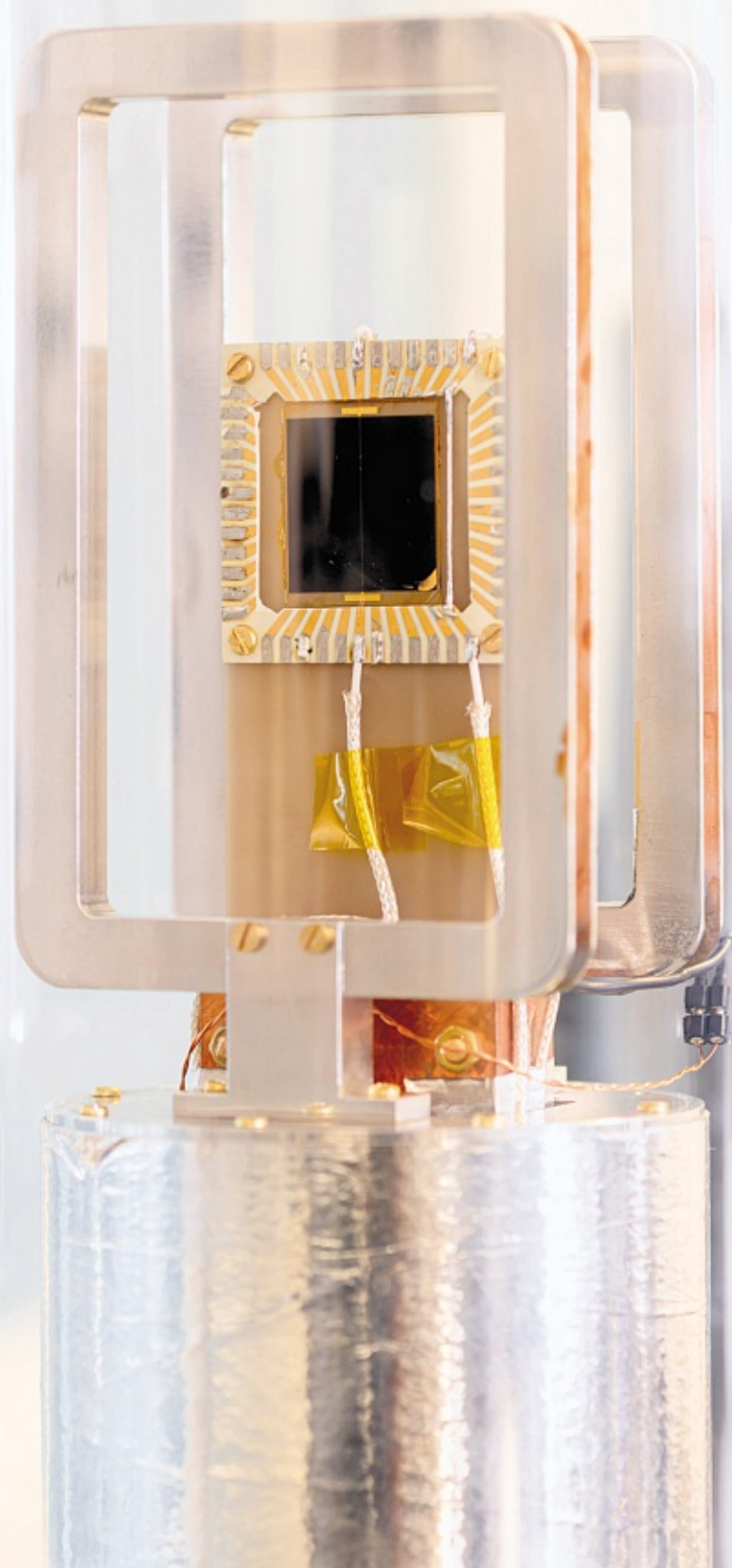


# science Le Monde & médecine



Au laboratoire de recherche et développement de Thales, à Palaiseau (Essonne), un capteur quantique sert d'antenne afin d'analyser les ondes électromagnétiques.

CHRISTOPHE CAUDROY POUR « LE MONDE »

## Les capteurs quantiques sortent des labos

Se situer sans GPS, mesurer des champs magnétiques à de hautes pressions, cartographier des irrégularités gravitationnelles à la surface des océans, autant de services concrets rendus par ces petits objets qui révolutionnent la métrologie et ses applications

DAVID LAROUSSE

**D**epuis le prix Nobel de physique 2022, plus personne n'ignore que des révolutions technologiques, dans le sillage de la mécanique quantique, sont en cours. Cette théorie-phare de la physique – centenaire – décrit la matière et ses interactions avec la lumière. Elle a été à l'origine d'innovations aussi variées que les transistors, les lasers, les horloges atomiques des satellites de géolocalisation, les disques durs, les DVD...

Et ce n'est pas fini, comme aime à le rappeler le lauréat français de la dernière promotion Nobel, Alain Aspect, qui parle de « *seconde révolution* », lancée avec deux promesses spectaculaires : des puissances de calcul insensées et des communications ultrasécurisées. Mais, tel l'arbre qui cache la forêt, ces deux piliers masquent un autre domaine en pleine effervescence, la métrologie et ses représentants : les capteurs quantiques.

Reconnaissons que cette expression fait moins rêver que l'ordinateur quantique, l'Internet quantique ou la téléportation. Mais les capteurs dans leur version classique sont bien plus courants. Il n'y a qu'à se pencher sur les téléphones portables : la 4G, le Wi-Fi, le signal GPS ou Galileo ont besoin d'antennes ; le son passe par un micro ; les photos et vidéos nécessitent des caméras qui enregistrent les grains de lumière (les photons) ; l'image à l'écran bascule quant à elle grâce à des accéléromètres, etc.

Champ magnétique, champ de radiofréquence, gravitation, mouvement... Tout signal peut être enregistré, analysé et utilisé pour de nouvelles fonctions ou améliorer l'existant. Comme leurs aînés à la mode, les capteurs de nouvelle génération, quantiques donc, portent aussi leurs promesses.

Des systèmes de navigation sans satellite, des appareils IRM non bruyants et moins chers, des réacteurs à fusion nucléaire plus faciles à contrôler, des matériaux supraconducteurs à température ambiante... Sans parler des applications dans le secteur de la défense pour élargir les capacités d'écoutes électromagnétiques, repérer des mines ou des véhicules sous-marins, améliorer les radars... La liste s'étend, et en France le soutien se développe : sur le 1,8 milliard d'euros prévu dans le cadre du plan quantique national, 10 millions d'euros seront prochainement débloqués spécifiquement pour les capteurs.

Les enjeux ne sont pas que commerciaux. « *Souveraineté* », « *souveraineté* », « *souveraineté* », par trois fois, lors d'une visite dans le laboratoire de recherche et développement de Thales à Palaiseau (Essonne), le mot a été prononcé par Daniel Dolfi, directeur du département de physique de l'entreprise, soulignant l'importance de maîtriser la fabrication et les usages de ces technologies.

Mais à quoi ressemblent ces capteurs quantiques ? Visite guidée au pays des atomes artificiels, des atomes froids et des atomes géants.

→ LIRE LA SUITE PAGES 4-5

## Des pierres taillées par des paranthropes au Kenya

Il y a 2,9 millions d'années, ces outils retrouvés près du lac Victoria ont servi à découper de la viande et à broyer des végétaux

PAGE 2



## La planète naine Quaoar possède un anneau déroutant

La distance entre le disque et le planétoïde autour duquel il s'est stabilisé défie les lois sur la formation des lunes

PAGE 3



## Portrait Jean-Claude Golvin, archéologue et artiste

Ses aquarelles font revivre villes et monuments de l'Antiquité romaine. Les livres d'histoire et les musées continuent de faire appel à sa liberté scientifique

PAGE 8



**C'**est un site de rêve !», s'exclame l'archéologue Sonia Harmand (université Stony Brook, New York) en commentant la découverte, au Kenya, d'outils lithiques datés de 2,6 à 3 millions d'années. Elle-même a mis au jour en 2012, déjà dans ce pays d'Afrique de l'Est, des outils de pierre vieux de 3,3 millions d'années, de facture plus fruste. La nouvelle découverte, présentée dans *Science* du 10 février, ne fait donc pas tomber de record d'ancienneté. Mais ce que la chercheuse française juge « extraordinaire », c'est que ses collègues, sous la direction de Thomas Plummer (Queens College, Smithsonian's Human Origins Program), soient tombés sur une combinaison unique d'éléments archéologiques et paléontologiques.

Le site de Nyayanga, près du lac Victoria, fouillé depuis 2015, a en effet livré les plus anciens outils de pierre taillée de facture dite oldowayenne – en référence aux gorges d'Olduvai, en Tanzanie, où les premiers artefacts de ce type avaient été mis au jour à la fin des années 1930 par le couple de paléanthropologues Louis et Mary Leakey – mais y ont aussi été trouvés quantité d'ossements d'animaux portant des marques de découpe ou de fractures causées par lesdits outils. Mieux, on a observé sur ces derniers des traces d'utilisation non seulement comme instruments de débitage ou d'attendrissement de la viande, mais aussi de broyage de végétaux. Et enfin, l'expédition a eu la chance de mettre la main sur deux molaires de *Paranthropus*, les plus anciennes attribuées à cet hominidé (la famille des humains et de ses ancêtres et apparentés).

#### Précieuse moelle

Un « carton plein » que Thomas Plummer attribue à sa bonne étoile. « *Même si nous n'avions trouvé que des outils, je me serais considéré comme très chanceux* », indique-t-il, insistant sur la rareté de telles découvertes. Celles-ci ne sont cependant pas entièrement fortuites. Le chercheur fouillait depuis vingt ans les environs, dans une péninsule au nord-est du lac Victoria, où les anciennes retombées d'éruptions d'un volcan ont protégé les vestiges archéologiques et paléontologiques. « *Un des hommes qui travaillaient avec nous est originaire de Nyayanga et nous a indiqué y avoir vu des artefacts proches de ceux que nous cherchions. Nous sommes allés voir ce qui sortait de terre après de grosses pluies qui dégagent les sédiments, puis, à partir de 2015, nous avons lancé des fouilles en bonne et due forme*, raconte Thomas Plummer. *La majorité des vestiges ont été retrouvés en 2016 et 2017.* »

L'article de *Science* les présente en détail. Il y a donc d'abord les outils lithiques oldowayens – plusieurs centaines de « marteaux », de noyaux de pierre et d'éclats ont été identifiés.

Les artefacts en question sont distincts des outils vieux de 3,3 millions d'années trouvés par Sonia Harmand sur le site de Lomekwi 3. Si la nouvelle découverte situe désormais les plus vieux



Outils lithiques trouvés sur le site de Nyayanga, au Kenya. T. W. PLUMMER, J. S. OLIVER AND E. M. FINESTONE, HOMA PENINSULA PALEOANTHROPOLOGY PROJECT

## Du tartare d'hippopotame au menu, il y a 2,9 millions d'années

PALÉONTOLOGIE - Des outils oldowayens en pierre taillée, découverts au Kenya, conservent les traces d'un usage sur la viande et les végétaux

outils oldowayens au Kenya, à 1300 kilomètres des sites éthiopiens où l'on plaçait auparavant leur émergence, « *Nyayanga n'est pas le chaînon manquant entre l'industrie lithique de Lomekwi et l'oldowayen* », note la Française, pour qui il faudra chercher d'autres sites intermédiaires pouvant être témoins de l'évolution d'une technologie à l'autre. A condition qu'il ne se soit pas agi d'inventions totalement indépendantes, indique Thomas Plummer, qui rappelle le succès des outils oldowayens : « *Ils ont été adoptés dans l'ensemble de l'Afrique et on les a ensuite retrouvés en Géorgie, et jusqu'en Chine.* »

#### DES ACTES DE BOUCHERIE ONT ÉTÉ CONFIRMÉS PAR L'ANALYSE AU MICROSCOPE DE L'USURE DES OUTILS EN PIERRE

Evoquons les ossements. La fouille a livré des centaines de restes animaux dont certains directement en contact avec les outils. Plusieurs hippopotames assez complets ont été mis au jour. Certains os fossilisés portent des marques de dents de carnivores ou de charognards, mais sur d'autres, on devine clairement des traces de découpe pour dégager la viande, ou de fractures pour accéder à la précieuse moelle. Les hominides mettaient aussi des tartares de bovidés à leur menu. Chassaient-ils ? « *On ne peut pas le savoir*, répond Thomas Plummer. *Ce qui est certain, c'est qu'entailler la peau d'un hippopotame est impossible sans des outils en pierre.* » Sonia Harmand penche plus pour des pratiques de charognage.

Ces actes de boucherie ont en tout cas été confirmés par l'analyse au microscope de l'usure des outils en pierre. Ceux-ci avaient aussi des usages plus végétariens. Les marques de polissage et les stries observées sur certains d'entre eux indiquent qu'ils servaient à couper et à broyer des tubercules, à trancher du bois ou des herbes. « *Des sites d'environ 2 millions d'années nous avaient déjà permis de savoir que les outils oldowayens étaient utilisés tant pour la viande que pour les végétaux*, indique Thomas Plummer, *mais nous montrons que cette pratique était plus ancienne et plus répandue qu'on ne le pensait.* »

#### L'énigme du fabricant

Ce régime alimentaire riche en végétaux est corroboré par l'analyse isotopique des deux molaires de paranthrope trouvées sur place. La concentration en carbone 4 de celles-ci renvoie à la consommation d'herbes plutôt que de fruits poussant sur des arbres, qui sont, eux, des végétaux dits « en carbone C3 ». « *Il faut imaginer un paysage ouvert avec beaucoup d'herbes hautes, mais aussi une source d'eau limpide et un cours d'eau entouré d'arbres où l'on pouvait se protéger des gros prédateurs*, décrit Thomas Plummer. *C'était un bon coin.* »

Des ribambelles de singes y cohabitaient avec les paranthropes. Depuis la découverte, en Afrique du Sud, du premier fossile attribué à ce genre à la fin des années 1930, plusieurs espèces à la classification mouvante ont été décrites datant de 2,6 millions à 0,6 million d'années. Bipède mais encore capable d'arboriculture, *Paranthropus*

présentait une crête sagittale sur le crâne, où s'ancrait un puissant appareil masticateur.

