



ces efforts et ces dépenses seront à l'esprit de l'ensemble des acteurs du projet lors de la phase cruciale qui ne durera pas plus de cinq petites secondes, lorsque OSIRIS-REx devra se poser pour redécoller aussitôt après avoir prélevé un échantillon à la surface de l'astéroïde.

Toute cette opération reposera sur l'instrument TAGSAM (*Touch-And-Go Sample Acquisition Mechanism* ou « mécanisme d'acquisition d'échantillon par posé-décollé »). Ce dernier est constitué de deux principaux éléments : une tête de prélèvement et un bras de positionnement articulé. La tête émettra un jet d'azote gazeux qui « fluidifiera » un fragment de sol et le propulsera dans une chambre de prélèvement. TAGSAM contient assez d'azote pour trois tentatives d'échantillonnage – trois, pas une de plus. Le bras articulé positionnera la tête pour le prélèvement, puis la ramènera pour une analyse visuelle et la placera dans une capsule pour le retour sur Terre.

Comme solution de secours, 24 pastilles de contact avec la surface sont réparties sous le socle de TAGSAM. Elles récolteront du matériau à grains fins au moment où elles toucheront la surface de l'astéroïde.

La préparation de cette manœuvre finale occupera la plus grande part des trois années de révolution de la sonde autour de Bennu. Avec ses caméras, ses lasers, ses antennes radio et ses spectromètres, OSIRIS-REx effectuera de multiples relevés à haute résolution de l'astéroïde dans son intégralité. À partir de ces données, les équipes terrestres reconstruiront une carte de Bennu et détermineront un site principal de prélèvement (et un autre de secours), en fonction de la sécurité, de la facilité d'extraction et de la valeur

OSIRIS-REx À L'APPROCHE DE BENNU.

Sur cette image de synthèse, la sonde semble bien petite à côté de l'astéroïde d'un demi-kilomètre d'envergure. Par sa taille, ce corps céleste serait dangereux si son orbite croisait la trajectoire de la Terre. Cependant, du fait de sa composition primitive, Bennu constitue une cible intéressante et accessible pour une mission d'extraction et retour d'un échantillon.

scientifique attendue du matériau présent. Les sites les plus intéressants sur le plan scientifique devraient contenir une variété de composés organiques, de minéraux riches en eau et d'autres matériaux susceptibles de nous aider à savoir si les astéroïdes ont contribué à l'origine de la vie sur Terre.

Dès que l'équipe d'OSIRIS-REx aura choisi le site de prélèvement et effectué toutes les répétitions générales de rigueur, la manœuvre finale sera lancée. Bennu sera alors probablement aux confins de son orbite par rapport à la Terre, à plus de 18 minutes-lumière. L'équipe du projet n'aura alors plus aucun moyen d'intervenir et devra attendre que le processus automatique se déroule.

En trois poussées réparties sur quelques heures, OSIRIS-REx quittera son orbite, s'alignera avec le site d'atterrissage et descendra lentement vers la surface de l'astéroïde. Il se posera à une vitesse relative de 10 centimètres par seconde au plus. TAGSAM disposera de 5 secondes pour recueillir ses échantillons avant que la sonde ne redécroche et s'élève à une altitude d'environ 10 kilomètres au-dessus de Bennu. Là, l'instrument fera une série de tests pour s'assurer du succès de l'échantillonnage.

La mission s'achèvera en 2023... si tout va bien

En 2021, la sonde allumera ses moteurs principaux pour rapporter son précieux échantillon sur Terre. Fin 2023, après avoir largué la capsule de retour d'échantillon dans l'atmosphère terrestre, OSIRIS-REx allumera une ultime fois ses moteurs et rejoindra définitivement une orbite autour du Soleil. La capsule de retour d'échantillon pénétrera le haut de l'atmosphère terrestre à une vitesse avoisinant 45 000 kilomètres par heure, sous la protection d'un bouclier thermique capable d'évacuer 99 % de son énergie de rentrée. À une altitude de 3 000 mètres, la capsule déploiera un parachute pour atterrir en douceur dans le désert de l'Utah, sept ans après le début de son voyage.

L'échantillon sera récupéré et transporté jusqu'au centre spatial Johnson de la Nasa où il sera stocké de façon optimale. Des morceaux en seront ensuite distribués auprès de la communauté scientifique pour étude, ce qui occupera des chercheurs pendant plusieurs décennies. ■

■ BIBLIOGRAPHIE

Météorites, astéroïdes, comètes, *Dossier Pour la Science*, n° 90, janvier-mars 2016.

