

profonde, donc *a priori* datant des débuts de la Terre. Ce rapport s'est révélé inférieur de 22% à celui de l'océan, ce qui suggère que l'eau océanique actuelle ne serait pas primordiale.

L'équipe de Laurette Piani a, elle, mesuré l'abondance en hydrogène et le rapport D/H de 13 chondrites à enstatite différentes. Les chercheurs avaient besoin de cette diversité pour s'assurer d'abord que les diverses histoires thermiques de ces météorites n'avaient pas changé leurs compositions primitives. Il en ressort que toutes les chondrites analysées ont des teneurs en eau variant entre 0,08 et 0,54%, et des rapports D/H proches de celui de l'eau du manteau terrestre.

Grâce à ces résultats, les chercheurs ont prédit la proportion d'eau terrestre ayant pu être directement héritée de ses constituants originels dans le cadre de trois modèles de composition de la Terre proposés lors d'études précédentes. Ces modèles permettent d'expliquer la composition des roches terrestres par un mélange de matériaux ressemblant aux météorites primitives connues, témoins des matériaux planétaires présents dans le Système solaire à sa naissance, il y a 4,55 milliards d'années. Dans les trois cas, les chondrites à enstatite contribuent au bilan d'eau de la Terre dès sa formation, puisqu'elles peuvent fournir entre environ 3 et 23 fois la masse d'eau des océans actuels!

Les travaux de Laurette Piani et ses collègues favorisent donc le scénario d'une Terre primordiale déjà riche en eau. Il faut cependant noter que l'eau présente aujourd'hui résulte aussi de la tumultueuse évolution de la planète, des bombardements qu'elle subit, de la tectonique qui mélange ses couches et d'autres phénomènes; et il reste à expliquer pourquoi l'eau terrestre profonde et l'eau des océans ont des compositions isotopiques si différentes. ■

FRANÇOIS SAVATIER

L. Piani et al., *Science*, vol. 369, pp.1110-1113, 2020

La polio sauvage éradiquée en Afrique

Fin août, l'Organisation mondiale de la santé a salué l'éradication, en Afrique, du virus sauvage responsable de la poliomyélite. On observe pourtant une recrudescence de cas de paralysie poliomyélitique. Comment expliquer ce paradoxe ? Le point avec le virologue Francis Delpeyroux.



Propos recueillis par MARIE-NEIGE CORDONNIER

FRANCIS DELPEYROUX
virologue à l'institut
Pasteur, à Paris

En quoi consiste la lutte contre la poliomyélite ?

C'est une lutte vaccinale. La maladie est due au poliovirus, un virus à ARN qui se transmet par voie féco-orale, se réplique dans l'intestin et, dans certains cas, détruit les neurones moteurs du système nerveux central, causant une paralysie flasque. Avant la vaccination, c'était une maladie saisonnière très contagieuse qui touchait à peu près tous les individus d'une population donnée, dont quelques-uns (1 sur 200) avec paralysie. Mais dans les années 1950, deux vaccins ont été mis au point. Utilisés intensivement dans le cadre du programme mondial d'éradication de la poliomyélite, ils ont réduit le nombre de cas à quelques centaines.

Le premier est un vaccin inactivé injectable, constitué de souches du virus sauvage inactivées grâce à des agents chimiques. Son injection induit une bonne immunité générale qui empêche le virus de passer de l'appareil digestif au système nerveux central. Il est donc très efficace pour prévenir la maladie. Le second est un vaccin atténué administré par voie orale, constitué de souches vivantes du virus sélectionnées pour la protection qu'elles conféraient à des singes. Leur atténuation est due à des mutations. Ce vaccin qui protège contre la maladie induit de surcroît une forte immunité intestinale qui limite la circulation du virus entre les humains et est donc capable de faire disparaître les souches sauvages si la couverture vaccinale est suffisante.

Pourquoi n'utilise-t-on pas seulement le premier, comme en France ?

Ce vaccin injectable demande du personnel médical et des rappels. Il est donc utilisé dans les pays qui ont les moyens d'effectuer ces inoculations et de contrôler l'immunité de la population. Dans les pays où le niveau d'hygiène est correct, il suffit pour prévenir la maladie ; mais dans ceux où le virus circule encore

– dorénavant le Pakistan et l'Afghanistan, à cause des conflits qui entravent la couverture vaccinale –, seul le vaccin oral est capable actuellement d'arrêter sa circulation.