Ces hominides étaient-ils les fabricants des outils trouvés à Nyayanga, ou des opportunistes récupérant le travail d'autrui, ou encore de simples « passants » ? Les auteurs de l'article de *Science* se gardent de trancher. « *Il existe d'autres sites où l'on a trouvé conjointement des restes de paranthropes et des outils, et il est clair que d'autres hominides que ceux du genre Homo pouvaient en fabriquer*, précise Thomas Plummer. *Mais des représentants du genre Homo étaient probablement aussi dans le paysage. Le plus ancien date de 2,8 millions d'années, et a été trouvé à Ledi-Geraru, en Ethiopie.* »

La question reste d'autant plus ouverte que la datation du site de Nyayanga est relativement large, puisque les bornes vont de 2,58 à 3,03 millions d'années. « *C'est un choix prudent*, souligne cependant Thomas Plummer, qui se base sur des changements d'orientation du pôle magnétique terrestre visibles dans la roche. *Mais d'autres méthodes suggèrent plutôt 2,9 millions d'années, date qui a la préférence de certains de mes collègues.* » C'est d'ailleurs celle-ci qui est mise en avant dans le communiqué de presse annonçant la découverte, faisant des paranthropes de Nyayanga les plus anciens trouvés à ce jour.

Thomas Plummer ne pense pas s'arrêter là. « *Le site est riche, et nous prospectons des zones plus anciennes* », indique-t-il, certain que ce coin d'Afrique a de quoi le mobiliser « *au moins jusqu'à la retraite.* » ■

HERVÉ MORIN

## Des liaisons dangereuses entre incendies et météorologie

CLIMATOLOGIE - Les grands feux de forêt jouent un rôle dans certains phénomènes météo, selon une étude qui donne des pistes de prévention

Les incendies de grande ampleur produisent une quantité de fumée suffisante pour affecter la météo. Or, selon une équipe de chercheurs de l'université de Nankin (Chine), ces perturbations météorologiques participent à catalyser les feux qui en sont à l'origine. Un piège en miroir. Il est question ici d'échelles de temps et d'espace réduites. Il existe également une relation entre incendies et climat, mais elle est difficile à résumer tant elle est tentaculaire.

Sous la supervision de Xin Huang, spécialiste de la chimie atmosphérique, des chercheurs ont mesuré de nombreux paramètres météorologiques aux alentours de grands feux de végétation en Asie du Sud-Est et sur la côte ouest des Etats-Unis en 2020 et 2021.

Leurs résultats, publiés dans la revue *Science*, montrent qu'en s'élevant dans l'atmosphère, la fumée absorbe le rayonnement solaire, réchauffant l'air en altitude et refroidissant celui au niveau du sol. Ce simple différentiel de température va induire des perturbations météorologiques aux conséquences multiples.

#### Phénomènes conjugués

Le tableau se noircit lorsque les chercheurs démontrent que ces perturbations entretiennent directement les feux qui les ont provoquées. Ils ont observé que les vents violents ainsi formés et dévalant les pentes montagneuses de la chaîne des Cascades, sur la côte ouest des Etats-Unis, ont contribué à l'expansion des incendies de 2020. En Asie du Sud-

Est, une anomalie différente se produit : les masses d'air marin se trouvant sous le nuage de fumée refroidissent et stagnent, limitant évaporation et apport d'humidité venant du large. Cette fois-ci, c'est la sécheresse qui s'installe et augmente le risque d'incendie.

Les auteurs de l'étude avancent que leurs résultats permettront d'améliorer la lutte contre les incendies en ciblant les « zones amplificatrices », où le mécanisme de rétroaction qu'ils ont identifié se manifeste le plus fortement. En effet, l'influence des fumées sur la météo restait jusqu'à présent un sujet peu étudié. En revanche, l'influence de la météo sur les incendies est mieux connue, et ces connaissances ont depuis longtemps un rôle primor-

dial dans la gestion des incendies. Ainsi, Météo-France calcule un « indice forêt météo » à l'aide de divers paramètres, tels que la vitesse du vent, la température ou encore l'humidité. Il est utilisé par les autorités de sécurité civile pour déterminer où prépositionner les moyens de lutte contre les incendies.

#### Agir en amont

Françoise Vimeux souligne d'ailleurs l'importance de la cartographie des zones les plus propices aux incendies. La climatologue à l'Institut de recherche pour le développement le rappelle : du fait du réchauffement climatique, les événements extrêmes sont amenés à se multiplier, et les incendies tels que ceux observés durant l'été 2022

en France et dans le monde en sont une illustration frappante.

Pour Julien Ruffault, chercheur à l'Inrae d'Avignon, allouer plus de moyens sera loin d'être inutile, mais face à des feux d'une intensité extrême, augmenter le nombre de Canadair et de camions de pompiers ne suffira pas. Agir contre les dépôts de feu reste la priorité, d'autant plus que neuf feux sur dix sont d'origine humaine. Selon Françoise Vimeux, réduire le risque lié aux incendies doit également passer par l'aménagement des territoires, en éloignant les habitations des zones sensibles, par exemple.

Par ailleurs, Xin Huang a mis en évidence une anomalie atmosphérique conduisant à la stagnation en basse altitude des nombreuses particules fines qui com-

posent la fumée, des particules polluantes en suspension dans l'air ayant un fort impact sanitaire. A mesure que l'incendie progresse, elles s'accumulent et atteignent des concentrations dangereuses. Ainsi, sur la côte ouest des Etats-Unis, l'exposition aux particules fines a augmenté d'environ 77% lors des incendies de 2020.

Les conséquences en termes de santé publique ne sont pas négligeables, d'autant plus lorsque cette pollution touche des aires urbaines densément peuplées. Des études précédentes avaient permis d'estimer que la pollution induite par les grands feux de végétation dans le monde serait à l'origine d'environ 8% des décès prématurés dus à une mauvaise qualité de l'air. ■

HUGO HAYÉ



# Formation des lunes : Quaoar bouscule la loi

ASTRONOMIE - Le disque qui entoure le lointain planétoïde, situé au-delà de Neptune, ne devrait pas exister à une telle distance d'après la « limite de Roche »

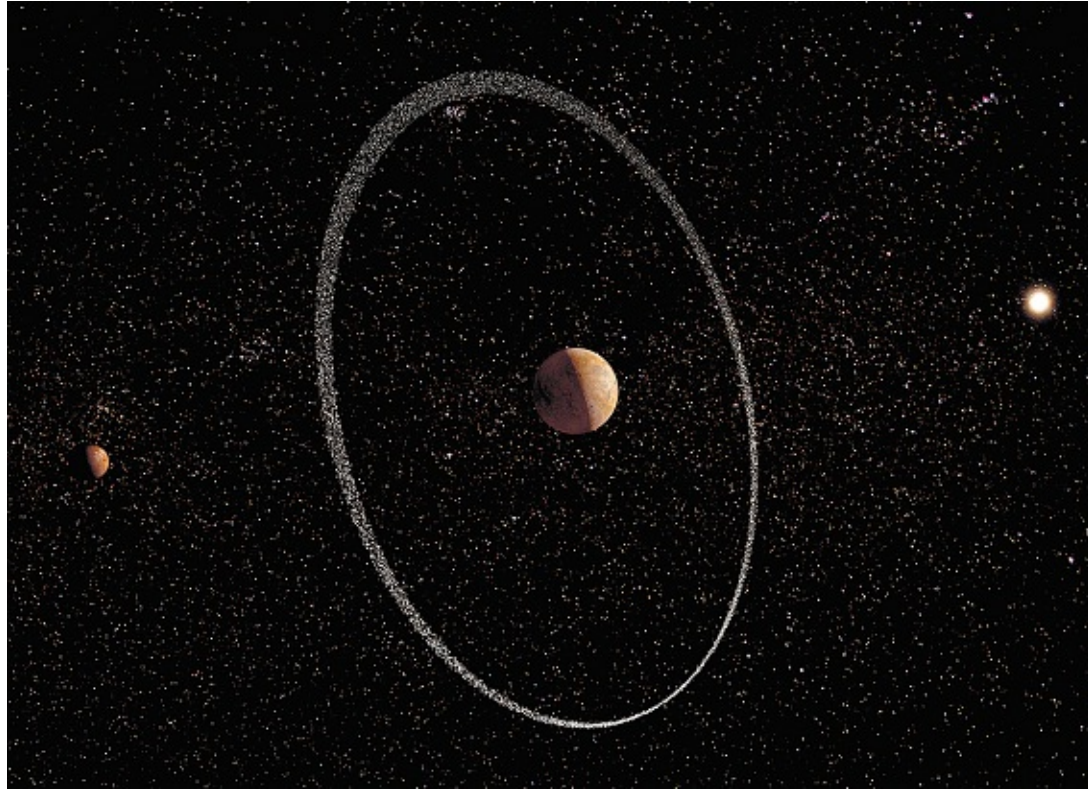
Imposant corps céleste de 555 kilomètres de rayon des régions de l'espace situées au-delà de l'orbite de Neptune, Quaoar est connu pour avoir brièvement détenu, en 2002, le record du plus gros objet du Système solaire découvert depuis Pluton (1186 km de rayon). A en croire les travaux présentés dans la revue *Nature* du 9 février, il pourra désormais se prévaloir d'une autre particularité : celle de posséder l'anneau le plus bizarre jamais repéré.

Bruno Morgado, de l'université fédérale de Rio de Janeiro, Bruno Sicardy, de l'Observatoire de Paris-PSL, et leurs collègues sont parvenus à détecter ce disque de débris en recourant à la méthode des occultations stellaires. Surtout, ils l'ont caractérisé avec suffisamment de précision pour mettre en cause les théories en vigueur sur les conditions de formation de ce type de structure.

Comptant parmi les merveilles du Système solaire, les anneaux planétaires ne correspondent pas, à proprement dit, à des objets. Mais à des zones de l'espace occupées par une myriade de fragments de toutes tailles. Du résidu de quelques centimètres à la petite lune. Si le disque de Saturne est le plus fameux de tous, d'autres couronnes, moins larges, moins denses ou faites d'une matière plus sombre, entourent aussi, complètement ou partiellement, Jupiter, Uranus et Neptune. Et il en serait de même, a-t-on appris, en 2014 et en 2017, de certains astéroïdes et planétoïdes, comme Chariklo et Haumea.

Ces entités datent-elles de l'époque de la formation des planètes du Système solaire ? Ou sont-elles le résultat, plus tardif, d'une collision avec un objet extérieur ou de la destruction d'une lune ? Les astronomes ne se risquent pas à proposer un scénario. Mais remarquent que tous ces disques orbitent à faibles distances de leur corps céleste, en deçà de la « limite de Roche » – du nom du mathématicien et astronome français Edouard Roche (1820-1883) –, qui détermine la région où l'action des forces de marées exercées par un objet est suffisante pour disloquer un satellite.

La couronne repérée par le groupe de Bruno Morgado et de Bruno Sicardy autour du planétoïde Quaoar se situe bien au-delà de cette limite. Une découverte réalisée



Vue d'artiste du lointain planétoïde Quaoar et de son anneau. ESA

grâce à l'observation des occultations stellaires. Ce procédé éprouvé de l'astronomie permet de réunir des informations sur des corps du Système solaire trop petits ou trop lointains pour être aisément étudiés par d'autres moyens.

## Des questions sans réponse

Les dimensions, la forme, l'éventuelle existence d'un anneau ou d'une atmosphère sont rendues accessibles simplement en analysant ou en chronométrant la baisse de luminosité occasionnée par le passage de ces objets devant une étoile. Du moins, lorsque l'on parvient à détecter le phénomène, ce qui n'est pas toujours possible en raison des incertitudes sur la position et le mouvement des astres. Un problème que connaissent bien les amateurs et les professionnels, souvent confrontés à la difficulté de prédire dans quelle étroite bande de la surface du globe terrestre – sa largeur doit être égale au diamètre de l'objet étudié – il leur sera nécessaire de déployer leurs équipements.

Dans le cadre d'un projet du Conseil européen de la recherche (ERC) baptisé « Lucky Star », les astronomes ont eu l'idée de profiter de la

récente livraison, par la mission « Gaia » de l'ESA, d'un nouveau catalogue recensant les places occupées dans le ciel par 1,7 milliard d'étoiles. De quoi multiplier, entre 2018 et 2021, les observations des occultations stellaires provoquées par Quaoar – dont le nom est celui d'une divinité nord-amérindienne.

Au terme de quatre campagnes ayant mobilisé, à travers le monde, de nombreux instruments professionnels et amateurs, ainsi que le télescope spatial Cheops de l'ESA, ils ont découvert que ce planétoïde – doté d'un petit satellite – est entouré d'un anneau fait d'une forte densité de débris de grandes tailles. « Large de 8 kilomètres par endroits et de 300 kilomètres à d'autres, cet anneau circule à 4100 kilomètres de Quaoar, à des distances échappant à l'action destructive des forces de marées », explique Bruno Sicardy.

« Selon les thèses en vigueur, un disque placé à cet endroit ne peut pas survivre longtemps. Au bout de quelques mois, il doit disparaître pour donner naissance à une lune par accretion de ses divers matériaux », ajoute l'astronome. Dès lors, comment expliquer son existence ? Les scientifiques n'ont pas la réponse.

Mais, se basant sur des résultats de simulations numériques et d'expériences conduites en laboratoire dans les années 1980, ils proposent que, sous l'effet des températures très basses régnant dans ces régions du Système solaire, les propriétés collisionnelles des particules de glace de l'anneau aient été modifiées, les empêchant de se coller entre elles. Des effets de résonance, encore mal compris, pourraient également avoir contribué à confiner ces dernières sur leurs orbites.

