

patients, travailler directement sur ces souvenirs pouvait avoir un effet contre-productif et aggravant.

Pierre Gagnepain et ses collègues ont étudié une autre piste: ce ne serait pas le travail sur le souvenir qui, en soi, aggrave le stress, mais plutôt la défaillance du système cérébral de contrôle, dont l'un des rôles est d'inhiber les souvenirs stressants.

Les chercheurs ont notamment travaillé avec 102 volontaires parmi les personnes qui avaient subi les attentats, dont 55 présentent un trouble de stress post-traumatique. Les chercheurs ont créé des souvenirs intrusifs (neutres et sans lien avec les attentats) chez tous les participants et ils ont analysé leur capacité à supprimer ces souvenirs. Les personnes étaient d'abord exposées à des associations d'un mot et d'une image sans liens. Ainsi, quand elles lisaient un mot, elles pensaient de façon automatique à l'image associée. Ensuite, les chercheurs leur ont demandé d'essayer de ne plus penser à l'image quand elles voyaient les mots associés.

Chez les personnes ne souffrant pas de stress post-traumatique, l'imagerie IRM fonctionnelle a révélé une forte connexion entre le cortex préfrontal (région responsable de l'inhibition, notamment de la mémoire) et les structures associées à la mémoire (comme l'hippocampe) lors du contrôle des souvenirs intrusifs. Dans ce cas, le mécanisme de contrôle intervient sur l'activité de l'hippocampe et bloque l'activation des souvenirs intrusifs.

Chez les sujets souffrant de stress post-traumatique, ces connexions sont quasiment absentes et l'activité des régions de la mémoire n'est pas régulée. Il reste cependant à déterminer si ce dérèglement du contrôle de la mémoire est lié à un facteur préexistant ou s'il est une séquelle de l'épisode traumatique vécu.

En montrant l'implication du contrôle de la mémoire dans le stress post-traumatique, Pierre Gagnepain et ses collègues ouvrent une piste thérapeutique intéressante qui viserait à renforcer le mécanisme de contrôle de la mémoire sans avoir à toucher aux souvenirs stressants. ■

SEAN BAILLY

A. Mary et al., *Science*, vol. 367, eaay8477, 2020

Déchets nucléaires : l'épreuve de la corrosion

Une équipe américaine a testé en conditions réelles les stratégies de conditionnement de déchets radioactifs. Elle a constaté des effets de corrosion sur les colis vitrifiés. François Besnus, directeur de l'environnement à l'IRSN (Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire), met en perspective ce résultat.



Propos recueillis par Sean BAILLY

FRANÇOIS BESNUS
directeur de
l'environnement à l'IRSN

Quels types de déchets sont concernés par cette étude ?

Lorsque le combustible d'une centrale nucléaire est usé, il est retraité et dissous dans une solution chimique. On récupère l'uranium et le plutonium, qui sont recyclés et réutilisés. Le reste de la solution contient des produits de fission, hautement radioactifs, qui ne peuvent pas être revalorisés. Il est mélangé à de la silice dans un creuset pour former un verre. Les éléments radioactifs sont alors piégés dans la matrice vitreuse, et le tout est coulé dans une enveloppe en inox. La période radioactive de ces déchets est de l'ordre de la centaine de milliers d'années. À terme, en France, tous ces déchets seront stockés dans la Meuse, à 500 mètres sous la surface si l'installation Cigéo est autorisée.

Que savait-on du vieillissement des déchets vitrifiés jusqu'à présent ?

Les processus en jeu sont bien connus : l'acier de l'enveloppe va se corroder en présence d'eau. Un phénomène dit de « piqûration » se produit et conduit à des conditions localement très acides. Et les milieux très acides déstabilisent la matrice vitreuse, qui se dissout.

