

Une pince surpuissante

Le crabe des cocotiers, le plus grand arthropode terrestre, est aussi connu pour la puissance de ses pinces. Il les utilise pour se battre et se nourrir. Shin-ichiro Oka, de la fondation Churashima, à Okinawa, au Japon, et ses collègues ont déterminé la force maximale exercée par une pince de cet animal. En étudiant 29 crabes des cocotiers, ils ont montré que la force était proportionnelle à la taille de l'animal et ils ont estimé que les plus grands déployaient une force de 3300 newtons, ce qui leur permet d'être les consommateurs exclusifs de noix de coco.

Des galaxies énigmatiques

Les galaxies ultradiffuses sont un défi pour les astrophysiciens qui tentent de comprendre l'évolution des galaxies : elles contiennent jusqu'à 1 000 fois moins d'étoiles que la Voie lactée, mais sont aussi étendues. Arianna Di Cintio, de l'institut Niels Bohr, au Danemark, et ses collègues avancent une explication. Les galaxies ultradiffuses auraient contenu un grand nombre de supernovæ dans leur jeunesse : ces explosions d'étoiles auraient alors, en dispersant le gaz et la poussière de la galaxie, entravé leur agglomération et donc réduit la formation des étoiles.

Une symbiose ancienne

Guillaume Chomicki et Susanne Renner, de l'université de Munich, ont découvert aux îles Fidji une nouvelle symbiose entre des fourmis et six espèces de plantes du genre *Squamellaria* ; et ils estiment que ce partenariat date de près de trois millions d'années. Ces plantes sont épiphytes : elles utilisent comme support d'autres plantes, telles que des arbres. Les fourmis récoltent leurs graines et les insèrent dans l'écorce des arbres. Elles y déposent aussi leurs excréments, ce qui apporte des nutriments nécessaires à la plante. Les jeunes pousses forment ensuite des cavités qui servent d'habitat aux fourmis.

Physique

Un système quantique monté atome par atome

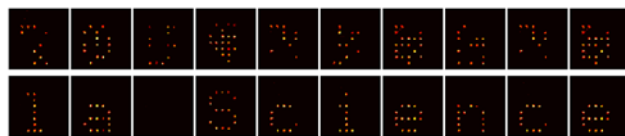
Est-il possible de construire des dispositifs quantiques dont la structure est contrôlée à l'atome près ? La réponse est oui : l'équipe de Thierry Lahaye et d'Antoine Browaeys, du laboratoire Charles Fabry à l'Institut d'optique (université Paris-Saclay), a mis au point un système rapide et performant pour construire atome par atome de tels systèmes.

L'objectif était de produire des matrices d'atomes régulièrement espacés, par exemple dans un plan. Les chercheurs ont utilisé des atomes de rubidium refroidis à une fraction de degré au-dessus du zéro absolu. Cela permet de maintenir une cohérence quantique pendant de longues durées. La matrice est obtenue à partir d'un faisceau laser mis en forme

pour créer des micropièges où vont se nicher les atomes.

Cependant, quand on injecte de façon aléatoire des atomes dans la matrice, le processus de remplissage n'est efficace qu'à 50 %. Pour remplir une matrice de N pièges sans trous, l'équipe de

configuration obtenue est enregistrée par une caméra CCD. Un programme analyse la disposition des atomes et détermine ceux qui doivent être déplacés pour former la matrice recherchée. Pour bouger les atomes un par un, les chercheurs font appel à la tech-



© D. Barredo et al.

Sur ces vignettes, les atomes de la rangée du haut (observés par fluorescence) ont été redispuestos un par un (en bas).

L'Institut d'optique a commencé par une matrice plus grande, de $2N$ pièges, qu'elle remplit aléatoirement une fois avec N atomes. Une image de fluorescence de la

matrice de la pince optique, un laser qui piège un atome et l'entraîne lorsqu'on déplace le faisceau. Avec 50 atomes, la matrice désirée est obtenue en moins d'un dixième de seconde.