« Au-delà de ce qu'elle nous apprend des anneaux planétaires, cette étude est surprenante par la quantité considérable d'informations qu'elle nous livre sur les propriétés dynamiques et physiques du système de Quaoar », estime l'astronome Paolo Tanga, qui dirige au laboratoire Lagrange de l'Observatoire de la Côte d'Azur un programme d'observation des occultations stellaires produites par Didymos, l'astéroïde double percuté en 2022 par la sonde DART de la Nasa. Une étude dont la seule ambition était, au départ, de mesurer comment la lumière d'une étoile est cachée par le passage d'un objet dans la ligne de visée. ■

VAHÉ TER MINASSIAN

## TÉLESCOPE

### MATHÉMATIQUES

**Ingrid Daubechies, première lauréate du prix Wolf**  
Pour la première fois depuis la création du réputé prix Wolf, créé en 1978 par la fondation israélienne éponyme, une femme, Ingrid Daubechies, a reçu la récompense en mathématiques, dotée de 100 000 dollars. Cette scientifique belge, 58 ans, professeur à la Duke University à Durham (Etats-Unis), est notamment connue pour ses travaux en analyse, avec notamment l'invention de méthodes de compression des signaux, les ondelettes, qui ont permis le développement de l'imagerie avec, par exemple, le standard de compression JPEG2000. Membre de l'Académie des sciences, elle a été la première femme à présider l'Union mathématique internationale (2011-2014) et est engagée pour une plus grande diversité au sein de sa discipline.

### INTÉGRITÉ SCIENTIFIQUE

#### Sanction pour une directrice de recherche du CNRS

La chimiste Jolanda Spadavecchia, directrice de recherche au CNRS et travaillant dans un laboratoire de l'université Paris Nord, a été exclue un mois de ses fonctions au CNRS pour « manquement aux règles de l'intégrité scientifique », selon la décision publiée dans le *Bulletin officiel du CNRS* de janvier 2023. Cette inconduite s'est traduite par « vingt-cinq erreurs et neuf manquements aux règles usuelles de publication » dans vingt articles entre 2011 et 2021. L'affaire avait été déclenchée par un de ses collègues en février 2021 (supplément « Science & médecine » du daté 7 décembre 2022), après la découverte de plusieurs figures identiques utilisées dans des publications distinctes. Une dizaine de corrections et une rétraction ont depuis été décidées par les éditeurs de ces articles, mais d'autres sont toujours en attente.

### PALÉONTOLOGIE

#### Un manchot géant vieux de 57 millions d'années découvert en Nouvelle-Zélande

Il pouvait peser plus de 150 kilogrammes, ce qui en fait le manchot le plus massif jamais décrit. Les restes fossilisés de *Kumimanu fordycei* ont été découverts sur une plage de l'île sud de Nouvelle-Zélande, dans une couche de galets datée d'environ 57 millions d'années. Des ossements d'une autre espèce de manchots, légèrement plus grosse que les manchots empereurs, ont conjointement été mis au jour sur le site. Tous deux présentaient des caractères archaïques, notamment des attaches musculaires proches des oiseaux volants. En raison de sa taille, déduite de la mesure des os de ses nageoires, *Kumimanu fordycei* devait bénéficier d'une meilleure conservation de sa température corporelle dans l'eau froide, avançaient les chercheurs, qui s'interrogent ainsi sur les capacités de plongée d'une telle bête. > Ksepka et al., « *Journal of Paleontology* », du 8 février

# En France, un jeune sur cinq présente des troubles dépressifs

SANTÉ MENTALE - La part des 18-24 ans ayant connu un épisode de dépression a quasi doublé depuis 2017. Cette tendance touche tous les âges

La crise sanitaire provoquée par l'épidémie de Covid-19, qui dure depuis trois ans, a eu un fort impact sur la santé mentale de la population. La hausse du nombre de personnes souffrant de troubles dépressifs est « sans précédent » depuis 2017, selon le dernier *Bulletin épidémiologique hebdomadaire (BEH)*, publié mardi 14 février par Santé publique France (SPF).

Globalement, 13,3 % des personnes âgées de 18 à 75 ans ont connu un épisode dépressif au cours de l'année 2021, une hausse de 36 % par rapport à 2017. La hausse est majeure chez les jeunes adultes (18-24 ans), avec 20,8 % de cette tranche d'âge touchée en 2021, contre 11,7 % quatre ans auparavant, une hausse de près de 80 % ; les jeunes femmes sont plus concernées (26,5 %) que les jeunes hommes (15,2 %).

Ces chiffres sont issus du baromètre de Santé publique France, qui a interrogé 24 514 personnes âgées de 18 à 85 ans par téléphone et en ligne, selon un sondage aléatoire qui évalue régulièrement l'état de santé psychique de la population depuis 2005.

Pour mesurer la dépression, l'agence sanitaire utilise comme instrument de mesure une version courte du questionnaire Composite International Diagnostic Interview, développée par l'Organisation mondiale de la santé, qui sert à définir l'épisode dépressif caractérisé. Celui-ci correspond à l'existence d'un épisode de tristesse ou de perte d'intérêt pendant au moins deux semaines consécutives, et d'au moins trois symptômes dits « secondaires » (fatigue, perte ou prise de poids, problème de sommeil, de concentration, idées de

mort...), avec un retentissement sur la vie quotidienne. Ces épisodes sont qualifiés de légers, modérés ou sévères. « On s'attendait à cette hausse, mais pas à un tel niveau, notamment chez les jeunes », constate Christophe Léon, chargé des enquêtes dans l'unité santé mentale de SPF, et également l'un des auteurs.

## Contexte de crise sanitaire

Cette forte prévalence dans la tranche d'âge 18-24 ans, une période clé, « est en partie liée à des situations de vie – situations professionnelles, familiales et financières – rendues sans doute plus précaires dans le contexte de crise sanitaire », signalent les auteurs du BEH.

« L'isolement social généré par les confinements, les incertitudes quant aux études et à l'avenir, la précarité mise en lumière lors de la pandémie, et probablement

le contexte actuel très anxiogène – crise climatique, guerre, situation économique –, ont pesé fortement sur les plus jeunes », décrypte Enguerrand du Roscoät, responsable de l'unité santé mentale à SPF, coauteur de l'étude. Avoir des antécédents de troubles mentaux est aussi un facteur de risque.

« Les personnes vivant dans les grandes villes, notamment en Ile-de-France, sont les plus concernées, de même que ceux qui ne sont pas à l'aise financièrement, qui vivent seuls ou en famille monoparentale, qui sont au chômage », précise cette enquête. Parallèlement, « le fait d'avoir eu des symptômes du Covid-19, le stress sans précédent causé par l'épidémie, et les mesures de contrôle en décollant semblent être des facteurs majeurs », soulignent les auteurs. « Les femmes sont plus concernées quel que soit l'âge,

elles sont notamment exposées à davantage de facteurs de risque en raison de conditions de vie plus compliquées, de revenus plus faibles, elles sont soumises à davantage de violences », précise Enguerrand du Roscoät.

## Passages aux urgences

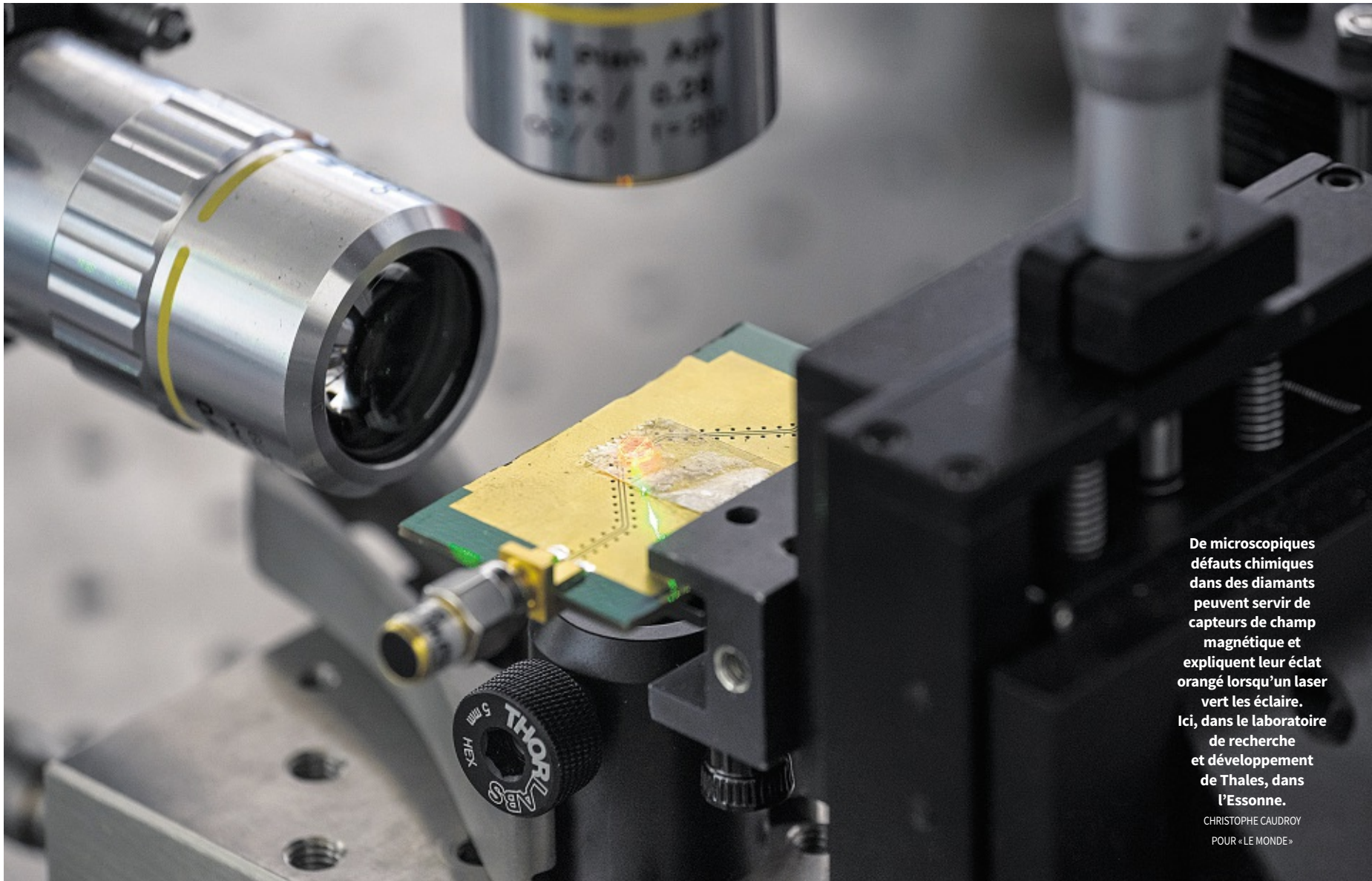
Ces données vont dans le même sens que de nombreuses études internationales et nationales sur l'état psychique de la population. Ainsi, les données du réseau Oscour (société française de médecine d'urgence) ont montré une hausse des passages aux urgences pour troubles de l'humeur (des épisodes dépressifs dans 80 % des cas) et/ou idées suicidaires, 23 % chez les 18-24 ans, et 58 % chez les 11-17 ans en 2021 par rapport à 2018. Cette tendance s'est même accentuée en 2022, selon SPF. Vulnérable, la population

étudiante déprimée a doublé de 2010 à 2021, pour atteindre 20,3 %. La même tendance est retrouvée avec CoviPrev – un suivi mis en place par SPF en mars 2020, qui interroge en ligne, avec la société d'études et de conseils BVA, des échantillons de 2 000 personnes. Selon la dernière mesure, réalisée en décembre 2022, 17 % des Français montrent des signes d'un état dépressif, 7 points de plus qu'avant l'épidémie et 24 % un état anxieux.

Les professionnels de santé s'inquiètent, d'autant plus que de nombreuses personnes ne consultent pas. Or, l'important, pour mieux prendre soin de soi, est de pouvoir en parler, aux proches, à son médecin, ou de s'informer et surtout d'appeler par exemple le 3114 en cas d'idée suicidaire, pour soi-même ou pour un proche. ■

PASCALLE SANTI





De microscopiques défauts chimiques dans des diamants peuvent servir de capteurs de champ magnétique et expliquent leur éclat orangé lorsqu'un laser vert les éclaire. Ici, dans le laboratoire de recherche et développement de Thales, dans l'Essonne.

CHRISTOPHE CAUDROY  
POUR « LE MONDE »

# Les promesses technologiques des capteurs quantiques

► SUITE DE LA PREMIÈRE PAGE

## Des atomes artificiels dans un diamant

L'objet quantique qui, sans conteste, offre le plus large panorama d'applications en métrologie est un diamant qui tire sa beauté et sa force de... ses défauts. Depuis une vingtaine d'années, les chercheurs ont en effet appris à fabriquer – et surtout à domestiquer – un diamant légèrement modifié. Il suffit de lui enlever deux atomes voisins de carbone, d'en remplacer un par un atome d'azote et de laisser vide l'autre position pour que tout change. Alors que le diamant est transparent, son cousin ainsi modifié se met à briller d'un éclat orange, pour peu qu'on l'éclaire d'un rayon vert. D'où son nom barbare de diamant au centre coloré NV (NV pour *nitrogen-vacancy*, « lacune d'azote » en français).

Tout se passe comme si la modification chimique avait transformé la région perturbée en un atome artificiel, au comportement analogue à celui d'un électron autour d'un noyau, possédant des niveaux d'énergie discontinus. En outre, l'équivalent d'une petite aimantation apparaît : l'éclat orange s'atténue si le diamant est plongé dans un champ magnétique. De quoi en faire un excellent magnétomètre interrogeable par la lumière. Autre atout, on peut l'emporter dans sa poche et il fonctionne à température ordinaire.

C'est Jörg Wrachtrup, de l'université de Stuttgart (Allemagne), qui, en isolant en 1997 le premier centre coloré, a donné le coup d'envoi d'une véritable ruée. A Orsay, les physiciens Philippe Grangier et Jean-François Roch en font, au début

des années 2000, la première source de lumière émettant un à un des photons, clé de voûte d'expériences de physique fondamentale. Puis, d'autres rêvent des diamants pour créer des ordinateurs quantiques, car le centre coloré fait un excellent qubit, le nom barbare des bits quantiques qu'il s'agit de faire interférer entre eux pour doper la puissance de calcul.

