

cellules sustentaculaires des rongeurs étaient infectées. Mais les neurones olfactifs restaient épargnés, même après deux semaines. Et, de façon étonnante, l'épithélium olfactif des hamsters était complètement détaché, un peu comme de la peau qui pèle après un coup de soleil, selon Nicolas Meunier. Bien que les neurones olfactifs n'aient pas été infectés, leurs cils avaient complètement disparu. «Or si vous enlevez les cils, vous supprimez les récepteurs olfactifs et donc la capacité de détecter les odeurs», explique Nicolas Meunier.

La dégradation de l'épithélium olfactif pourrait expliquer la perte de l'odorat. Mais on ignore encore si les dommages sont causés par le virus lui-même ou par une invasion de cellules immunitaires, ce que Nicolas Meunier a observé après l'infection. Une chose est sûre : on ne rapporte pas autant de cas d'anosmie dans d'autres maladies virales. «Nous pensons que c'est un symptôme très spécifique au SARS-CoV-2», déclare Nicolas Meunier. Lors de travaux antérieurs sur d'autres virus respiratoires menés dans son laboratoire, il a constaté que les cellules sustentaculaires n'étaient que rarement infectées, alors que dans le cas du SARS-CoV-2, environ la moitié de ces cellules contenaient l'agent pathogène. Dans d'autres infections virales, l'odorat est souvent perturbé par une obstruction du nez, mais le Covid-19 ne provoque généralement pas de congestion nasale.

D'autres indices sur la façon dont le coronavirus fait disparaître les odeurs

proviennent de personnes qui se remettent d'une anosmie. «La majorité des patients perdent l'odeur soudainement et la récupèrent vite, mais quelques-uns ont une anosmie beaucoup plus persistante et retrouvent l'odorat sur des échelles de temps bien plus longues», explique Sandeep Datta. L'épithélium olfactif se régénère régulièrement, «une protection contre

Le virus n'attaque pas les neurones directement

l'agression constante des toxines présentes dans l'environnement», précise Nicolas Meunier.

Selon Carol Yan, rhinologue à l'université de Californie à San Diego, l'anosmie constitue un risque réel pour la santé : «Elle augmente la mortalité. Si vous ne pouvez pas sentir et goûter la nourriture, cela vous expose à des dangers, comme des intoxications. L'anosmie peut aussi entraîner un handicap social ou des carences nutritionnelles.»

Cette variation sur le thème sensoriel s'étend à un autre symptôme appelé «parosmie» – une perception olfactive erronée –, un signe de rétablissement potentiel chez les personnes souffrant

d'anosmie prolongée. La parosmie peut se produire lorsque des cellules souches qui se développent en nouveaux neurones olfactifs tentent de projeter leurs longues fibres, les «axones», à travers de minuscules trous à la base du crâne et se connectent ainsi à une structure du cerveau nommée «bulbe olfactif». Parfois, les axones se connectent au mauvais endroit, ce qui provoque une odeur erronée, mais avec du temps, le mauvais câblage est potentiellement capable de se corriger.

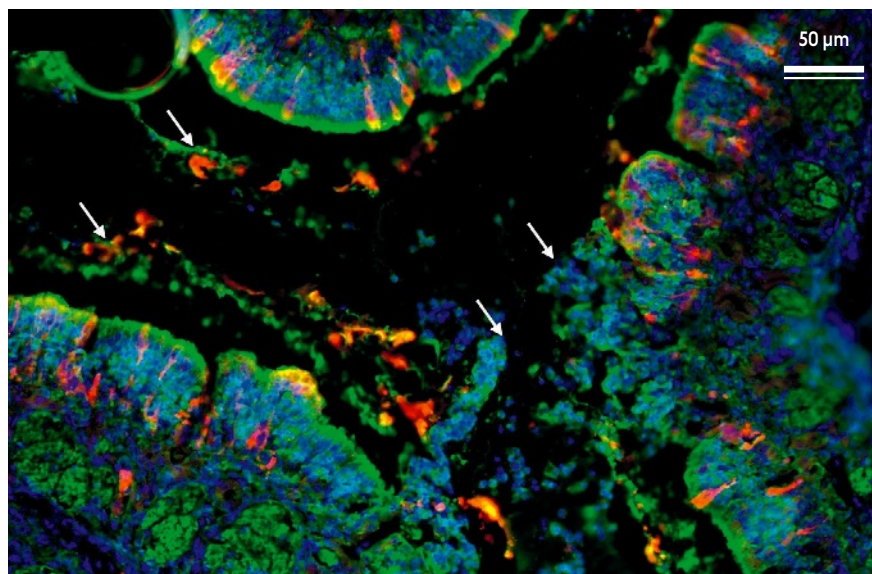
Cette nouvelle est la bienvenue pour les patients concernés. Mais combien de temps durera leur anosmie ? «Nous ne pouvons pas prédire la durée de convalescence exacte», répond Carol Yan, mais elle est généralement de six mois à un an. «Dans la perte d'odorat persistante due à la grippe, après six mois, il y a 30 à 50 % de chance de guérison spontanée, ajoutez-elle. Il y a eu des cas de guérison après deux ans. Mais nous pensons qu'au-delà, la capacité de régénération peut être entravée. Et les chances de guérison sont malheureusement assez minces.»