S. B.

D. Barredo et al., *Science*, en ligne le 3 novembre 2016

Insolite

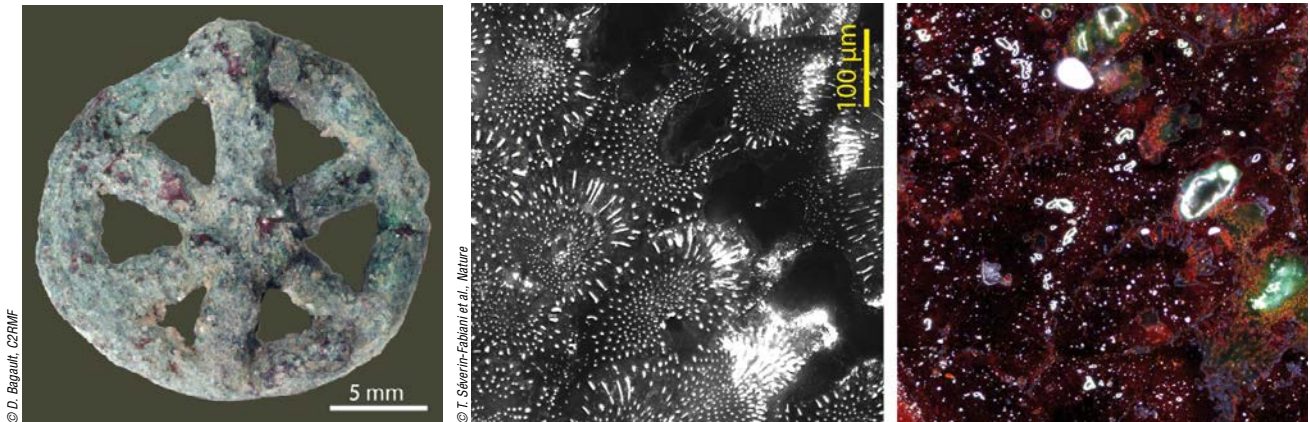
Un penseur peut être une cruche

Pourquoi portons-nous facilement la main à la tête quand nous réfléchissons ? Ce geste accompagnant un regard intérieur est très ancien sans doute. Il fascinait déjà les Levantins de l'âge du Bronze moyen : menée par l'Autorité israélienne des antiquités, la fouille d'une nécropole de cette période au centre de la ville de Yehud a livré un bec de cruche rappelant *Le Penseur* de Rodin. Un penseur vieux de presque 4000 ans !



© Autorité israélienne des antiquités

Archéologie



SOLEIL fait la lumière sur la cire perdue

Au synchrotron SOLEIL, en utilisant l'imagerie par photoluminescence, des chercheurs ont décrypté la fabrication du plus ancien objet métallique fondu par la technique de la cire perdue.

La cuprite, de formule Cu_2O , est le principal produit de l'oxydation du cuivre. En exploitant sa semiconductivité, une équipe menée par Loïc Bertrand, du synchrotron SOLEIL, et par Benoît Mille, du Centre de recherche et de restauration des musées de France, vient de révéler comment, à la fin du V^e millénaire avant notre ère, la plus ancienne cire perdue de l'humanité fut coulée.

Ce procédé de fonderie consiste à construire un modèle de cire de l'objet à réaliser, à le recouvrir d'argile, puis à le faire cuire en ayant prévu un trou pour que la cire fondue s'écoule. On obtient ainsi un moule dans lequel on peut couler du métal, ce qui donne, après refroidissement, l'objet final.

Les chercheurs ont étudié une rouelle, c'est-à-dire l'une de ces amulettes métalliques en forme de petite roue à rayons très utilisées pendant les âges métallurgiques pour faire des offrandes. Aujourd'hui, elle se présente sous la forme d'une petite masse corrodée large de deux centimètres entièrement en cuprite. Découverte en 1985 sur le site de Mehrgarh, à l'ouest de la vallée de l'Indus, elle date de

l'âge du Cuivre, le premier des âges métallurgiques, qui, dans cette région, s'étend de 4500 à 3600 avant notre ère.

L'étude de cette rouelle dans les années 2000 avait déjà révélé sa production à la cire perdue. Pour en préciser les modalités, les chercheurs ont tiré parti d'une propriété des semiconducteurs : la photoluminescence. En éclairant la rouelle avec une lumière d'énergie suffisante, ils ont déclenché l'émission de lumière par la cuprite. Cette lumière leur a permis de faire des analyses spectroscopiques et d'enregistrer des images très précises, dans le proche infrarouge, des défauts cristallins de la cuprite.