« Ces applications ont beaucoup motivé la communauté, puis l'intérêt est retombé. Mais il a rebondi avec les capteurs. Les diamants sont des hôtes robustes qui peuvent survivre dans le monde réel et qui, à l'intérieur, portent une part du monde quantique », estime Ron Walsworth, professeur à l'université du Maryland. Il a créé une start-up, Q-Cat, pour « catalyser » les projets des technologies quantiques. Déjà trois entreprises en sont issues : Euclid veut scanner les circuits électroniques et repérer dans les champs induits des défauts de fabrication, voire des systèmes espions ; QDM.IO fabrique des microscopes à balayage dotés d'une tête diamant qui cartographie les domaines magnétiques des matériaux ; Xerxes entend permettre la fusion nucléaire en maintenant stable le plus longtemps possible le champ magnétique qui piège et concentre les noyaux dans les réacteurs.

Le pionnier Jörg Wrachtrup a testé des casques de magnéto-encéphalogramme plus légers. Les militaires sont aussi très intéressés. Un missile est soumis à de forts rayonnements des défenses adverses pour contrer son arrivée, et seul un diamant pourrait résister à ces attaques, les mesurer et proposer une parade. Les systèmes d'écoute, aussi tireraient profit de ces détecteurs capables de réagir dans un très large spectre, comme le teste Thales par exemple. La détection d'objets sous l'eau – mines, drones, sous-

marins – est aussi à portée de main grâce aux effets magnétiques générés par ces engins.

Une navigation sans satellite de géolocalisation serait aussi possible en construisant une carte magnétique des fonds marins qui permettrait ensuite de savoir où l'on est, de la même façon qu'une carte des reliefs aide le promeneur. Une autre cartographie intéresse : celle de régions microscopiques situées sur des matériaux aux propriétés électromagnétiques inédites, qui ouvrirait la voie à ce que certains baptisent « magnonique » ou « twistronique ». Des noms compliqués pour désigner une utilisation intelligente des propriétés magnétiques de nouveaux composants de calcul, de communication..., composants qu'on doit au préalable « observer » avec un « œil magnétique ».

En 2017, Vincent Jacques, à l'université de Montpellier, a été le premier à réaliser un microscope doté d'une pointe diamant capable de faire cette carte magnétique. Depuis, des entreprises commercialisent de tels appareils, QZabre et Qnami, en Suisse, QDM.IO aux Etats-Unis, ou encore Wainvam en France. L'équipe de Montpellier ne s'est pas arrêtée là. En 2021, Aurèle Finco, chargée de recherche au CNRS, a ainsi réussi à voir à l'intérieur de la muraille de quelques nanomètres seulement qui sépare deux régions magnétiques et y a repéré les ondes magnétiques s'y propageant. « La bonne surprise est que ces diamants peuvent servir à développer des thèmes jugés poussiéreux, comme l'étude des matériaux. Au début, on était seuls dans cette voie... », considère Jean-François Roch, professeur à l'ENS Paris-Saclay.

« Le point important n'est pas que ces capteurs améliorent la sensibilité ou la précision des mesures. Leur avantage est ailleurs. Ces diamants permettent de faire des mesures là où c'est tout simplement impossible : forte température, pression, milieu biologique... Ces capteurs n'ont rien de révolutionnaires en eux-mêmes, mais ils le sont en fonction du contexte », poursuit le chercheur, qui apprécie de travailler sur ces environnements « hostiles ».

Il est ainsi en passe d'aider à avancer dans une controverse scientifique : les très hautes pressions permettent-elles de fabriquer des matériaux supraconducteurs, c'est-à-dire qui perdent toute résistance électrique à température ambiante ? Pour le savoir, la clé est de mesurer leur comportement magnétique. Mais à des millions de fois la pression atmosphérique, aucun capteur ne résiste. Sauf peut-être, comme il est en passe de le montrer avec ses collègues, les diamants.

## De précieux atomes froids

Avec ces nouveaux capteurs, la seconde révolution quantique, célébrée par le prix Nobel de physique 2022, approche. Il s'agit de manipuler des atomes froids, très froids, gelés même (un millionième de degré au-dessus du zéro absolu, - 273,15 °C), qui conservent la propriété-clé d'avoir des niveaux d'énergie discontinus, et de pouvoir être dans deux états à la fois. Mais en plus, ces paquets d'atomes peuvent se comporter différemment des particules matérielles, et adopter les atours d'une onde, comme la capacité à interférer.

Grâce à cette propriété, il est possible de mesurer très précisément des accélérations, comme celles

subies par le déplacement d'un véhicule (bateau, sous-marin, avion...), ou celle que ressent tout corps sur Terre, la gravitation. L'idée est d'envoyer les ondes atomiques sur deux chemins différents, de les recombiner et d'observer leurs différences, qui signifieraient la présence d'une accélération sur un chemin et pas sur l'autre.

Le concept, imaginé dans les années 1990 par le Prix Nobel de physique 1997, Steven Chu, a fini par se concrétiser dans des laboratoires français au cours des années 2000, à l'Office national d'études et de recherches aérospatiales (Onera), à l'Institut d'optique et à l'Observatoire de Paris, pour déboucher sur des produits tels ceux vendus par l'entreprise française Exail, qui a racheté la start-up Muquans, née de ces travaux académiques. Thales s'intéresse aussi à ces précieux atomes froids.

L'ambition est de transformer ces nuages de quelques millions d'atomes en véritable système de navigation se passant des satellites. En effet, si à tout instant l'accélération subie par un objet est connue, alors sa vitesse aussi. Et si la vitesse est connue, la position aussi. Mais cela suppose des mesures de grande précision, dans les trois directions de l'espace. « On peut penser que d'ici à cinq ans, nous aurons des instruments meilleurs que les centrales inertielles actuelles », estime Bruno Desruelle, de l'entreprise Exail et cofondateur de Muquans.

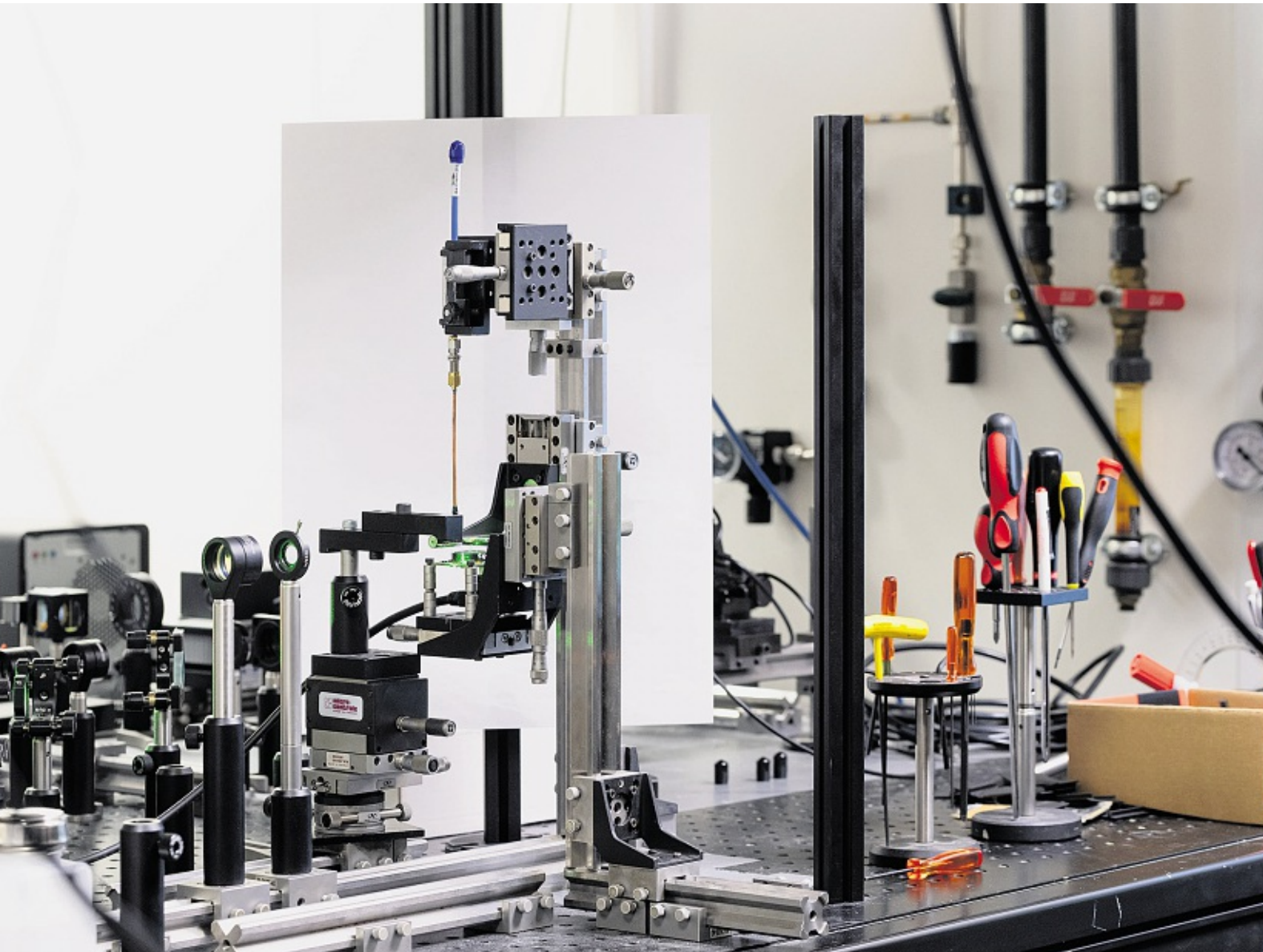
La première étape a été de mesurer l'accélération verticale, donc la gravitation, subie par le paquet d'atomes en chute libre sur une dizaine de centimètres. Il a fallu à Muquans presque dix ans pour mettre au point un gravimètre. Il est si stable et si pratique qu'il est utilisé par des géologues sur les volcans ou les glaciers. « A l'école, on apprend la valeur de la force de gravitation avec deux chiffres après la virgule. Notre appareil en donne huit », rappelle Bruno Desruelle. Grâce à l'instrument, sensible aux densités locales de matière, il est possible de « voir » sous la surface des poches d'eau, des montées de magma, des cavités...

Pour le Service hydrographique et océanographique de la marine (SHOM), l'Onera a aussi développé une autre application : cartographier la valeur de l'attraction terrestre en tout point des mers et des océans. Cette carte gravimétrique peut alors servir à se repérer. De même qu'un randonneur trouvera son cap en suivant la direction d'un sommet lointain, un navigateur saura où il se trouve s'il tombe sur une anomalie de gravité déjà répertoriée.

La suite est déjà enclenchée par Onera et Exail : mesurer les accélérations sur trois axes pour recalibrer les centrales inertielles existantes qui ont tendance à dériver. « Les atomes ont l'avantage de ne pas se fatiguer ou s'user, contrairement aux autres systèmes », s'amuse Sylvain Schwartz, responsable à l'Onera du laboratoire QTech.

Chez Thales, cette application motive aussi. Cette fois, les atomes sont piégés au-dessus d'une puce électronique de quelques centimètres carrés pour encore réduire l'encombrement. Les paquets d'atomes pourraient non seulement servir à repérer les accélérations, mais aussi les rotations, comme un gyroscope, afin d'avoir une centrale inertielle complète embarquée dans un avion ou un robot sous-marin. « Nous visons une précision de 1 mètre sur la localisation », rappelle





Daniel Dolfi, chez Thales, qui insiste aussi sur la nécessité de disposer de ces technologies pour la souveraineté des États.

## Des atomes géants dans les antennes

« Nous vivons un changement de paradigme dans les technologies des antennes, qui sont restées inchangées depuis le XIX<sup>e</sup> siècle », a rappelé David Anderson, président de la start-up américaine Rydberg Technologies, lors du congrès Optica Quantum Industry Summit, le 8 novembre 2022, à Saint-Germain-en-Laye. Son entreprise est la première à commercialiser des antennes utilisant des effets quantiques subtils. Une antenne classique permet de suivre le déplacement des électrons dans le conducteur, qui font des allers-retours à une fréquence proportionnelle à celle qui les agite. Dans les nouvelles, on regarde plutôt les électrons sauter sur les barreaux d'une échelle; mécanique quantique oblige.

L'idée est donc de créer l'« échelle », puis d'y faire grimper les électrons, avant de vérifier où ils ont grimpé exactement. Un laser se charge de la première étape en apportant assez d'énergie pour presque arracher les électrons des noyaux d'un gaz enroulé dans une enceinte en verre. Mais pas trop pour qu'ils restent en orbite. Cela fabrique un atome « géant » car l'électron est loin de son centre d'attraction.

« LES DIAMANTS [CAPTEURS] PERMETTENT DE FAIRE DES MESURES LÀ OÙ C'EST TOUT SIMPLEMENT IMPOSSIBLE: FORTE TEMPÉRATURE, PRESSION, MILIEU BIOLOGIQUE... »

JEAN-FRANÇOIS ROCH  
PROFESSEUR À L'ENS PARIS-SACLAY

Les écarts entre les barreaux sont si serrés qu'ils correspondent à des écarts d'énergie qui, convertis en fréquence, balaient la quasi-totalité du spectre de radiofréquence, des grandes ondes de la radio aux fréquences des télécommunications 4G ou 5G, en passant par la bande FM. Si une telle onde arrive, elle excite les électrons et les fait grimper sur l'échelle. Un second rayon laser vient sonder le nouvel état des atomes, qui absorbent plus ou moins cette lumière selon leur environnement radiofréquence : les ondes radio sont ainsi détectées par de la lumière.

« Cette technique apporte plusieurs avantages. On s'affranchit de la règle selon laquelle la taille des antennes dépend de la longueur étudiée. Le détecteur est ici plus petit. On peut mesurer des fréquences difficiles jusqu'à présent comme les térahertz [mille fois plus courts que les lon-

gueurs d'onde de téléphonie mobile par exemple]. Enfin, on a une mesure absolue qui ne nécessite pas de calibration », souligne Sylvain Schwartz, du laboratoire QTech, qui explore aussi cette technologie.