L'Andra (Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs) mène depuis longtemps un programme sur l'étude de la dissolution du verre dans un contexte de stockage. Ici, Gerald Frankel, de l'université d'État de l'Ohio, et ses collègues ont étudié l'influence locale de la corrosion de l'inox sur la dégradation du matériau vitrifié dans des conditions représentatives du projet de stockage américain Yucca Mountain. Les chercheurs ont observé des réactions complexes de corrosion et de dissolution du verre. Les processus étaient déjà connus, mais il était intéressant de voir le comportement à l'interface de ces

matériaux dans un environnement spécifique.

L'eau joue un rôle essentiel dans la dissolution, mais les sites de stockage ne sont-ils pas secs ?

Le site américain Yucca Mountain se trouve dans une région très aride. Mais Gerald Frankel et ses collègues ont considéré qu'on ne peut pas prévoir quelle sera la situation climatique de la région dans, par exemple, mille ans. Ils ont donc étudié ce qui se passe en présence d'eau, afin de voir l'incidence de ce phénomène sur la sûreté du stockage.

En France, la stratégie est très différente. On sait que le site prévu est saturé en eau. Les interactions avec l'eau ont déjà été prises en compte dans la démonstration de sûreté du stockage, même si elles n'ont pas été modélisées comme dans la nouvelle étude. Puisqu'il existe des incertitudes sur la vitesse de dissolution, plusieurs scénarios ont été considérés. C'est en connaissance de ces incertitudes que le milieu géologique étudié dans le laboratoire souterrain de Bure a été choisi. Les déchets seraient stockés dans une couche d'argile épaisse d'une centaine de mètres. Du fait de sa très faible perméabilité, la migration des éléments radioactifs libérés devrait être assez lente pour ne pas produire de pollution notable.

En matière de stockage de très longue durée de déchets radioactifs, il est impossible de tout savoir. Il faut essayer de comprendre au mieux les différents paramètres en jeu, comme le vieillissement des matériaux, la vitesse des réactions, etc., mais il existe toujours une part d'incertitude. Le principe de base est donc de gérer cette incertitude, d'être le plus prudent possible et de mettre en place des relais pour que, si un élément du système se révèle défaillant, un autre puisse garantir l'efficacité du stockage. Ce qui compte, c'est de mettre en place un système robuste par rapport à toutes les incertitudes présentes. ■

X. Guo et al., *Nature Materials*, vol. 19, pp. 310-316, 2020

PALÉOGÉNÉTIQUE

LES AFRICAINS AUSSI ONT DES ANCÊTRES NÉANDERTALIENS

Une nouvelle méthode d'identification de l'ADN néandertalien dans les génomes contemporains change notre vision de l'histoire du métissage néandertalien-sapiens : les Africains aussi descendraient d'*Homo neanderthalensis*.

L'homme de Néandertal ayant évolué en Eurasie, on pensait les Africains subsahariens dénués de gènes néandertaliens. Mais l'équipe de Joshua Akey, de l'université de Princeton, vient de montrer que ceux du nord de l'Afrique subsaharienne ont une proportion non négligeable d'ADN néandertalien.

La nouvelle méthode utilisée par les chercheurs, nommée IBDmix, vise à comparer des génomes modernes avec un génome ancien de référence (ici le génome d'un Néandertalien) et à en déduire quels haplotypes (groupes d'allèles, c'est-à-dire de variants de gènes, transmis ensemble) proviennent d'un ancêtre commun. Plus précisément, pour un génome moderne donné, elle consiste ici à déterminer, au moyen d'une analyse statistique élaborée, s'il est plus vraisemblable que chaque haplotype commun au génome néandertalien ait été transmis depuis un ancêtre commun plutôt que recomposé par la reproduction et les éventuelles mutations survenues au fil des générations.

L'intérêt de cette méthode est que, contrairement aux autres, elle ne nécessite pas de comparaison avec un échantillon de génomes modernes sans gènes néandertaliens. Or les précédentes études s'appuyaient sur des échantillons issus en général de l'ethnie Yoruba, d'Afrique de l'Ouest, supposée exempte de gènes néandertaliens. Avec leur méthode, Joshua Akey et ses collègues ont montré que les Yorubas ont en moyenne 0,5% d'ADN néandertalien, donc que l'échantillon yoruba est biaisé...