Entre le 19 août 2019 et le 18 août 2020, on a répertorié 572 cas de paralysie poliomyélitique, dont 403 en Afrique, et encore 18 durant la seule semaine du 26 août, dont 11 au Soudan. Comment est-ce possible si le virus sauvage a été éradiqué en Afrique ?

Les virus à ARN mutent beaucoup, car ils ne disposent pas d'outil pour réparer le génome lorsqu'une mutation apparaît durant sa répllication. Ainsi, dans de rares cas, le poliovirus atténué mute, se réplique et même circule d'enfants vaccinés à d'autres non vaccinés en cas de couverture vaccinale insuffisante, voire redevient pathogène. Or dans plusieurs régions, notamment en Afrique, la couverture vaccinale diminue pour diverses raisons, notamment chaque fois qu'une autre épidémie focalise l'attention (grippe H1N1, Ebola, Covid-19...).

Mais un nouveau vaccin oral pourrait bientôt aider à diminuer le nombre de cas. L'ARN viral a été modifié de façon à rendre plus fidèle l'enzyme qui le réplique et à stabiliser les domaines impliqués dans l'atténuation du virus. Le vaccin a passé des premiers essais cliniques favorables (phases I et II) et est en cours de production pour une utilisation plus large.

Vous êtes donc optimiste pour la suite ?

Oui, l'éradication du virus sauvage en Afrique est une excellente nouvelle. Cela confirme que ce continent est capable d'éliminer la poliomyélite. Malgré les problèmes, dont le terrorisme, il s'est doté d'un réseau efficace de surveillance de la maladie, capable de différencier virus sauvage et virus vaccinal, voire de s'occuper d'autres maladies infectieuses virales. Ce n'est donc pas seulement l'histoire de la polio qui s'écrit, mais aussi celle de la surveillance et de la prévention des maladies virales. ■

NEUROBIOLOGIE

DES LYMPHOCYTES DANS LE CERVEAU SAIN

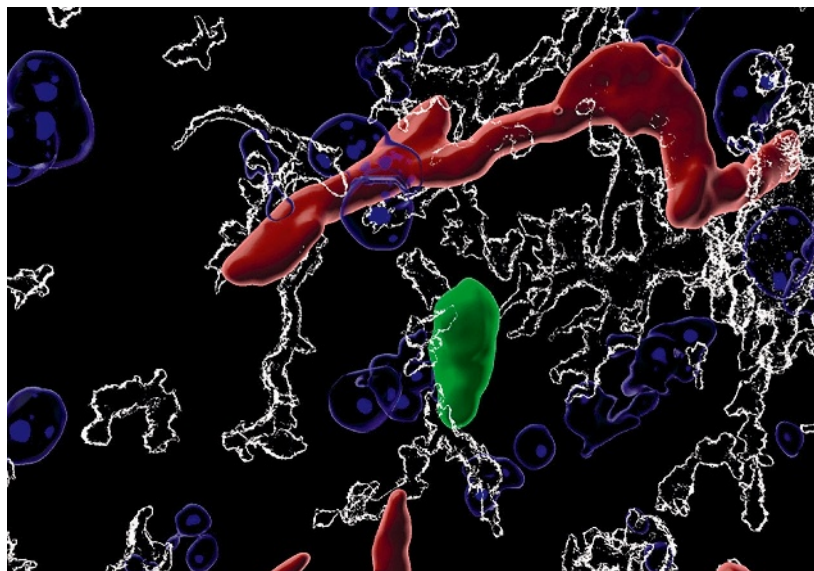
Des cellules immunitaires que l'on pensait cantonnées à la circulation sanguine sont en fait présentes dans le cerveau de souris à la naissance et interviennent dans le développement cérébral.

Le cerveau est protégé de tout ce qui circule dans le reste du corps par la barrière hématoencéphalique. Les cellules immunitaires qui le défendent en cas d'infection ou de dommage tissulaire, la microglie, pénètrent d'ailleurs dans le cerveau au moment du développement embryonnaire et s'y spécialisent *in situ*. La question de la présence, dans le cerveau sain, de lymphocytes, des globules blancs qui, dans le reste du corps, produisent la réponse immunitaire, est débattue. Une équipe internationale autour d'Adrian Liston, de la KU Leuven, en Belgique, et de l'institut Babraham, à Cambridge, vient de montrer chez des souris non seulement que des lymphocytes franchissent la barrière hématoencéphalique, mais aussi qu'ils jouent un rôle clé dans le développement de la microglie et le comportement.