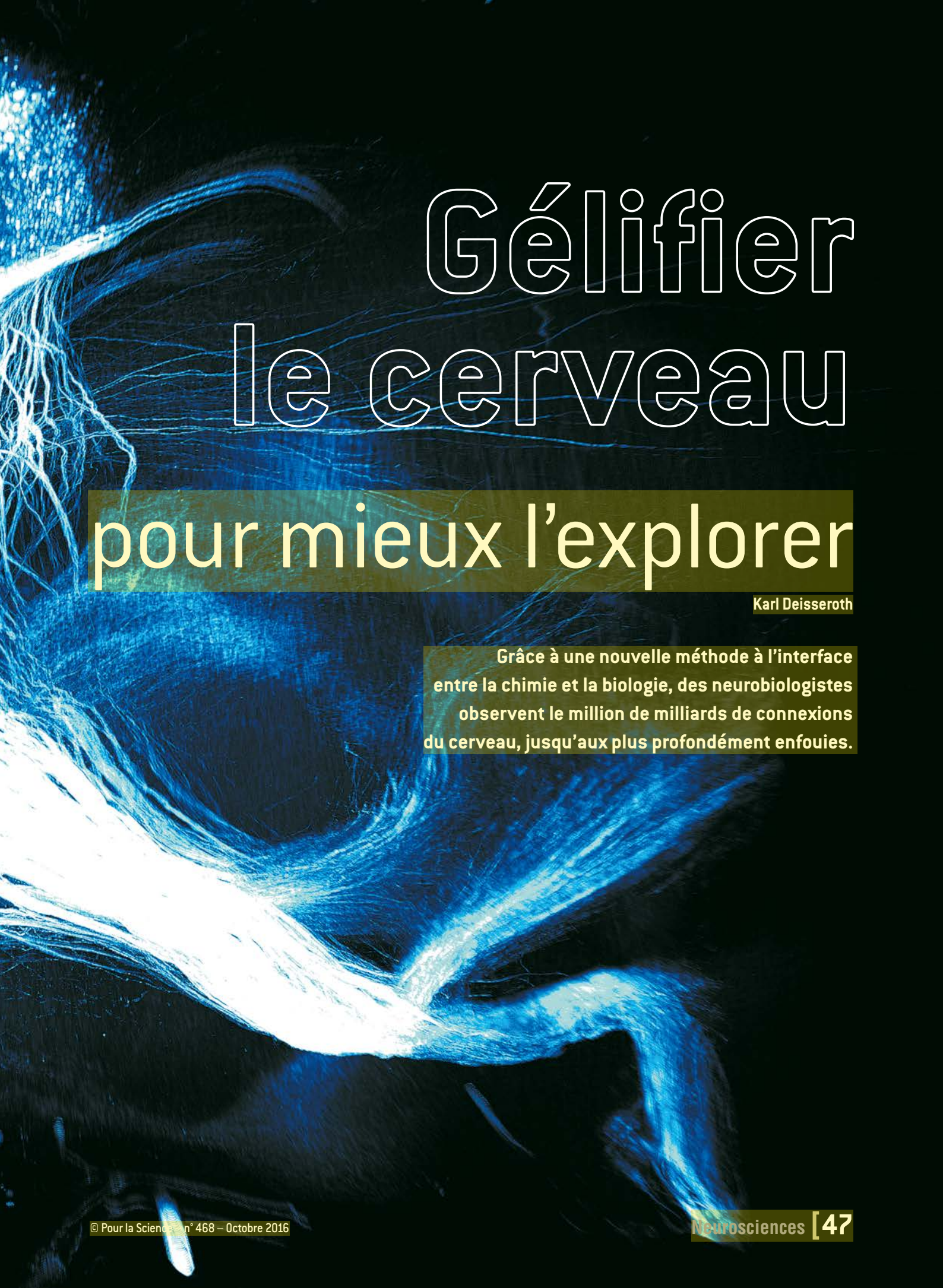
D. S. Lauretta et al., *The OSIRIS-REx target asteroid (101955) Bennu*, *Meteoritics & Planetary Science*, vol. 50 (4), pp. 834-849, 2015.

A. Rubin, *Les secrets des météorites primitives*, *Pour la Science*, n° 425, mars 2013.

D. S. Lauretta et H. Y. McSween (Éds.), *Meteorites and the early Solar system II*, University of Arizona Press, 2006.

R. Schweickart et al., *Remorqueur d'astéroïdes*, *Pour la Science*, n° 319, mai 2004.

LA FIXATION POSTMORTEM D'UN CERVEAU
à l'aide d'un hydrogel permet d'observer chaque neurone de la structure et ses connexions, comme ici dans le cortex préfrontal d'une souris.



Gélifier le cerveau

pour mieux l'explorer

Karl Deisseroth

Grâce à une nouvelle méthode à l'interface entre la chimie et la biologie, des neurobiologistes observent le million de milliards de connexions du cerveau, jusqu'aux plus profondément enfouies.

Notre système nerveux ressemble à une tapisserie tissée de fils interconnectés. Ces fils, les axones – de minces fibres que projettent les neurones –, transportent une information électrique d'un neurone à d'autres. Dans le cerveau, des axones à longue portée s'entrelacent avec des fibres plus courtes pour former un réseau qui transmet des signaux et traite l'information.

