'Institut de physique à Rio de Janeiro, et ses collègues ont mis en évidence un équivalent des paires de Cooper avec des photons.

L'existence des paires de Cooper est contre-intuitive, car deux électrons, chargés négativement, se repoussent par la force électrostatique de Coulomb. Mais John Bardeen, Leon Cooper et John Schrieffer ont montré en 1957 que les interactions des électrons avec la matière environnante peuvent créer des forces attractives qui prennent le dessus sur la répulsion coulombienne et grâce auxquelles les paires se forment. Quelle est la nature de ces forces? En circulant, les électrons déforment le réseau cristallin du matériau et le font vibrer. La physique quantique montre que ces vibrations peuvent être considérées comme des quasi-particules nommées phonons, et c'est l'interaction électrons-phonons qui est à l'origine de l'appariement.

Qu'en est-il pour les photons? Ils peuvent interagir avec les atomes par divers processus, telle la diffusion Raman. Dans ce type de

diffusion, l'atome absorbe un photon puis en réémet un autre avec un peu plus – ou un peu moins – d'énergie que le photon initial (l'atome, en se désexcitant, revient alors à un état quantique d'énergie légèrement différente de celle d'avant l'absorption du photon). Les physiciens brésiliens ont montré théoriquement que deux photons d'énergie égale pouvaient procéder à une sorte de double diffusion Raman, l'un ressortant avec un peu plus d'énergie, l'autre un peu moins. L'échange se ferait par l'intermédiaire des vibrations (les phonons) du milieu traversé et pourrait engendrer une force attractive entre les photons, qui formeraient une paire. Dans ce processus *a priori* très rare, les caractéristiques des deux photons seraient fortement corrélées.

Pour mettre en évidence ce phénomène, les physiciens ont mesuré des corrélations en énergie sur des photons de faisceaux laser qui traversent des milieux transparents (eau, propanol, etc.). Ils ont observé plus de paires corrélées qu'ils n'auraient pu en voir si le seul hasard était à l'œuvre. Si ce résultat est confirmé, les chercheurs imaginent déjà des applications à ces paires de photons, par exemple des sources de photons intriqués. ■

S. B.

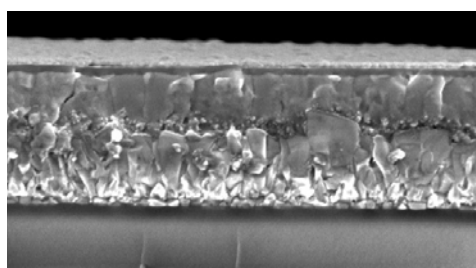
A. Saraiva et al., *Phys. Rev. Lett.*, vol. 119, 193603, 2017

ÉNERGIE

UNE CELLULE SOLAIRE STABLE

Découvertes depuis moins de dix ans, les cellules solaires à pérovskites suscitent un engouement justifié à la fois par la progression de leur rendement (passé de 3,8% à 22,7%, il se rapproche de celui des meilleures cellules au silicium) et par la simplicité de leur fabrication. Mais les meilleures cellules à pérovskite sont à la fois trop chères et trop peu stables dans les conditions réelles d'utilisation.

Les cellules photovoltaïques à pérovskite sont structurées en couches. On obtient les meilleurs rendements avec certains dopants tels que le spiro-OMeTAD, mais les dispositifs résultants sont sensibles à l'ensoleillement et à la température. Et le prix prohibitif du spiro-OMeTAD rend son utilisation à large échelle impensable. L'équipe de Michael Graetzel, de l'École polytechnique fédérale de Lausanne, l'a remplacé par



Coupe de la cellule photovoltaïque à base de thiocyanate de cuivre, observée au microscope électronique.

du thiocyanate de cuivre, un dopant beaucoup plus stable et très peu onéreux. En ajoutant également une couche intercalaire d'oxyde de graphène réduit, les chercheurs ont obtenu une cellule qui conserve son rendement de 20% après 1000 heures d'illumination à une température de 60°C. Mais une solution reste à trouver pour que la cellule résiste à l'air ambiant. ■

MARTIN TIANO

N. Arora et al., *Science*, vol. 358, pp. 768-771, 2017

EN BREF

EDITH HEARD, GRAND PRIX DE L'INSERM 2017

Professeure au Collège de France, Edith Heard est à la tête de l'unité mixte de recherche de génétique et biologie du développement à l'Institut Curie, à Paris. C'est une éminente spécialiste de l'épigénétique, l'étude des mécanismes (moléculaires) qui modulent l'expression des gènes sans modifier leur séquence. Elle a notamment travaillé sur l'inactivation du chromosome X. Elle est aussi très impliquée dans le programme Pause, piloté par le Collège de France, qui vise à l'accueil en urgence de scientifiques en exil, en provenance de pays où la situation politique est critique. En 2019, elle prendra la tête de l'EMBL, le laboratoire européen de biologie moléculaire, à Heidelberg.



MIEUX ESTIMER LA MAGNITUDE D'UN SÉISME

Lors d'un tremblement de terre, de grandes quantités de matière sont déplacées, ce qui modifie le champ de gravité. Les perturbations associées se propagent à la vitesse de la lumière (alors que les signaux sismiques se propagent à des vitesses comprises entre 3 et 10 kilomètres par seconde). Martin Vallée, de l'Institut de physique du globe de Paris, et ses collègues ont extrait les signaux liés aux perturbations de gravité des données des sismomètres lors du séisme de Tohoku, au Japon, en 2011. Ils ont montré que ces signaux donnent une meilleure estimation de la magnitude que l'analyse des ondes sismiques.

ASTROPHYSIQUE

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

BIOLOGIE ANIMALE

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

ARCHÉOLOGIE

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