Les résultats confirment que la forme complexe de la rouelle a bien été coulée en un seul tenant, comme on le pensait. Ils montrent ensuite que le cuivre employé, probablement trouvé en pépites dans la nature, était particulièrement pur. Toutefois, les chercheurs ont été surpris de découvrir dans les images de photoluminescence (*ci-dessus*) des structures en bâtonnets, qui prouvent que des inclusions de cuprite ont été prises dans la masse de la rouelle dès son coulage. L'équipe de recherche en a déduit que l'atmosphère du

four où le cuivre fut fondu était oxydante. Ce four devait donc être assez rudimentaire. Dans les fonderies d'aujourd'hui, on fond en effet le métal dans une atmosphère non oxydante, afin d'éviter la formation d'oxydes.

En outre, l'observation à différentes échelles du matériau a montré que le mélange de cuprite et de cuivre d'origine a fondu à une température précise, qui a pu être déterminée à un degré près, ainsi que la température de solidification.

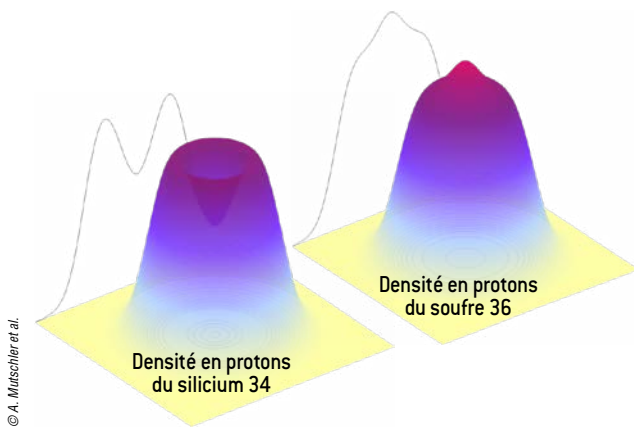
La réalisation d'une rouelle en cuivre pur étonne, car l'archéologie suggère que la cire perdue n'a été vraiment adoptée qu'après la mise au point d'alliages faciles à couler. De fait, les plus anciens objets complexes coulés par cire perdue connus avant la découverte de la rouelle, ceux de Nahal Mishmar, en Israël, ont été formés dans un alliage cuivre-arsenic. À Mehrgarh, les chercheurs ont constaté qu'un alliage très particulier de cuivre riche en plomb apparaît au cours de l'âge du Cuivre. Ainsi, l'emploi de cuivre pur pour produire la rouelle apparaît en quelque sorte comme une erreur de débutant...

F.S.

*Nature Communications,
en ligne le 15 novembre 2016*

La rouelle de Mehrgarh (à gauche) est, avec d'autres objets découverts en même temps, le plus ancien exemple d'utilisation de la technique de la cire perdue. Une image de l'intérieur de la rouelle obtenue par photoluminescence à haute dynamique spatiale (au milieu) révèle une structure en bâtonnets invisible autrement. Elle est comparée à une image du même endroit obtenue par microscopie optique (à droite).

Physique nucléaire



Des noyaux atomiques qui font des bulles

Certains noyaux exotiques présenteraient un creux en leur centre. Après quarante ans de recherche, l'existence de ces « noyaux bulles » vient d'être confirmée expérimentalement.

On se représente souvent les noyaux atomiques comme des amas sphériques de protons et neutrons. Pourtant, ils prennent parfois des formes étonnantes : en poire, en cigare, etc. Dans toutes ces configurations, le cœur du noyau est dense. Dès les années 1970, cependant, il a été suggéré que certains noyaux pouvaient avoir un cœur appauvri en protons et former des noyaux « bulles ». Un tel noyau a été mis en évidence par l'équipe d'Olivier Sorlin, chercheur au Ganil (le Grand accélérateur national d'ions lourds, à Caen).

L'existence des noyaux bulles a été longtemps considérée comme peu probable au regard des modèles décrivant la matière nucléaire. La structure nucléaire est surtout définie par l'interaction forte qui lie les protons aux neutrons. Les propriétés de cette force sont telles que la densité est uniforme et quasi universelle au cœur de tous les noyaux connus : environ 0,16 nucléon par femtomètre cube (soit une densité de 200 millions de tonnes par centimètre cube). Cette densité est quasi constante jusqu'à la

périphérie du noyau, où elle chute rapidement.