Au total, les chercheurs ont analysé 2504 génomes modernes issus du monde entier. Ils ont ainsi identifié en moyenne 17 millions de paires de bases d'ADN néandertalien chez les Africains subsahariens de l'échantillon (sur 3200 millions de paires de bases dans le génome humain), ce qui suggère que les Subsahariens ont en moyenne 0,5% d'ADN néandertalien. Point remarquable, cette valeur est similaire chez les Nord-Africains, donc de part et d'autre du Sahara.

Cet ADN néandertalien provient-il d'une migration en Afrique de Néandertaliens ou d'Eurasiens qui se seraient hybridés avec des Néandertaliens? Après avoir testé ces deux



D'anciens flux de gènes entre l'Eurasie et l'Afrique expliquent que les Africains aussi descendent en partie d'*Homo neanderthalensis*.

hypothèses à l'aide de modèles démographiques, les chercheurs penchent pour la seconde. D'autant qu'ils ont par ailleurs montré qu'une partie de l'ADN néandertalien des Africains résulte d'un métissage très ancien d'*Homo neanderthalensis* avec *H. sapiens* d'Eurasie, en accord avec l'hybridation très ancienne que l'équipe de Cosimo Posth, de l'institut Max-Planck de Tübingen, en Allemagne, avait déjà pointée en 2017.

Enfin, Joshua Akey et ses collègues ont montré que la proportion moyenne d'ADN néandertalien des Extrême-Orientaux est comparable à celle des Européens (1,7%), alors que les études précédentes aboutissaient à une proportion plus élevée, qui d'ailleurs posait des problèmes d'interprétation. Il semble donc que tous les humains actuels aient des ancêtres néandertaliens... Un résultat qui reste à confirmer, car les génomes africains étudiés proviennent tous du nord de l'Afrique subsaharienne. Et si les Sans, chasseurs-cueilleurs sud-africains, qui, *a priori*, ont toujours vécu loin de l'Eurasie, étaient dépourvus d'ADN néandertalien? Affaire à suivre. ■

FRANÇOIS SAVATIER

L. Chen et al., *Cell*, vol. 180(4), pp. 603-818, 2020

EN BREF

UNE EXPLOSION RECORD

Le ciel est constellé d'événements très lumineux, comme les supernovæ. Récemment, c'est une explosion dans un noyau de galaxie, d'une intensité inédite, dont Simona Giacintucci, du laboratoire américain de recherche navale, et ses collègues ont repéré les traces. Cette bouffée d'ondes radio a en effet creusé un « trou » dans le plasma entourant cette zone. C'est l'explosion la plus puissante jamais découverte ; elle a libéré 10^{20} fois l'énergie émise par le Soleil en un an.

The Astrophysical Journal, 27 février 2020

TABAGISME TRÈS INDIRECT

Le tabagisme passif tue 600 000 personnes dans le monde chaque année. Mais la fumée de cigarette, cancérigène, pollue aussi plus indirectement. Roger Sheu, de l'université Yale, aux États-Unis, et ses collègues ont mesuré la concentration de plusieurs substances toxiques liées à la cigarette dans une salle de cinéma. Ils ont découvert que les fumeurs transportent, sur leur peau et leurs vêtements, des molécules qui s'évaporent dans l'air ; les autres personnes présentes sont alors exposées à une pollution importante.

Science Advances, 4 mars 2020

L'ODORAT TROMPÉ DES TORTUES

Les déchets humains dans les océans menacent les écosystèmes. Par exemple, les tortues marines s'étouffent avec des sacs en plastique qu'elles prennent pour de la nourriture. On pensait que la ressemblance visuelle avec les méduses était en cause, mais d'après Joseph Pfaller, de l'université de Floride, et ses collègues, la confusion serait peut-être aussi olfactive : certaines tortues semblent attirées par les odeurs émises par des plastiques couverts d'algues et de bactéries !