Il existe un dernier aspect inquiétant de l'anosmie : elle a été identifiée comme un facteur de risque pour certaines maladies neurodégénératives. «Après la pandémie de grippe dite "espagnole" de 1919, on a constaté une augmentation de la prévalence de la maladie de Parkinson, explique Nicolas Meunier. Ce serait vraiment inquiétant si quelque chose de similaire se produisait avec le Covid-19.»

Mais pour Carol Yan, cette peur est exagérée : «Il y a certainement un lien entre l'anosmie classique et les maladies neurodégénératives, mais nous pensons que l'anosmie due à une infection virale fonctionne par un mécanisme différent. Ces anosmies virales n'augmentent probablement pas le risque de maladies neurodégénératives.» Cela devrait rassurer les millions de personnes dans le monde touchées par la perte d'odorat liée au Covid-19. ■

STEPHANI SUTHERLAND

B. Bryche et al., *Brain, Behavior, and Immunity*, vol. 89, pp. 579-586, 2020



Le virus SARS-CoV-2 (en rouge) attaque certaines cellules de l'épithélium olfactif, qui vont parfois jusqu'à se détacher et s'agréger dans le lumen nasal (flèches).

Retrouvez la version longue de cet article ainsi que tous nos articles sur le Covid-19 en accès libre
www.pourlascience.fr

CHIMIE

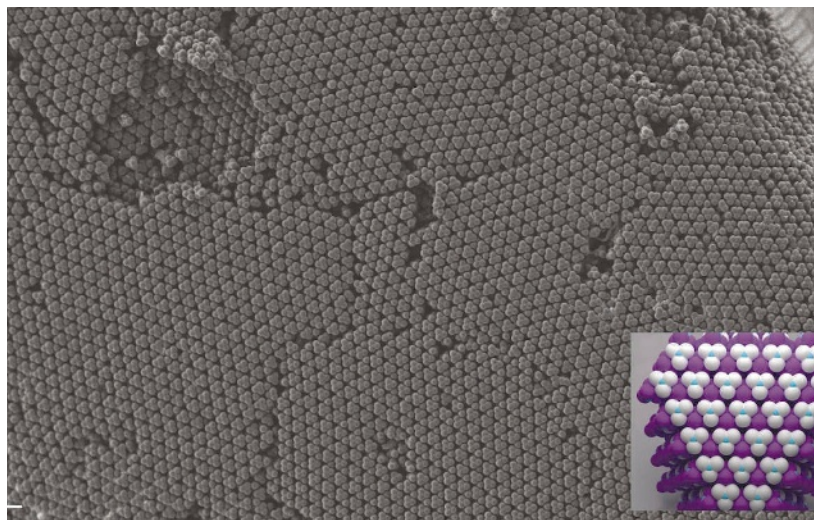
UN DIAMANT COLLOÏDAL POUR MANIPULER LA LUMIÈRE

Des colloïdes composés de microbilles et imitant la structure atomique du diamant ouvrent la voie à des interrupteurs photoniques performants et peu chers.

L'ordinateur optique fait rêver depuis de nombreuses années. En remplaçant les électrons par la lumière comme porteur de l'information, il serait en principe possible de traiter plus rapidement un volume de données plus important. Cependant, l'ordinateur optique est confronté à de nombreux obstacles. L'un d'eux, et pas le moindre, est la conception de composants adaptés, tels des transistors optiques, faciles à fabriquer et peu coûteux. Grâce à sa conception d'un système colloïdal reproduisant la structure du diamant, une équipe internationale menée par David Pine, de l'université de New York, a peut-être ouvert une piste prometteuse.