Les expériences de l'équipe dévoilent que le cerveau des souris et le cerveau humain contiennent une petite fraction de lymphocytes T d'un type noté CD4. Normalement, ces intermédiaires de la réponse immunitaire circulent dans le sang et activent d'autres cellules immunitaires quand ils rencontrent des antigènes présentés par des cellules infectées. Chez les souris, l'infiltration des cellules CD4 dans le cerveau est maximale lors de la naissance. Elles y restent environ sept semaines avant de mourir ou de le quitter. Leur profil d'expression génique diffère de celui de leurs analogues de la circulation sanguine.

À l'aide de souris transgéniques, les chercheurs ont par ailleurs montré que pour pénétrer dans le cerveau, ces cellules requièrent une activation par des antigènes présents en périphérie, hors du cerveau. En particulier, des souris dépourvues de microbiote intestinal (les microorganismes qui peuplent l'intestin) contiennent beaucoup moins de lymphocytes T CD4 dans leur cerveau, ce qui suggère un rôle du microbiote dans l'activation de cette population.

Afin de déterminer la fonction de ces lymphocytes T CD4, les chercheurs ont supprimé ces cellules chez des souris. Résultat : la microglie restait bloquée à un stade de développement intermédiaire entre le stade fœtal immature et



Sur cette image 3D d'une coupe de cerveau de souris, un lymphocyte T (en vert) issu de la circulation sanguine (en rouge) interagit avec des cellules microgliales en cours de maturation (en blanc) dans le mésencéphale.

le stade adulte, faute d'activation de l'expression de certains gènes nécessaires à sa maturation. Il s'ensuivait un dysfonctionnement des synapses, les connexions entre neurones, dont la morphologie était altérée. De plus, les animaux présentaient des comportements anormaux, comme une mobilité réduite et une anxiété augmentée.

Plusieurs études récentes avaient suggéré l'implication de lymphocytes T CD4 ou B (qui sécrètent des anticorps), respectivement dans le comportement chez l'adulte ou le développement cérébral, mais ces cellules étaient localisées dans les méninges et non à l'intérieur même du cerveau sain.

« Il reste à confirmer le rôle des lymphocytes cérébraux dans les effets observés, en les discriminant de ceux des méninges. Cette étude reste pionnière en ce qu'elle montre que cette population immunitaire résidente existe », estime Antoine Louveau, chercheur en neurosciences à la clinique de Cleveland, aux États-Unis. Reste aussi à déterminer à quel moment cette infiltration a lieu chez l'humain et quels rôles elle assume dans le cerveau. ■

NOËLLE GUILLON

E. Pasciuto *et al.*, Cell, vol. 182(3), pp. 625-640, 2020

EN BREF

COMMENT LES RASOIRS S'ÉMOUSSENT

Une équipe du MIT a étudié comment les rasoirs s'éмоусsent alors que les poils humains sont 50 fois moins durs que l'acier de la lame, lequel est en outre souvent recouvert par une microcouche de matériau encore plus dur. Cem Tasan et ses collègues ont montré que sous certaines conditions, une touffe de poils suffit à fissurer le tranchant, et qu'autour d'une fissure initiale, d'autres fissures se multiplient jusqu'à éмоусser complètement la lame.

Science, 7 août 2020

DE L'EAU LIQUIDE SUR CÉRÈS

La planète naine est célèbre pour ses taches brillantes de carbonate de sodium. L'analyse des données de la sonde Dawn de 2018 suggère que de l'eau salée aurait percolé depuis un réservoir large de plusieurs centaines de kilomètres et profond de 40 kilomètres vers la surface, où elle se serait évaporée en laissant un dépôt brillant. La détection d'eau dans les sels suggère que cette activité géologique est récente, voire qu'elle se poursuit encore aujourd'hui.

Nature Astronomy, 10 août 2020

DES PANNEAUX SOLAIRES TRANSPARENTS

Le cahier des charges semble contradictoire : convertir efficacement l'énergie des photons en électricité tout en laissant passer la lumière ! L'équipe de Stephen Forrest, de l'université du Michigan, a néanmoins développé un panneau solaire organique (à base de carbone) transparent dans le visible et absorbant dans le proche infrarouge. Le rendement est de 8 % et la transparence de 43,3 %. À terme, de tels dispositifs pourraient servir de fenêtres pour les bâtiments.