Avec ses collègues, il songe à utiliser des atomes froids plutôt que chauds pour améliorer encore les précisions. « A l'avenir, on peut imaginer un appareil qui serait comme un tuner de radio qu'on tourne, idéal pour régler les systèmes radars », estime Daniel Dolfi, qui a également des travaux de recherche sur le sujet.

Pour l'instant Rydberg Technologies, créé en 2015, vend ses systèmes à des professionnels pour des mesures de rayonnement d'appareils ou des tests de laboratoire, mais déjà avec un gain, puisque ses instruments sont dix fois plus petits que l'existant.

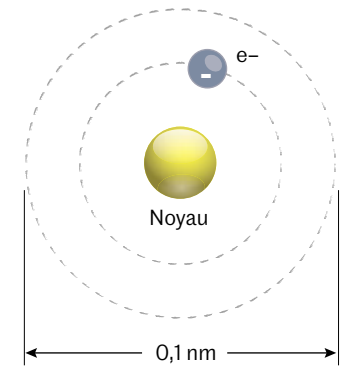
Le nom de l'entreprise et de ces atomes géants viennent du physicien suédois « préquantique » Johannes Rydberg (1854-1919), qui avait identifié la trace de ces « barreaux » d'échelle. Le regain d'intérêt de ces atomes vient de travaux fondamentaux en information quantique. Le Nobel de physique 2012 Serge Haroche s'en est servi pour sonder les propriétés étranges de la théorie. Et la start-up française Pasqal, conseillée par Alain Aspect, entend bien faire de ces atomes les futurs transistors des ordinateurs quantiques à venir. Les diverses voies des révolutions quantiques se nourrissent l'une l'autre. ■

DAVID LAROUSSERIE

## Des atomes dans tous leurs états

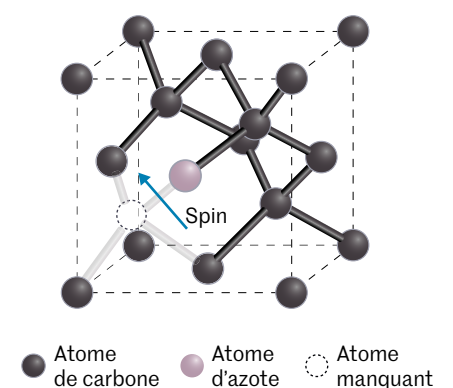
### L'atome stable

Un atome est constitué d'un noyau positif autour duquel tournent des électrons, dont les énergies ont des valeurs discontinues (c'est la quantification d'où tire son nom la théorie quantique).



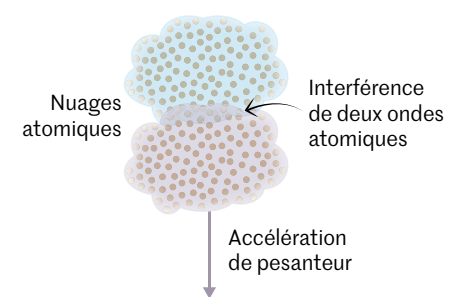
### L'atome artificiel (ou centre coloré du diamant)

Dans un cristal de diamant, on peut ôter un atome de carbone et substituer, à côté, un autre atome de carbone par un atome d'azote. Il apparaît alors l'équivalent d'un atome artificiel avec des niveaux d'énergie quantifiés. En outre, il est porteur d'une sorte d'aimantation, le spin, qui est sensible aux champs magnétiques environnants. En l'absence de champ, le diamant brille et, avec un champ, il brille moins. De quoi en faire un excellent magnétomètre.



### Les atomes froids

Piégés par des lasers, des millions d'atomes sont refroidis. Comme ils sont aussi des ondes, on peut les séparer en deux, une partie, par exemple « en haut », une autre « en bas » (ou « à droite » et « à gauche »). On les recombine ensuite, pour, toujours comme des ondes, les faire interférer ensemble. La présence d'une accélération, comme la pesanteur, n'affecte pas de la même manière chacun des chemins. La technique permet ainsi de mesurer précisément ces perturbations.



# UNE RÉVOLUTION DE L'IMAGERIE MÉDICALE

C'est dans les vieux pots que l'on fait les meilleures soupes. L'adage s'applique aussi à des technologies de pointe qui promettent de révolutionner l'imagerie médicale par résonance magnétique (IRM). La start-up française Chipiron, née en 2020, entend ainsi se passer des champs magnétiques très intenses des appareils d'IRM, qui les rendent encombrants et bruyants, grâce à des composants inventés dans les années... 1960. Quantiques, comme il se doit, dès lors qu'on veut détecter de petits effets, les Squid (pour Superconducting Quantum Interference Device, « détecteur d'interférence quantique supraconducteur ») ont donné leur nom à l'entreprise : squid signifie « calamar » en anglais, donc « chipiron » dans le sud-ouest de la France.

Ce petit anneau de quelques micromètres de diamètre est en fait utilisé depuis plus d'un demi-siècle pour mesurer de faibles champs magnétiques, grâce à des effets quantiques. Le principe ressemble

à l'induction, c'est-à-dire l'apparition d'un courant électrique dans l'anneau traversé par un champ magnétique. Mais il est amélioré par le fait que l'anneau est en partie supraconducteur et parcouru par des courants en sens inverse qui interagissent.

« Accélérer les diagnostics »  
« Notre projet global : rendre l'IRM aussi simple qu'une prise de sang et la rendre ainsi accessible à tout le monde, et partout », écrit Dimitri Labat, cofondateur de Chipiron avec Evan Kervella, dans un article présentant leur projet. « D'un côté, on a des IRM qui demandent trente-quatre jours d'attente en moyenne. De l'autre, des scanners à rayons X, plus disponibles, mais qui ne voient pas exactement les mêmes choses. Nous visons des indications médicales entre les deux pour accélérer des diagnostics, précise Evan Kervella. Nous ne cherchons pas à remplacer la qualité des IRM actuelles. »

Dès leur rencontre, lui, ingénieur de formation, et son collègue, doc-

teur en physique, comprennent que leur projet demande de diminuer d'environ mille fois les champs magnétiques utilisés. Il faudra donc être capable de mesurer des effets magnétiques induits de très faible intensité, soit quelques nanoteslas, mille fois moins que les champs rayonnés dans une IRM classique.

Le Squid est alors incontournable pour y arriver. Mais, pour fonctionner, il doit être refroidi à très basse température, 4 degrés au-dessus du zéro absolu, ce qu'un corps humain ne supporte pas. « Nos innovations ne portent pas sur les Squid eux-mêmes, mais sur la manière de les coupler aux champs magnétiques émis par les tissus », rappelle Evan Kervella.

Et c'est donc sur une « antenne » que leurs efforts, et leurs premiers brevets, portent. Les prototypes actuels n'ont rien de high-tech ou de quantique : sur un cylindre en plastique plus gros qu'une canette, des fils de cuivre sont savamment entortillés afin de récupérer les précieux signaux. « L'antenne est « chaude » et donc on perd un peu en sensibilité,

mais nos simulations montrent que le signal reste suffisant pour faire des images », détaille Dimitri Labat.

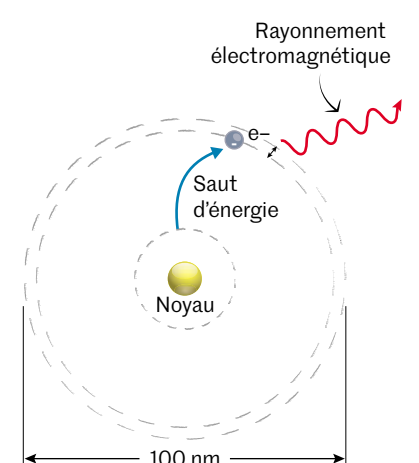
La géométrie brevetée permet aussi d'éliminer des champs parasites, permettant, selon la start-up, de s'affranchir des blindages qui rendraient moins accessible le déploiement de leurs appareils. Un concurrent américain, Hyperfine, vend déjà des appareils à bas champ, mais au moins vingt fois au-dessus de ce que proposera Chipiron. « Des résultats ont montré qu'abaisser le champ magnétique augmente le contraste, donc nous pensons que nous aurons de meilleures images que nos concurrents », indique Dimitri Labat.

Grâce à deux levées de fonds, en 2021 et en 2022, la start-up dispose d'environ 3 millions d'euros, et de quatorze employés (dont douze docteurs). L'objectif est d'obtenir dans deux mois de premières images non médicales, puis, dans deux ans, des clichés à montrer à des médecins. ■

D. L.

### L'atome géant (dit de Rydberg)

En apportant par un laser de l'énergie à un électron, il orbite loin du noyau, sans être arraché. De faibles fréquences, situées dans le spectre des radiofréquences, peuvent alors le faire changer d'orbite, permettant la détection de ces ondes, à la manière d'une antenne.



Infographie : Le Monde



## LE LIVRE

La démocratie  
sanitaire revisitée

La juriste et sociologue Lucile Sergent pose un nouveau regard sur la participation des patients au système de santé

Il y a tout juste un an, le 20<sup>e</sup> anniversaire de la loi Kouchner du 4 mars 2002 relative aux droits des malades a été l'occasion de dresser un bilan de ce texte fondateur de santé publique. Celui-ci a montré que si les droits individuels des patients ont incontestablement progressé, la partie est encore loin d'être gagnée s'agissant des droits collectifs et de la démocratie sanitaire. La juriste de formation Lucile Sergent, approfondit dans un petit livre ce sujet de la participation des citoyens et des patients au système de santé. Cette doctorante en sociologie, également patiente experte, remet quelques pendules à l'heure.

Pour beaucoup, les mouvements collectifs de patients ont commencé avec l'épidémie de sida, dans les années 1980. Lucile Sergent exhume des racines bien plus anciennes, dès la fin du XIX<sup>e</sup> siècle. Alors que la tuberculose est la plus grande cause de mortalité – les antibiotiques n'ayant pas encore été découverts –, les malades se rassemblent en associations à partir de 1892. Plus tard, « proche du Parti communiste, la FNLA [Fédération nationale de lutte antituberculeuse] mènera de nombreux combats pour le bien-être des malades, organisant même des grèves dans les sanatoriums », écrit la sociologue, en détaillant les actions des associations de malades tuberculeux, mais aussi la mobilisation, après la première guerre mondiale, d'autres collectifs comme ceux de personnes avec un handicap.

## Légitimité scientifique

Plus près de nous, l'auteur souligne le travail d'associations telles que Renaloo (malades du rein) ou le Ciane (Collectif interassociatif autour de la naissance), qui construisent et publient des études et du savoir par la mise en œuvre d'un *evidence-based activism* (« activisme fondé sur les preuves »). Avec ses propres travaux sur l'épisiotomie et le déclenchement des accouchements, le Ciane a ainsi prouvé les conséquences négatives de leur utilisation abusive. « En utilisant les propres outils de l'expert, les associations bousculent les dogmes et mettent à mal des pratiques qui ne sont plus questionnées », constate-t-elle.

Les collectifs de patients ont gagné une légitimité scientifique et jouent un rôle de contre-pouvoir. Mais, attention aux risques d'instrumentalisation, met toutefois en garde Lucile Sergent : « Si aujourd'hui les politiques publiques ainsi que le programme de l'industrie du médicament semblent prôner la démocratie sanitaire, l'étude de leur documentation montre qu'elle est parfois dévoyée au profit d'objectifs gestionnaires. »

Une enquête qu'elle a menée au début de la pandémie de Covid-19 dans deux hôpitaux confirme le poids très variable des malades et de leurs représentants dans les instances de réflexion et d'éthique des établissements. Ils ne sont parfois que des alibis. Au quotidien, mais encore plus en période de crise, la démocratie sanitaire reste bien fragile. ■

SANDRINE CABUT

« Malades en action, démocratie sanitaire en question », de Lucile Sergent (Erès, 144 p., 14 €)

## LIVRAISON

## LIVRE

## « Tout ce que vous avez toujours voulu savoir sur l'Univers »

Le temps s'arrêtera-t-il un jour ? Voici l'une des multiples questions sur la nature de notre monde, auxquelles le roboticien et dessinateur Jorge Cham et le physicien des particules Daniel Whiteson se proposent de répondre. Téléportation, trous noirs, moteur à distorsion, extraterrestres sont aussi au programme. Dans cette catégorie intarissable des ouvrages abordant de vastes problèmes sans se prendre au sérieux, nos deux auteurs, qui avaient déjà présenté *Tout ce que nous ne savons pas encore* proposent une variation aussi plaisante et qu'abordable.

> De Jorge Cham et Daniel Whiteson (Flammarion, 352 p., 21, 90 €)

DES VAGUELLETES  
LACUSTRES  
SUR LE SOL MARTIEN

La présence passée d'eau liquide sur Mars ne fait plus de doute depuis longtemps, mais le rover Curiosity continue d'en documenter les traces, visibles des milliards d'années après sa disparition. En témoignage des images prises récemment par l'engin de la NASA, lors de son ascension du mont Sharp et publiées le 8 février. L'une d'elles montre des rides à la surface du sol martien, comme celles que laisseraient des vaguelettes agitées par le vent en bordure d'une étendue d'eau de faible profondeur.

« C'est la meilleure preuve d'eau et de vagues que nous ayons vue de toute la mission », estime, dans un communiqué de presse le chef scientifique de la mission Curiosity au Jet Propulsion Laboratory (Pasadena, Californie), qui coordonne les pérégrinations du rover. Les chercheurs ne pensaient pas croiser de telles traces d'un plan d'eau à cette altitude, 800 m. (PHOTO: NASA/JPL-CALTECH/MSS)



## DIX MILLE PAS ET PLUS

L'ACTIVITÉ PHYSIQUE, UN TRAITEMENT  
ANTIDOULEUR DE L'ENDOMÉTRIOSE

Par PASCALE SANTI

Les bienfaits de l'activité physique ne sont plus à démontrer pour les maladies chroniques, et désormais pour l'endométriose, une maladie qui touche entre 1,5 et 2,5 millions de femmes en âge de procréer, soit une femme sur dix en France. L'endométriose se caractérise par la présence de cellules de l'endomètre, la muqueuse qui tapisse l'utérus, qui migrent anormalement au moment des règles, prolifèrent et peuvent pénétrer dans les tissus et les organes, provoquant des lésions, des kystes... Les douleurs, premiers symptômes, sont souvent invalidantes et responsables de la fatigue, de la dépression ou de l'anxiété. Encore largement taboue, cette maladie est souvent diagnostiquée avec des années de retard.