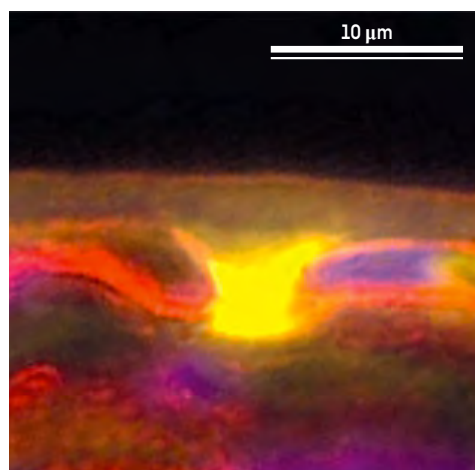
Current Biology, 9 mars 2020

MÉDECINE

UNE CIBLE CONTRE LA DMLA?

À partir de 65 ans, la vision centrale d'une personne sur cinq se dégrade progressivement à cause de la dégénérescence maculaire liée à l'âge (DMLA), maladie de la rétine qui existe sous deux formes : une forme sèche pour laquelle il n'existe aucun traitement, et une forme humide dont on peut ralentir les effets. Dans les pays industrialisés, la DMLA constitue un problème majeur de santé publique et on estime que le nombre de cas augmentera d'environ 50% d'ici à vingt ans. En cherchant une cible thérapeutique, Valentina Cipriani, de l'université Queen Mary, à Londres, et une équipe internationale ont constaté une forte expression de la protéine FHR-4 dans le sang de patients atteints aussi bien de la forme humide que de la forme sèche de la DMLA. « C'est la première fois que l'on met en évidence dans le sang un marqueur du risque de développer une DMLA », indique Isabelle Audo, chercheuse à l'Institut de la vision, à Paris.

La protéine FHR-4 régule le système dit « du complément », qui fait partie du système immunitaire et joue un rôle dans l'inflammation. Des études précédentes avaient déjà montré que l'activation de ce système du complément est impliquée dans le développement de la DMLA. Ici, Valentina Cipriani et ses collègues ont



La protéine FHR-4 (en jaune) s'accumule dans les drusen, des dépôts se formant avec l'âge dans la rétine de l'œil. Elle serait impliquée dans le développement de la DMLA.

observé chez les patients une accumulation de FHR-4 dans les drusen, des dépôts qui se forment avec l'âge dans les couches profondes de la rétine et la choroïde, selon un mécanisme encore mal connu. Dans ces drusen, FHR-4 entre en compétition avec des éléments qui jouent normalement un rôle de frein au système du complément. ■

NOËLLE GUILLON

V. Cipriani et al., *Nature Communications*, vol. 11, article 778, 2020

PHYSIQUE

UN MILIEU GRANULAIRE LIQUIDE

Dans les déserts chauds, le vent crée des dunes relativement stables, dont l'angle avec l'horizontale avoisine 30 degrés. Ces tas se forment grâce à la nature granulaire du sable, qui lui confère des propriétés physiques intermédiaires entre celles d'un solide – indéformable – et celles d'un liquide. Les grains de sable ne sont soumis qu'à la gravitation et aux frottements solides. Les autres forces, comme celles dues à l'agitation thermique, sont négligeables à cette échelle. Mais qu'en est-il avec des grains beaucoup plus petits ? Antoine Bérut et ses collègues, de l'université d'Aix-Marseille, ont formé des tas de billes microscopiques. Ils ont observé que ces amas, à la manière d'un liquide, ne cessaient jamais de s'étaler, bien que de plus en plus lentement. Comme l'a confirmé le modèle théorique



Les grains de sable forment des dunes, mais des amas de billes mille fois plus petites s'étalent comme un liquide.

élaboré par les chercheurs, c'est en raison de l'agitation thermique, dont l'influence relative par rapport aux autres forces est d'autant plus grande que les particules sont petites. ■

LUCAS GIERCZAK

A. Bérut et al., *Physical Review Letters*, vol. 123, article 248005, 2019