Pour comprendre les mécanismes internes du cerveau, les scientifiques doivent déchiffrer comment les éléments de cette tapisserie neuronale sont organisés. Mais comprendre le rôle d'un axone nécessite aussi une vision globale du cerveau qui n'occulte pas l'axone individuel et son contexte. Toutefois, il est impossible d'y parvenir avec les techniques classiques d'imagerie, car les molécules de graisse (les lipides) présentes partout dans le cerveau (en particulier dans les membranes des cellules) diffractent la lumière des appareils d'imagerie et empêchent de dépasser les couches cellulaires les plus superficielles pour atteindre les profondeurs du cerveau. Le cerveau n'étant ni transparent ni plat comme un tissu, il faut donc un outil spécial.

Aujourd'hui, une nouvelle technologie ouvre des perspectives passionnantes, apportant un moyen de voir l'intérieur du cerveau entier et de déterminer à la fois les trajectoires et les propriétés moléculaires de chaque fibre. Conçue dans notre laboratoire, cette méthode s'appuie sur la chimie des hydrogels, des polymères qui forment un réseau tridimensionnel de compartiments connectés capables de retenir l'eau sans se dissoudre.

L'idée est de créer un squelette tridimensionnel de polymère à l'intérieur du tissu biologique. On commence par imprégner d'un gel transparent le cerveau d'un animal de laboratoire ou d'un humain *postmortem*. Ce gel se lie aux molécules clés porteuses d'information, notamment les protéines et les acides nucléiques (l'ADN et l'ARN), et ce faisant les protège. L'étape suivante consiste à éliminer des tissus les composants sans intérêt ou qui diffusent la lumière, comme les lipides. Enfin, on introduit une multitude d'indicateurs fluorescents et autres marqueurs dans l'ensemble de la structure (en plus d'être transparent, le gel est conçu pour permettre l'infusion rapide de ces sondes), ce qui permet, en éclairant, de visualiser

directement diverses fibres et molécules d'intérêt à très haute résolution partout dans le cerveau.

Cette nouvelle technique ouvre de nombreuses perspectives. Des scientifiques utilisent cette approche pour relier la forme physique de voies neuronales impliquées dans l'action et la cognition à leur fonction comportementale, qu'il s'agisse d'un mouvement ou d'une mémorisation. La méthode a aussi aidé à élucider des processus impliqués dans la maladie de Parkinson, la maladie d'Alzheimer, la sclérose en plaques, l'autisme, la toxicomanie et les troubles anxieux. Nous avons même aidé à monter une société visant à explorer les applications des tissus d'hydrogel dans le diagnostic du cancer. Car la méthode est maintenant appliquée à divers organes et tissus de l'organisme.

■ L'AUTEUR



Karl DEISSEROTH est professeur de bio-ingénierie et de psychiatrie à l'université Stanford.

L'ESSENTIEL

- On ne comprendra le fonctionnement du cerveau que lorsque l'on combinera son étude aux échelles cellulaire et globale.
- Toutefois, à cause des lipides qu'il contient, le cerveau est trop opaque pour que les techniques classiques d'imagerie optique en explorent plus de 50 micromètres d'épaisseur.
- De nouvelles techniques éliminent ces lipides et soutiennent le « squelette » restant.
- Ces méthodes permettent d'étudier le câblage de circuits neuronaux spécifiques contrôlant divers comportements.

Page précédente : avec l'aimable autorisation du Deisseroth Lab, université Stanford, et L'Yé

Vers la transparence

Rendre un cerveau transparent est si difficile que même l'évolution, en plusieurs centaines de millions d'années, n'y est pas parvenue chez les grands animaux. Pourtant, l'invisibilité apporterait des avantages considérables : certaines espèces de crevettes et de poissons ne présentent-elles pas un degré de transparence qui a certainement favorisé leur sélection au fil de l'évolution (par exemple en leurrant les prédateurs) ? Certains poissons sont ainsi dépourvus d'hémoglobine, la protéine qui colore le sang en rouge. Mais même chez ces animaux, le système nerveux central reste au moins partiellement opaque, malgré une intense pression de sélection. Rien ne laisse la lumière se propager sans encombre à travers un cerveau vivant.

Cette opacité résulte de la diffusion de la lumière dans le tissu nerveux. Les photons rebondissent aux interfaces entre la graisse et l'eau (à cause des différences de vitesse de propagation de la lumière dans les deux substances) et dans des directions apparemment aléatoires (en raison de la complexité structurale des connexions neuronales). Un effet délicat à supprimer par l'ingénierie ou l'évolution, d'autant plus que dans le cerveau, les barrières lipidiques qui constituent les membranes des cellules jouent un rôle clé : elles servent de matériau isolant pour les ions qui orchestrent la circulation des impulsions électriques le long des axones. Peut-on contourner cette difficulté ?