La chercheuse Géraldine Escriva-Boulley, responsable de la filière steps au Laboratoire interuniversitaire de sciences de l'éducation et de la communication (Lisec), à l'université de Haute-Alsace, a supposé que l'activité physique pourrait être bénéfique pour les femmes touchées par cette maladie dont elle souffre également. Opérée après sa thèse, elle avait dû fortement diminuer son activité physique.

Dans ce contexte, Géraldine Escriva-Boulley a lancé une étude, appelée Crescendo (« accroître l'exercice physique et le sport pour combattre l'endométriose »),

auprès de deux cents femmes, réparties en quatre groupes, en cours de recrutement.

Un groupe suit un programme d'activité physique adaptée (APA) en vidéoconférence avec vingt-quatre séances d'étirements (Pilates, yoga, etc.), huit séances de renforcement doux et huit d'activité cardio d'intensité légère à modérée. Un autre groupe participe à des ateliers éducatifs qui se rapprochent de l'éducation thérapeutique du patient (ETP) sur la douleur perçue, la qualité de vie, l'alimentation et l'activité physique. Le troisième combine les APA et les ateliers. Enfin, le groupe contrôle reçoit une brochure expliquant les bienfaits de l'activité physique sur l'endométriose et ses symptômes ainsi qu'un QR code montrant des mouvements qui permettent d'apaiser les douleurs.

« L'hypothèse est que le programme, qui combine activité physique adaptée et ETP, pourrait compléter les traitements actuels de l'endométriose et réduire la douleur, améliorer la qualité de vie, avec des effets bénéfiques sur la santé physique, psychologique et sociale des patientes ainsi que sur les facteurs physiologiques », explique Géraldine Escriva-Boulley. Elle avait auparavant mené une enquête par entretien de groupe auprès de trente-sept femmes et une étude pilote auprès de sept femmes, recrutées au sein de l'hôpital de la Croix-Rouge, à Lyon, qui avaient suivi un programme d'activités physiques.

L'une d'entre elles, Katarina Charalambousa, a suivi les cours en visioconférence durant trois mois. « C'est très positif, les effets sur les douleurs étaient immédiats après le stretching et, au fur et à mesure des séances, j'avais toujours des crises, mais avec des douleurs de moins forte intensité », décrit cette jeune femme de 36 ans. « En revanche, lors des crises avec beaucoup de douleurs, il est impossible de faire quoi que ce soit, le seul recours est la bouillotte », décrivent les participantes.

Une étude sur des rats, menée par des chercheurs portoricains et américains, et publiée en janvier 2022 dans *Frontiers in Reproductive Health*, a montré que l'activité physique pouvait protéger contre l'endométriose et diminuer l'inflammation. Un autre travail également conduit sur des rats, coordonné par Mary Lourdes Montenegro, de l'université de Sao Paulo (Brésil), a mis en évidence que l'exercice physique entraînait une réduction de la taille des lésions, avec une diminution plus importante dans les groupes pratiquant une activité modérée et intense.

« L'activité physique adaptée est un traitement de fond que l'on aborde en ETP, qui fait partie d'une bonne hygiène de vie, essentielle », précise Priscilla Saracco, patiente experte de l'association Endomind. L'essentiel est de choisir un sport qui n'aggrave pas les douleurs, de s'écouter. ■

## AFFAIRE DE LOGIQUE – N°1233

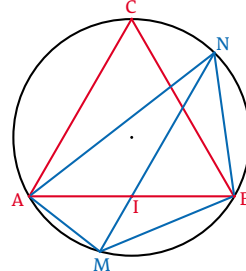
## Une figure « or »dinaire

Bob dessine une figure géométrique classique : un cercle, dans lequel est inscrit un triangle équilatéral ABC. I étant le milieu de [AB], la parallèle à (AC) passant par I coupe le cercle en deux points, M et N (M sur le petit arc d'extrémités A et B, N sur le grand). Bob trace ensuite le triangle MAN, ainsi que les segments [MB] et [BN].

## 1. Que représente (AB) dans le triangle MAN ?

Alice dit alors : « Tu connais le fameux nombre d'or,  $(1 + \sqrt{5})/2$ . Eh bien, c'est le rapport de nombreux couples de segments de la figure. »

## 2. Pouvez-vous citer trois de ces rapports ayant pour numérateurs des segments de tailles différentes ?

FESTIVAL DES JEUX 2023  
À CANNES DU 24 AU 26/02

Tous les amateurs de jeu, passionnés ou simples curieux, enfants compris, sont invités à découvrir les univers ludiques lors de la grande manifestation annuelle qui se déroulera pendant trois jours au Palais des Congrès (sur la Croisette) de 10 h à 19 h. Expositions, stands et ateliers accueilleront le public autour de toutes sortes de jeux. Des conférences sont également au programme, comme celle de Todd Lubart, qui évoquera le lien entre créativité et jeux. Un stand, animé par le CIMJ, sera consacré aux jeux mathématiques : énigmes, jeux de nombres, puzzles, pliages, jeux de stratégie... Infos sur [Festivaldesjeux-cannes.com](http://Festivaldesjeux-cannes.com)

VISITE AUX FEMMES SCIENTIFIQUES  
À TOULOUSE LE 31/03

L'association Femmes & Sciences propose une visite guidée autour de la bibliothèque universitaire de Toulouse, dans les rues qui portent le nom de femmes scientifiques (Hypatie d'Alexandrie, Hélène Richard-Foy, Rose Dieng-Kuntz, Sébastienne Guyot, Rosalind Franklin, Marianne Grunberg-Manago, Huguette Delavault). Cette déambulation d'une heure permettra de découvrir ces personnalités et de leur rendre hommage, mais aussi de parler de la place des femmes en science. Départ à 12 h 15 devant le bâtiment administratif de l'université Paul-Sabatier, 118, route de Narbonne. Infos et inscriptions sur [Eventbrite.fr](http://Eventbrite.fr)

« LA TEUF À GALILÉE »  
À PARIS DE FÉVRIER À MAI

A 14 h, du 07/02 au 05/03 et du 11/04 au 07/05, le planétarium de la Cité des Sciences et de l'Industrie (30, avenue Corentin-Cariou, Paris 19<sup>e</sup>) va célébrer dignement le 459<sup>e</sup> anniversaire de la naissance du grand physicien, mathématicien et astronome Galilée (1564-1642). Sont invités, entre autres, à la fête, le temps d'un spectacle, des personnages comme le prince Cosme II de Médicis, l'astronome Johannes Kepler ou le pape Urbain VIII. Sur des musiques très actuelles comme Dua Lipa ou Daft Punk, on évoquera les découvertes et la vie de celui pour qui « le livre de l'Univers est écrit en langue mathématique ». Infos sur [Cite-sciences.fr](http://Cite-sciences.fr)

E. BUSSER, G. COHEN ET J.-L. LEGRAND © POLE 2023

affairede logique@poleditions.com

## Solution du problème 1232

## 1. Bob a choisi un minimum de 11 couleurs.

On montre d'abord qu'un sac ne peut contenir moins de 4 pions. En effet, si l'un des sacs n'en contient que 3, l'une de ses couleurs apparaît au plus dans 6 autres sacs. Impossible, car il y a 8 sacs en tout qui doivent obéir à la contrainte. Le nombre total de pions est donc au moins 32, mais comme il est multiple de 3, il est au moins égal à 33, ce qui impose un minimum de 11 couleurs. Il reste à vérifier que c'est possible avec 11 couleurs de pions. En nommant les couleurs par une lettre de A à K, voici un exemple de répartition : ABCD, AEGD, AFHI, BEHJ, BIGK, CEHK, CFGJ, DFIJK.

## 2. Alice peut choisir au plus 13 couleurs, les pions associés étant répartis dans 13 sacs.

On commence par montrer l'existence d'une configuration de 13 couleurs (notées avec les lettres de A à M) réparties dans 13 sacs à raison de 4 pions par sac. Voici cette configuration, notée (i) : ABCD, AEFH, AHJ, AKLM, BEHK, BFIL, BGJM, CEJL, CFHM, CGIK, DEIM, DFJK, DGHK. Pour prouver qu'elle est optimale, on montre qu'il ne peut y avoir plus de 4 pions dans un sac. L'idée de la démonstration : soit  $P \geq 4$  le nombre de pions (de couleurs différentes) d'un sac donné. Cela entraîne que  $4P$  pions sont répartis dans les sacs, dont le nombre est noté  $y$ . On a donc  $y \geq 3P + 1$  et, si  $x$  est le nombre de couleurs,  $x \geq (3P + 1)P/4$ . D'autre part, on peut ajouter au plus 3 pions d'une couleur donnée dans chaque groupe de 3 sacs. On en déduit :  $x \leq P + 3(P - 1)$ . Ainsi,  $(3P + 1)P/4 \leq 4P - 3$ . Cette inéquation implique  $P \leq 4$ . Conclusion : tous les sacs doivent contenir 4 pions, ce qui n'est possible qu'avec une configuration de type (i).



CARTE  
BLANCHE

## La Saint-Valentin des matériaux isolants

Par WIEBKE DRENCKHAN ET JEAN FARAGO

L'un des effets secondaires de la récente pandémie de Covid-19 est que la poignée de main et, plus encore, la bise quotidienne, qui avaient complètement déserté nos rapports humains, ne semblent les recoloniser qu'extrêmement timidement, si elles les recolonisent seulement... Or ces contacts brefs, qui la plupart du temps passaient inaperçus, étaient le moment d'interactions et d'échanges discrets et complexes (au-delà des banals pathogènes aériens), aux conséquences parfois incompréhensibles. Étonnamment, cette physique subtile concerne aussi les matériaux inertes et isolants, car tout isolant qu'ils soient, ils échangent par contact des charges (mais pas avec n'importe qui), dans une interaction qui va littéralement jusqu'aux coups de foudre (mais pas n'importe comment).

C'est très précisément le sujet d'un récent article de *Nature Physics*, dans lequel un coin du voile a été levé avec brio sur une ancienne énigme de la triboélectricité. Le problème concerne l'expérience d'électrification par contact la plus simple qui soit : prenons deux surfaces fabriquées dans des isolants échangeant facilement des charges (dans l'article, le Plexiglas et un élastomère de silicone) dont la propreté et la planéité ont été particulièrement soignées. Il s'agit ensuite de les mettre en contact, de les séparer, et d'utiliser un moyen quelconque pour visualiser la répartition des charges sur chaque surface.

Dans un monde simple, on s'attendrait à récupérer deux surfaces uniformément chargées, le matériau le plus électrophile (le silicone) se chargeant négativement. Or, depuis les premières expériences vers 1940, quels qu'aient été les dispositifs expérimentaux et les matériaux utilisés, les chercheurs ont systématiquement observé que les charges sont réparties sur chaque surface de façon capricieuse, formant souvent des motifs compliqués dits « mosaïques », avec des alternances de zones chargées positivement et négativement sur une même surface. Ainsi, sur le silicone, malgré une charge totale négative, on trouve de vastes zones de polarité positive.

### Le rôle des petits éclairs

Faute d'explication plus satisfaisante, diverses inhomogénéités résiduelles microscopiques ont été invoquées pour expliquer ces motifs déroutants. Les chercheurs se sont concentrés cette fois sur le rôle des petits éclairs qui se produisent au voisinage du front de décollement. Un phénomène déjà connu, facile à voir même en décollant un adhésif dans le noir, mais que personne n'avait songé à relier à la structure en mosaïque des charges déposées...

Les physiciens ont montré que ces coups de foudre sont bien responsables des mosaïques, selon un scénario très intéressant : à première vue, on pourrait penser que les éclairs, en véhiculant les charges négatives de la plaque négative vers la plaque positive, abaissent, voire annulent, la différence de charge entre les surfaces dévoilées. Mais il se trouve qu'une fois lancé par un champ électrique devenu trop intense, une décharge électrique ne s'arrête que si ce dernier redescend sous une valeur inférieure à la valeur de déclenchement. Or, les charges environnantes sur le Plexiglas et le silicone (qui ne se déplacent pas le long de ces surfaces isolantes) rendent particulièrement difficile la redescende du champ sous le seuil d'arrêt, ce qui conduit à cette inversion locale tout à fait contre-intuitive de la polarité.

A cette bizarrerie s'ajoutent d'autres caractéristiques étonnantes concernant les corrélations entre éclairs ou le rôle de l'environnement (l'humidité, la nature du gaz ambiant). Nous invitons les lecteurs à jeter un œil aux « Supplementary Informations/Videos » de l'article, accessibles gratuitement, et qui illustrent les structures mosaïques évoquées ici, mais font également la chronique d'une recherche superbement, amoureuxment menée. De quoi susciter un coup de foudre pour la physique, sans aucun doute. ■

Wibeke Drenckhan (CNRS)  
et Jean Farago (université de Strasbourg)  
Physicienne et physicien à l'Institut  
Charles-Sadron à Strasbourg  
drenckhan@unistra.fr et farago@unistra.fr

# La France doit se mobiliser contre le harcèlement moral dans les laboratoires

**TRIBUNE** - Un meilleur encadrement de ces agissements toxiques relève du bien-être des personnels mais aussi de l'intégrité de la recherche, expliquent Michèle Leduc, physicienne, et Zoë Hammatt, avocate

L'intégrité scientifique est un des fondamentaux de la science que vient tout juste de reconnaître en France la loi de programmation de la recherche de 2021. Aujourd'hui, les falsifications de résultats et le plagiat sont en principe dans le viseur des institutions où l'on fait de la recherche. Le harcèlement moral, cet autre comportement inapproprié, est parfois moins bien détecté compte tenu de son caractère insidieux. Il est néanmoins dommageable au bien-être dans les laboratoires, en particulier des jeunes. Sa bonne prise en compte est une condition nécessaire à la progression sereine et intégrée de la recherche.