Quelques noyaux exotiques découverts par la suite, tels que les noyaux à halo, échappent à cette description. Mais qu'en était-il des noyaux bulles ? Si l'on considère que les protons et les neutrons du noyau atomique sont des objets quantiques, leurs probabilités de présence dans le volume du noyau se déduisent de leurs fonctions d'onde. Dans certains cas, elles s'annulent au centre du noyau. Des calculs prévoyaient que le silicium 34 présentait une déplétion en protons au centre de 40 % par rapport au soufre 36, qui a deux protons de plus que le silicium 34. Mais ces résultats dépendaient du modèle théorique utilisé, et il était donc crucial de les mettre à l'épreuve.

En analysant des données de collisions et de désintégrations au Laboratoire américain du cyclotron supraconducteur de l'université d'État du Michigan, Olivier Sorlin et ses collègues ont comparé la structure du silicium 34 et du soufre 36. Ils ont montré que les deux protons manquants du silicium sont ceux qui occupent

précisément le cœur du noyau de soufre. Le silicium présente donc un déficit de protons en son cœur : il s'agit bien d'un noyau bulle.

Les perspectives de l'étude des noyaux bulles sont nombreuses. Par exemple, les noyaux sont en général si denses qu'ils sont considérés comme très difficilement compressibles. Avec sa structure de noyau bulle, le silicium 34 présenterait un mode de compression tout à fait unique.

Par ailleurs, le silicium 34 n'est peut-être pas le seul noyau où la densité est atypique. Selon certains modèles, les noyaux superlourds présenteraient une « peau de neutrons » telle que la densité de neutrons à la surface du noyau serait caractérisée par une décroissance lente plutôt qu'abrupte. Au Ganil, le nouvel accélérateur d'ions Spiral2 a été inauguré le 3 novembre 2016. Il est dédié à l'étude de la structure de tels noyaux et révélera sans doute de nouvelles structures tout aussi exotiques dans les années à venir.

S. B.

A. Mutschler et al., *Nature Physics*, en ligne le 24 octobre 2016

Le noyau atomique du silicium 34 est étonnant : sa densité en protons (graphique à gauche) présente un déficit vers le centre du noyau, en comparaison avec un noyau plus classique tel que le soufre 36. Cette structure exotique de « noyau bulle » vient d'être mise en évidence. Au Ganil, à Caen, le nouvel accélérateur d'ions Spiral2 (ci-dessus à droite, quelques-uns de ses aimants de focalisation) permettra de rechercher d'autres noyaux bulles parmi les éléments superlourds.

Chimie

Du phosphate à l'ARN

Les premières formes de vie seraient-elles essentiellement fondées sur l'acide ribonucléique (ou ARN)? Cette hypothèse repose sur les remarquables propriétés de cette macromolécule, capable de servir à la fois de support de l'information génétique (rôle surtout assuré par l'ADN aujourd'hui) et de catalyseur des réactions indispensables au développement de l'organisme (comme les protéines aujourd'hui). Elle se heurte néanmoins au « problème du phosphate ». Les ions phosphate sont indispensables à la constitution de l'ARN, où ils servent de lien entre ses nucléosides. Or ces ions sont très rares en condition abiotique, car ils forment rapidement un minéral stable en présence de calcium, l'hydroxyapatite.

Au lieu d'imaginer des conditions permettant à cette roche de libérer des ions phosphate, l'équipe de Steven Benner, de l'entreprise Firebird Biomolecular Sciences, en Floride, a recherché d'autres minéraux susceptibles de phosphoryler les nucléosides : la lüneburgite serait un excellent candidat.

Constituée de magnésium, de borate et de phosphate, la lüneburgite se forme lors de l'évaporation d'eau riche en ces composés. Reproduisant en laboratoire un simple cycle de précipitation et d'évaporation tel qu'on peut l'observer en milieu désertique, les chimistes ont mis en présence une solution aqueuse contenant des nucléosides avec de la lüneburgite, avant de faire évaporer l'eau résiduelle. Après 16 heures, 15 % des nucléosides étaient phosphorylés. Le mécanisme de cette réaction s'effectue en deux temps : les nucléosides déstabilisent tout d'abord la lüneburgite en se liant aux borates, ce qui provoque la libération des ions phosphate. Ceux-ci peuvent alors se fixer sur les nucléosides à leur tour. « Cette étude montre tout l'intérêt du bore en chimie prébiotique, dont le rôle est probablement négligé », estime Laurent Boiteau, chimiste du CNRS à Montpellier.