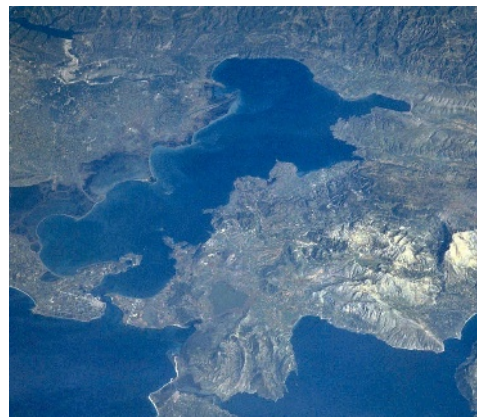
PNAS, 17 août 2020

PHYSIQUE

LES « EAUX MORTES » EXPLIQUÉES

En 31 avant notre ère, lors de la bataille navale d'Actium, les navires d'Octave auraient profité de la lenteur anormale de la flotte adverse pour défaire celle-ci. Pourquoi la flotte d'Antoine et Cléopâtre n'a-t-elle pas pu atteindre une vitesse suffisante pour éperonner les bateaux d'Octave ? Selon la légende rapportée par Pliny l'Ancien, des rémoras, des poissons à ventouse, se seraient fixés sur la coque des navires et auraient freiné ces derniers. Pour Germain Rousseaux, de l'institut P', à Poitiers, et ses collègues, la raison serait plutôt le phénomène dit « des eaux mortes », bizarrerie maritime dont ils ont entrepris d'expliquer l'origine, comprise seulement en partie.

En 1904, l'océanographe suédois Vagn Walfrid Ekman avait observé que lorsqu'un bateau passe sur une zone de mer stratifiée (avec des couches d'eau de salinités ou de températures différentes), des vagues se forment sous la surface à l'interface de deux couches. Ce sillage ralentit le bateau qui avance alors à vitesse réduite, mais constante. Germain Rousseaux et ses collègues ont précisé l'origine d'un second effet qui avait été remarqué et qui fait osciller la vitesse du bateau. Ils ont montré que cet effet est lié à la formation d'un



© Nasa

La configuration du golfe Ambracique, où s'est déroulée la fameuse bataille navale d'Actium, pourrait être propice à la formation des eaux mortes à son embouchure.

front d'ondes de pression variable sous le bateau. « Ce front est le résultat de la combinaison de la stratification, du confinement latéral de la cuve de l'expérience (que l'on retrouve aussi dans les canaux fluviaux ou à l'entrée des ports) et de l'accélération initiale du bateau, qui part d'une vitesse nulle ou faible. Il agit alors comme un tapis roulant bosselé sur lequel évolue le navire », explique Germain Rousseaux. ■

THÉO TORCQ

J. Fourdrinoy et al., PNAS, vol. 117(29), pp. 16770-16775, 2020

ARCHÉOLOGIE

POINTES DE FLÈCHE FLÛTÉES EN ARABIE

Une équipe franco-américaine vient de montrer que les tailleurs de flèches des sites néolithiques de Manayzah, au Yémen, et d'Ad-Dahariz, au sultanat d'Oman, flûtaient les pointes de leurs projectiles, comme le faisaient déjà les tailleurs paléo-indiens des Amériques 5000 ans plus tôt. Flûter consiste à alléger une pointe bifaciale en détachant un éclat central sur une ou deux faces. Cinq ans durant, Jérémie Vosges, de la maison de l'Orient et de la Méditerranée, à Lyon, a reconstitué les chaînes opératoires à l'origine de ces pointes vieilles de 8000 à 7000 ans. Contrairement à ce qui se pratiquait en Amérique, où l'on flûtait les pointes pour créer une plus grande surface d'adhérence avec leur manche, les pointes de Manayzah et d'Ad-Dahariz ne sont flûtées que sur une face. Pour



Quelques-unes des pointes flûtées taillées par le préhistorien Jérémie Vosges lors de ses expérimentations.

les alléger ? Non, pensent les chercheurs, puisque le flûtage n'était pas universel dans la péninsule Arabique comme dans les Amériques. Pour eux, il s'agit plutôt d'un trait par lequel des tailleurs locaux se distinguaient. ■

F. S.

R. Crassard et al., Plos One, vol. 15(8), article e023 6314, 2020