Le harcèlement moral peut échapper à la vigilance des responsables, d'autant qu'il est souvent latent et non révélé. Sa typologie (nous excluons ici le harcèlement sexuel, bien qu'il soit souvent associé à du harcèlement moral) est très variée. Ce peut être un responsable de projet qui exerce des pressions excessives sur ses collaborateurs – allant parfois jusqu'à des comportements brutaux sur le plan moral –, avec l'objectif de résultats obtenus au plus vite. Ou un chef d'équipe qui écarte arbitrairement un personnel compétent d'un projet, en l'humiliant et en le dénigrant auprès des autres, avec le résultat de lui ôter toute confiance en lui-même et parfois même de le mener à la dépression.

En position hiérarchique supérieure, le directeur ou la directrice de thèse peut annihiler les réactions de ses jeunes doctorants ou postdoctorants sous des menaces d'interruption de

thèse ou des chantages à la lettre de recommandation, indispensable à la suite de la carrière. Un cas extrême est celui des étrangers qui doivent renouveler leur visa de séjour, loin de leur pays, sans soutien de leurs proches et sans bien maîtriser la langue première du laboratoire. De tels mauvais traitements, en général discrets, sont constatés dans tous les domaines scientifiques, tant dans les laboratoires d'excellence bien dotés que dans de modestes institutions.

La question du harcèlement dans la recherche est souvent évacuée avec l'argument que ce délit relève de la justice. Or, il paraît difficile que la victime à l'origine du signalement, la plupart du temps en position vulnérable, possède les moyens et la force de se lancer dans un procès. Quand elle se décide à révéler son problème, la voie la plus naturelle est de faire appel à la cellule d'écoute de son établissement, si elle existe, ou à sa hiérarchie (les directions des ressources humaines ou les écoles doctorales), qui peut sanctionner en disciplinaire le ou la responsable du harcèlement.

Clairement, c'est au niveau du laboratoire qu'une médiation, a priori délicate, aurait le plus de pertinence. Mais la victime hésite souvent à parler de son cas et de sa souffrance de peur d'un retour de bâton et dans l'ignorance de la protection dont elle peut bénéficier.

En réalité, la personne harcelée ne sait pas toujours comment s'y prendre. Elle s'adresse souvent au référent à l'intégrité scientifique (RIS) de l'organisme

**DES CAS  
DE HARCÈLEMENT  
SE RENCONTRENT  
PARFOIS DANS  
DES ÉQUIPES  
QUI FONT AUSSI  
DES ENTORSES  
À L'INTÉGRITÉ**

dont elle dépend, qui y est maintenant statutairement présent. Toutefois, sa mission n'est pas censée s'étendre au-delà de l'intégrité scientifique. Ces référents sont le plus souvent des scientifiques, pas spécialement formés pour traiter les délicates questions posées par le harcèlement, où les preuves sont apportées par la confrontation de témoignages – « parole contre parole ». Notons toutefois que des cas de harcèlement se rencontrent parfois dans des équipes qui font aussi des entorses à l'intégrité, la course aux publications étant souvent à l'origine des dysfonctionnements dans les deux cas.

Que faire contre le harcèlement ? Nous formulons ici quelques suggestions : s'assurer qu'un volet consacré au harcèlement, assorti de conseils pratiques, est bien inclus pour les doctorants dans leur formation à l'éthique et à l'intégrité scientifique, rendue obligatoire par décret depuis 2016 ; inscrire la prévention du harcèlement moral dans

un texte à paraître qui complètera la « charte nationale de déontologie des métiers de la recherche » de 2015 pour tenir compte des évolutions récentes ; faire une analyse des procédures en vigueur pour gérer le harcèlement moral dans l'ensemble des établissements de recherche et mettre systématiquement en place des cellules d'écoute et de veille facilement accessibles et permettant un signalement anonyme (comme au CNRS et à l'Inserm) ; sensibiliser les responsables politiques à la précarité et aux violences faites aux jeunes chercheurs et chercheuses.

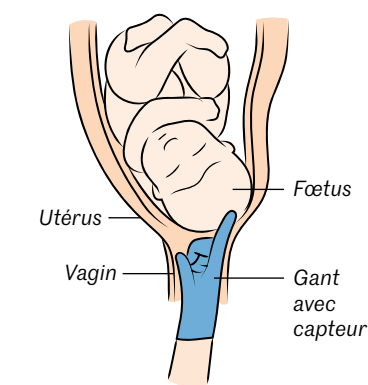
Le harcèlement fait l'objet d'une attention particulière dans des pays comme le Royaume-Uni ou les États-Unis, où il constitue un risque sérieux de retrait de contrat pour les chefs d'équipe. Il importe aussi qu'en France cette question du harcèlement moral soit vraiment prise en considération dans tous les laboratoires : il y va du bien-être et de la santé mentale des travailleurs de la recherche. D'ailleurs, ce n'est là qu'une des facettes des dérives résultant de la situation précaire des jeunes chercheurs, qui les conduit de moins en moins à poursuivre dans la recherche, mais c'est là une autre question... ■

Michèle Leduc, physicienne, directrice de recherche CNRS émérite au Laboratoire Kastler Brossel à l'École normale supérieure à Paris ; Zoë Hammatt, avocate. Les deux auteures sont membres du Conseil français de l'intégrité scientifique au Hcéres.

Le supplément « Science & médecine » publie chaque semaine une tribune libre. Si vous souhaitez soumettre un texte, prière de l'adresser à sciences@lemonde.fr

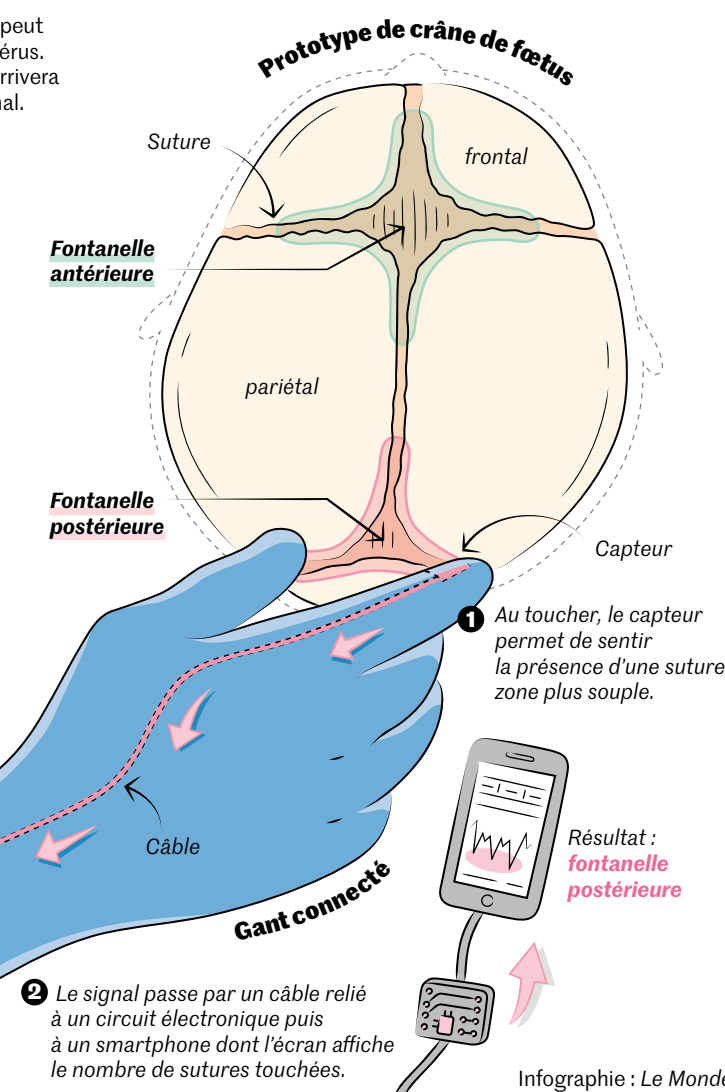
## UN GANT CONNECTÉ POUR MIEUX FORMER LES SAGES-FEMMES

Avant un accouchement, le bébé à venir peut ne pas être placé correctement dans l'utérus. S'il « regarde » vers le dos de sa mère, il arrivera plus facilement à sortir par le canal vaginal.



Des chercheurs ont imaginé un **gant connecté** et un **prototype de crâne de fœtus**, concept destiné aux pays à faibles revenus, afin d'aider les sages-femmes en formation à s'entraîner aux touchers vaginaux.

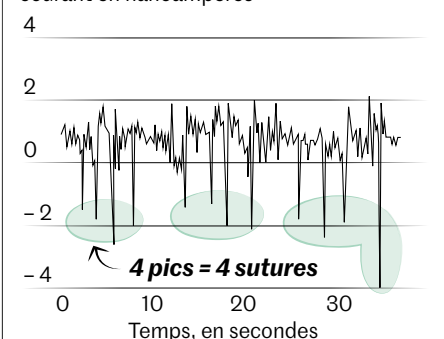
Le signal passe par un câble relié à un circuit électronique puis à un smartphone dont l'écran affiche le nombre de sutures touchées.



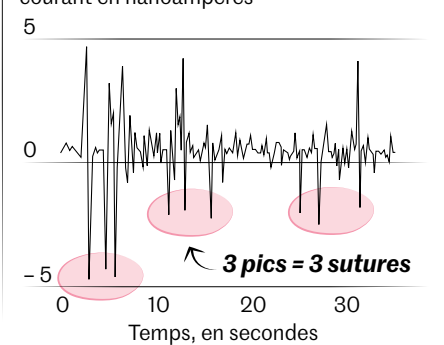
### Signal obtenu sur le smartphone

L'identification de l'orientation du crâne (avant ou arrière) se fait en comptant le nombre de sutures croisées par le gant : 4 signifie que la main touche l'avant du crâne, 3, l'arrière. Chaque pic sur l'écran correspond à une souplesse de la zone, donc une suture croisée.

### Détection de la fontanelle antérieure, courant en nanoampères



### Détection de la fontanelle postérieure, courant en nanoampères



Infographie : Le Monde, Audrey Lagadec, Laure Belot • Source : Frontiers

Accoucher par voie basse comporte toujours des risques pour la mère et l'enfant, notamment quand le fœtus n'est pas bien placé. Une équipe multidisciplinaire de l'University College de Londres a imaginé un gant connecté à

un smartphone pour permettre aux futures sages-femmes de s'entraîner sur un prototype de tête de fœtus et de différencier l'arrière et l'avant du crâne par simple toucher, en fonction de la position des fontanelles et des sutures du

crâne représentées par des zones souples. « Nous devons savoir de quel côté le bébé est orienté afin de pouvoir placer en toute sécurité des instruments sur lui si une aide est nécessaire pour le mettre au monde », explique l'obstétricienne

Shireen Jaufuraully, autrice principale de la publication dans *Frontiers in Global Women's Health* du 30 janvier. Ce projet a été imaginé pour être accessible au plus grand nombre de pays. ■

LAURE BELOT



# Jean-Claude Golvin donne des couleurs à l'archéologie

**PORTRAIT** - Les aquarelles de cet architecte et archéologue restituent des monuments et des villes romaines dans une démarche qui allie science et démarche artistique

Ils sont bien peu nombreux à exercer le métier qu'ils ont inventé. Jean-Claude Golvin est de ceux-là. Depuis plus de trente ans, il nous restitue des villes et des monuments aujourd'hui disparus ou irrémédiablement attaqués par le temps. Cet architecte et archéologue les « reconstruit », selon son vocabulaire, tels qu'ils devaient être, il y a cinq cents, mille ou deux mille ans, avec non pas une truelle, du ciment et des blocs de pierre, mais avec du papier, des crayons, de l'encre... Ses aquarelles donnent une ambiance toute particulière en offrant une vision aérienne des cités qu'il fait revivre. « Elles sont, pour nous, un auxiliaire précieux en nous offrant une vision différente de celle qu'on voit habituellement à ras de terre », insiste Richard Pellé, archéologue à l'Inrap (Institut national de recherches archéologiques préventives), spécialiste de la période romaine.

Bien sûr, d'autres avant lui ont dessiné des villes anciennes. Mais elles étaient plus fantasmées que restituées. Lui, au contraire, poursuit une démarche scientifique, compatible avec les résultats de fouilles archéologiques. C'est, à chaque fois, une proposition avec laquelle il tente de s'approcher au plus près de ce que pouvait être la réalité. S'il reste des zones blanches, il les remplit de la façon la plus plausible pour avoir « une ville qui fonctionne », quitte à apporter des modifications ultérieures, à la faveur de nouvelles découvertes. Dans une ville dont on ne retrouve pas traces d'une ou de plusieurs structures qui auraient dû s'y trouver, il les dessine là où elles devaient probablement être. Par exemple, si aucun vestige de thermes n'a été découvert dans une agglomération qui, en raison de sa taille, devait en avoir plusieurs, il les situe en fonction de la proximité d'un aqueduc.

« Rien n'est gravé dans le marbre, tout peut être modifié, insiste-t-il. Aujourd'hui l'archéologie bouge énormément. La restitution d'une ville n'est jamais définitive. De nouvelles découvertes sont susceptibles de préciser ou de corriger ponctuellement l'image globale d'une agglomération, mais l'expérience montre que ces modifications ne la remettent jamais en cause. L'important, c'est l'équilibre d'ensemble. » Dans la représentation des murailles romaines de Nîmes, il a par exemple dessiné, en accord avec les archéologues, les tours qui flanquaient les portes d'entrée coiffées d'un toit. Or aucune tuile ou morceau de tuile n'a été retrouvée à proximité. Conclusion : leurs sommets étaient certainement aménagés en terrasse.