Une interrogation subsiste néanmoins. Le bore est un élément rare, et le contexte géologique lors de l'apparition des premières formes de vie, il y a 3,8 milliards d'années, est différent de celui que l'on connaît aujourd'hui : y avait-il réellement de la lüneburgite à cette époque? Cette roche se dégradant facilement, il n'en reste pas de trace. Pour Steven Benner et ses collaborateurs, il existe cependant des indices. En effet, elle se décompose en tourmaline, apatite et monazite. Or ces minéraux ont justement été retrouvés dans des échantillons du Groenland datant d'environ 3,8 milliards d'années.

Martin Tiano

H.-J. Kim et al., *Angew. Chem. Int. Ed.*, en ligne le 9 novembre 2016

Biologie végétale

Plants de tabac dopés

En modifiant des plants de tabac, Johannes Kromdijk, de l'université de l'Illinois, et ses collègues ont accéléré leur croissance dans des conditions de culture en plein champ : après 22 jours, le poids à sec des plants modifiés était de 14 % à 20 % plus élevé que celui des plants non modifiés. Les biologistes ont augmenté l'efficacité de la photosynthèse non pas en élevant sa cadence, mais en optimisant son délai de mise en route.

La photosynthèse, avec l'aide du soleil, transforme en glucides le dioxyde de carbone fixé par la plante et l'eau absorbée. Toutefois, ce n'est pas parce que les plantes ont besoin du soleil pour croître qu'elles ne risquent pas de brûler sous ses rayons. Au fil de l'évolution, elles ont ainsi développé un mécanisme de protection solaire – un mécanisme qui, en cas d'excès, dissipe sous forme de chaleur une partie de l'énergie lumineuse reçue. Mieux, ce

processus se déclenche dès que la plante est trop exposée et s'arrête lorsqu'un nuage passe ou quand une feuille en ombre une autre.

Cependant, l'arrêt prend quelques minutes à quelques heures, ce qui n'est pas anodin. En effet, d'après des simulations, une plante fixe sur une journée entre 7,5 % et 30 % de dioxyde de carbone en moins que si la protection solaire se levait sans délai. Les biologistes ont donc eu l'idée d'augmenter la production de protéines impliquées dans la levée de la protection. À cette fin, ils ont introduit dans le génome du tabac des copies supplémentaires de trois gènes codant ces protéines, issues d'une autre plante, l'arabette des dames. Ces travaux auront-ils une quelconque utilité pour répondre aux besoins alimentaires de la population mondiale croissante, comme le suggèrent leurs auteurs? Rien n'est moins sûr.

M.-N. C.

Science, vol. 354, pp. 857-861, 2016



En cas de fort ensoleillement, les plantes se protègent en dissipant sous forme de chaleur l'excès d'énergie solaire reçue. Des biologistes ont joué sur ce mécanisme pour accélérer la croissance de plants de tabac.

Le cœur de glace de Pluton

La surface de Pluton présente une région de couleur claire en forme de cœur. Des astrophysiciens ont utilisé les données de la sonde *New Horizons* pour étudier une zone de son lobe gauche, surnommée Sputnik Planitia. Il s'agit d'une dépression remplie de cristaux de monoxyde de carbone et d'azote qui se sont condensés dans cette région froide, âgée de dix millions d'années. En réfléchissant mieux la lumière du Soleil, son refroidissement s'est accentué, d'où l'accumulation de cristaux.

Les astrocytes ouvrent l'appétit

Notre appétit est contrôlé par différents neurones du noyau arqué de l'hypothalamus. Naiyan Chen, du MIT, et ses collègues ont découvert un nouvel acteur : les cellules gliales, et en particulier les astrocytes, des cellules cérébrales non neuronales. Ils ont montré que des rongeurs mangeaient

davantage que les souris témoins si les astrocytes de leur noyau arqué étaient activés (par génie génétique), mais moins s'ils étaient bloqués (avec des drogues). Dans le premier cas, les neurones stimulant l'appétit étaient aussi excités. Moduler l'activité des astrocytes serait donc une piste possible pour traiter l'obésité.

Suivez les dernières actualités
de Pour la Science
sur les réseaux sociaux



Retrouvez
plus d'actualités sur
www.pourlascience.fr