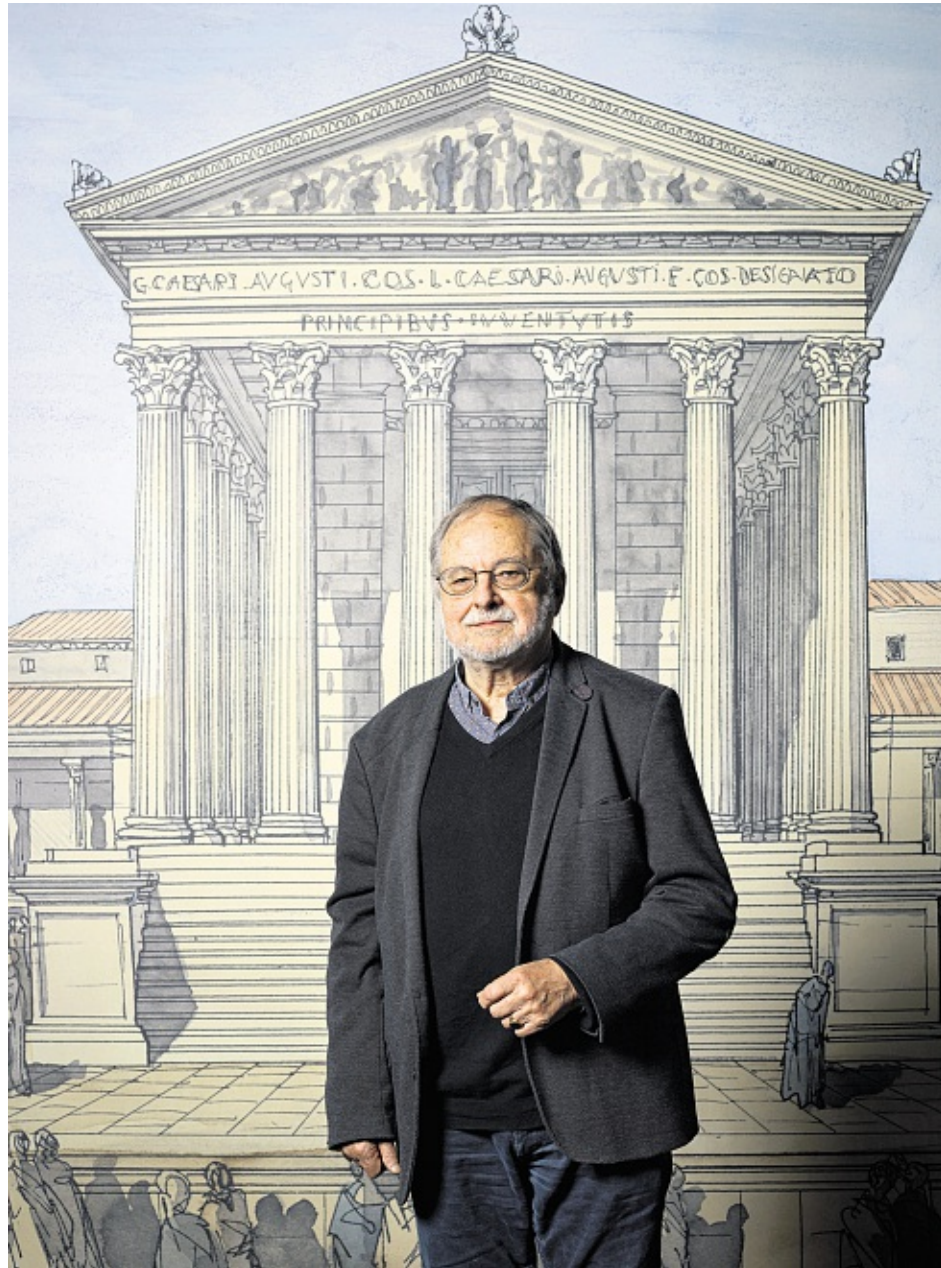
## Respect de la réalité

Si la pertinence de son travail est, aujourd'hui, unanimement reconnue par ses pairs, il n'en a pas toujours été ainsi. Au début, « beaucoup craignaient que l'image soit là pour tromper. Ils pensaient que j'allais faire de l'esbroufe ». « Si je fais ce que je veux, je ne fais pas n'importe quoi », répond-il à ses détracteurs. Le respect de la réalité prime, ce qui ne l'empêche pas de revendiquer l'aspect artistique de son travail. « Il faut qu'on ait envie d'entrer dedans ; ça doit être sympa. » Ses aquarelles, qui illustrent des revues, des livres, ou sont diffusées avec des documentaires historiques à la télévision et présentées dans des musées, appréciées du grand public, ont acquis une célébrité, tout en préservant son anonymat. Ce qui convient très bien à cet homme modeste qui s'efface derrière son œuvre.

Son travail n'est pas sans rappeler, sur bien des points, l'archéologie expérimentale. Ainsi, pour une exposition en cours à Nîmes, ce spécialiste des amphithéâtres (il leur a consacré une thèse de doctorat en 1985) a réalisé toute une série d'aquarelles de la ville antique. Avec Richard Pellé, qui a notamment participé aux fouilles des remparts et suit le chantier de restauration des célèbres arènes prévu jusqu'en 2034, il nous raconte leur construction. Alors qu'on pensait que la réalisation de tels bâtiments se faisait assise par assise, ils ont démontré que leur édification se développait en éventail. Deux équipes, partant d'un point commun, avançaient dans des directions opposées en montant la totalité des étages et lorsqu'elles se rejoignaient, l'édifice était achevé.

Aucun texte de l'époque ne fait état du processus de construction de ces équipements, pas même Vitruve. L'architecte et auteur romain que Jean-Claude Golvin, passionné par la restitution des savoir-faire, a beaucoup

Devant la reproduction d'un de ses dessins représentant la Maison carrée, au Musée de la romanité, à Nîmes, le 6 décembre 2022. FRANÇOIS DELADERRIÈRE POUR « LE MONDE »



étudié parle essentiellement dans ses écrits de la formation des architectes et des machines mises en œuvre. « On a également trouvé comment on utilisait certains outils. On a énormément progressé. L'amphithéâtre de Nîmes nous a donné beaucoup d'éléments sur sa construction et donc sur celle de tous les autres. »

Son œuvre, qui compte aujourd'hui un millier de dessins, est le fruit d'un parcours fait d'heureux hasards et de belles rencontres. Ce jeune octogénaire, né en 1942 en Tunisie, s'est retrouvé à 4 ans en Algérie, où ses parents enseignants avaient été mutés. Il y a vécu la seconde guerre mondiale, pendant laquelle il s'est réfugié dans le dessin et l'imaginaire. A la fin de ses études entreprises dans la lignée de celles de son frère aîné, diplômés d'architecte et d'urbaniste en poche, après une expérience décevante en agence, il part à Haïdra (Tunisie), une ancienne ville de garnison romaine, pour faire des relevés. L'Institut d'archéologie de Tunis lui propose alors de collaborer à la mise en valeur de l'amphithéâtre d'El-Djem, un des plus grands de l'Empire romain. Cap sur l'Égypte ensuite, comme directeur du Centre franco-égyptien d'étude du temple de Karnak. Chargé de la mise en valeur de ce complexe religieux, il le dessine en 1989, en collaboration avec des chercheurs, tel qu'il devait se présenter au I<sup>er</sup> siècle de notre ère.

Ces premières restitutions suscitent l'intérêt de représentants d'EDF, qui sponsorise alors ses recherches, en mettant leurs installations et leurs équipements à disposition. En retour, l'entreprise peut utiliser ses dessins pour ses publicités, ce qui contribue à sa notoriété. Parallèlement, il travaille sur des vestiges romains. Après être resté onze ans, de 1979 à 1990, sur les bords du Nil, il part à Bordeaux comme directeur de recherches au CNRS, pour se consacrer principalement à des restitutions portant sur l'Antiquité classique. Il s'autorise quelques incursions en dehors de ce champ, allant de la préhistoire à l'époque moderne. C'est ainsi qu'il voue une série d'aquarelles à l'évolution de Bordeaux, de la période gallo-romaine au XVIII<sup>e</sup> siècle.

Chaque dessin est une synthèse. Il commence par « potasser » de la documentation

et chercher des conseils, puis il fait un « crobard », très discuté. « On a vite fait de trancher entre plusieurs hypothèses afin de s'accorder sur un modèle théorique. » Tout le reste est une mise au point progressive, faite d'échanges avec des scientifiques. L'esquisse, une fois réalisée, est envoyée pour des corrections subsidiaires sur une toiture ou une porte d'entrée, par exemple. « L'image doit être la plus réaliste possible, même au niveau du détail (...). On corrige en rouge, comme à l'école, et après on ne bouge plus. »

## « Pas d'outils compliqués »

Jean-Claude Golvin continue de répondre aux sollicitations de musées, de maisons d'édition, de revues... La commande passée, il rejoint son atelier au fond de son jardin, à Cucuron, au cœur du Luberon (Vaucluse), pour huit heures de travail quotidien. Généralement, une bonne semaine plus tard, son œuvre est achevée.

Pour reconstruire les cités englouties par l'histoire, il n'a pas besoin « d'outils compliqués » : un arsenal de crayons, de l'encre, des calques, du papier (1,10 m × 0,70 m) pour les « portraits » de villes... et un sèche-cheveux pour sécher ses aquarelles et « obtenir des effets de rendu au lieu d'une teinte morte, c'est comme un jus subtil ». Et puis, il y a la musique, constamment présente. « Elle me plonge dans un bain de beauté. Avec elle, chaque dessin devient une symphonie. » S'il ne réalise aucune image numérique, il collabore avec des laboratoires qui s'appuient sur ses réalisations pour la 3D, ce qui offre la possibilité de visiter l'intérieur des bâtiments.

Mis à part une représentation d'Isfahan, alors capitale de l'Empire perse, ses réalisations sont restées cantonnées dans le bassin méditerranéen et en Europe occidentale. Il aimerait pourtant passer à des destinations plus exotiques, mais déjà l'attendent les « reconstructions » de Cimiez, d'après les vestiges gallo-romains de ce quartier de Nice, et de sites corses de l'époque romaine. La Chine, l'Inde, le Mexique seront pour plus tard... si Jupiter le veut. ■

FRANCIS GOUGE



## ZOOLOGIE

# L'orque paie cher sa fibre maternelle

Que ne ferait pas une mère pour le bien de ses petits ? La dévotion des éléphants, le courage des ourses, l'abnégation des dauphins femelles... Pour ne rien dire des soins apportés parfois tout au long de leur vie par les mères sapiens.

Pourtant, à ce petit jeu, la mère orque tient une place à part. Son attachement apparaît sans limite. On se souvient des images de Tahlequah qui, dix-sept jours durant, en août 2018, nagea en portant sur sa tête le corps de son bébé mort, se privant elle-même de toute alimentation. Une étude publiée le 8 février, dans *Current Biology*, vient de montrer, pour la première fois, que ce sens du sacrifice se poursuivait à l'âge adulte avec leurs fils.

Depuis plus de dix ans déjà, les chercheurs qui scrutent la fragile colonie des orques résidentes du Sud, le long de la côte ouest des États-Unis et du Canada, ont constaté que les mâles adultes ne cessaient de profiter de la dévotion maternelle. Non contentes de les guider vers les bonnes zones de pêche, elles leur cèdent une partie de leurs propres captures. « Mange, mon fils ! » Car ce sont les mâles qui profitent de l'essentiel de ces largesses. Michael Weiss, directeur de recherche au



Orques résidentes du Sud. CENTER FOR WHALE RESEARCH

Center for Whale Research, dans l'État américain de Washington, qui a piloté l'étude, l'explique par la structure sociale de l'espèce – divisée en plusieurs groupes – et par sa biologie : « D'abord, les jeunes mâles se reproduisent hors de leur groupe, alors que les femelles gardent leurs petits auprès d'elles. Donc soutenir les mâles n'impose pas de nouvelles bouches à nourrir. De plus, le succès reproducteur des mâles augmente avec l'âge. Donc c'est un investissement payant. »

Un investissement : là tient en réalité l'originalité de cet article. « Les relations mère-enfant qui durent toute la vie sont fréquentes, insiste la primatologue Elise Huchard (CNRS, Montpellier), qui cite les chimpanzés, les bonobos mais aussi les hyènes. Ce qui est en revanche très nouveau, c'est que ces influences maternelles sont coûteuses. » L'équipe de Michael Weiss a profité des données individuelles scrupuleusement collectées depuis quarante ans. Chaque naissance y est reportée, ainsi que chaque décès. Elle a ainsi pu démontrer que l'entretien d'un jeune mâle conduisait une mère à perdre 50 % de chance d'avoir un petit une année donnée. Un second mâle, 50 % supplémentaire... « Nous nous attendions à trouver un coût mais pas aussi élevé », confie le chercheur.

Pour s'en assurer, il a fallu écarter deux hypothèses alternatives. Et si l'investissement tenait dans les seules gestations et lactations des petits mâles ? En intégrant les fils morts dans l'analyse, ils ont constaté que ceux-ci ne pesaient aucun poids dans les statistiques de reproduction de la mère. Peut-être les mâles n'influençaient-ils pas seulement leur génitrice, mais l'ensemble des femelles ? Là encore, le scénario n'a pas résisté à l'examen des données. « Il s'agit bien d'un investissement continu et direct des mères sur leurs fils », conclut Michael Weiss.

Si ce soin entraîne un tel coût, pourquoi dès lors les orques s'y résolvent-elles ? Oubliez les clichés sentimentaux, conseille le biologiste. « Notre hypothèse, c'est qu'elles trouvent un bénéfice indirect dans le potentiel des mâles à produire une descendance importante s'ils vivent suffisamment vieux, bien plus qu'elles-mêmes ne le pourraient tout au long de leur vie. » Autrement dit, la meilleure stratégie pour transmettre ses gènes et développer l'espèce.

Ce qui n'empêche pas la communauté d'être en extrême danger. Elle ne compte aujourd'hui que 73 membres. La faute à la disparition de sa proie de prédilection, le saumon chinook, et aux diverses pollutions qu'elle subit. Les chercheurs espèrent, grâce à ces dernières données, mieux maîtriser la dynamique de cette population. Comprendre les mères pour le bien de tout le groupe : assurément une histoire d'orques. ■

NATHANIEL HERZBERG