Dans les ordinateurs classiques, les transistors à semi-conducteurs servent d'interrupteurs pour contrôler la circulation des électrons. Ils sont bon marché et leur industrialisation est parfaitement maîtrisée. Leur fonctionnement est simple : un champ électrique suffit pour contrôler l'état du transistor en faisant basculer le comportement du matériau de conducteur à isolant, ou inversement. En 1987, le physicien américain Eli Yablonovitch a montré qu'il était possible de reproduire ce principe dans des systèmes photoniques. Des «cristaux photoniques» unidimensionnels ou bidimensionnels ont ainsi été construits et servent dans diverses applications. Cependant, pour des ordinateurs optiques, il faudrait des cristaux tridimensionnels présentant spécifiquement la structure du diamant. De petits exemples ont été réalisés, mais aucune approche n'a permis une industrialisation à grande échelle et bon marché.

Dans la nature, l'opale est un exemple de cristal photonique tridimensionnel. Ce minéral est constitué de microbilles de silice réparties selon un arrangement quasi régulier. À partir des années 1990, les chercheurs ont étudié la possibilité d'utiliser des colloïdes (des suspensions de microbilles cent fois plus petites que le diamètre d'un cheveu) pour fabriquer des cristaux photoniques ayant la structure du diamant. David Pine et ses collègues viennent de développer une méthode nouvelle et efficace. Ils sont partis d'une structure simple de quatre billes en polystyrène



Le diamant colloïdal est formé par autoassemblage d'éléments pyramidaux constitués de quatre microbilles de polystyrène. En gris, une vue par microscopie électronique à balayage du «diamant» réalisé. Le médaillon en couleurs est une représentation par ordinateur de la structure.

100 000 particules

CONSTITUENT
LES CRISTAUX
PHOTONIQUES
ASSEMBLÉS
PAR L'ÉQUIPE
DE DAVID PINE.
CELA REPRÉSENTE
MOINS DE
1 MICROGRAMME.

collées entre elles par du TPM (une huile polymérisable) pour former une pyramide triangulaire. Le centre de chaque face de la pyramide est rendu collant par l'immobilisation de brins d'ADN. Les pyramides s'autoassemblent dans la suspension, guidées par les interactions de ces surfaces collantes, et forment spontanément la structure recherchée.

Les chercheurs doivent encore vérifier les caractéristiques de ce nouveau matériau. «Compte tenu de la taille caractéristique de sa maille cristalline, ce matériau devrait opérer dans l'infrarouge», explique Étienne Ducrot, du centre de recherche Paul Pascal (CNRS-université de Bordeaux), qui a participé à l'étude. «Il pourrait donc être utile pour des applications dans le domaine des télécommunications.» Pour opérer dans le visible, il faudrait réduire la dimension des microbilles de moitié, ce qui pose de nouveaux défis. Mais la perspective de transistors photoniques pour des ordinateurs optiques performants semble se rapprocher. ■

SEAN BAILLY

M. He et al., *Nature*, vol. 585, pp. 524-529, 2020

ÉTHOLOGIE

ENVOL PRÉCOCE D'OISILLONS

Chez certaines espèces d'oiseaux chanteurs (oscines), les oisillons quittent le nid « trop tôt ». Leurs chances de survie sont plus faibles à l'extérieur qu'à l'intérieur du nid de 14%, d'après Todd Jones, de l'université de l'Illinois à Urbana-Champaign, aux États-Unis, et ses collègues. En revanche, la probabilité qu'au moins un des descendants survive et devienne indépendant est plus élevée, de 14% aussi. La raison : quand les oisillons sont dans le nid, il y a plus de risques que toute la nichée soit perdue en cas de prédation. Quand ils sont hors du nid, les oisillons sont séparés, et le risque qu'ils disparaissent tous à cause d'un prédateur est moindre. Reste à savoir comment les parents incitent les petits à partir. ■

NICOLAS BUTOR

T. M. Jones *et al.*, *PNAS*,
en ligne le 16 novembre 2020

PALÉOGÉNÉTIQUE

DE L'ADN DÉNISOVIEEN HORS DE DENISOVA

L'équipe de Dongju Zhang, de l'université de Lanzhou, en Chine, a découvert de l'ADN mitochondrial dénisovien dans les sédiments de la grotte d'altitude de Baishiya, à l'extrémité nord-est du plateau tibétain. C'est la première fois que l'on en trouve hors de la grotte de Denisova, en Sibérie. Pour traquer cet ADN, les chercheurs ont exploité la méthode démontrée en 2017 par Viviane Slon, de l'institut Max-Planck d'anthropologie évolutionniste à Leipzig, pour identifier chimiquement l'espèce à associer aux fragments d'ADN conservés dans les sédiments des grottes. Une fois les brins d'ADN identifiés et remis dans leurs contextes stratigraphiques, il en ressort que des Denisoviens ont occupé la grotte il y a entre 160 000 et 45 000 ans. Ainsi, il est désormais certain que des Denisoviens étaient adaptés au plateau tibétain, vaste contrée de hautes altitudes comprises entre 1 500 et 5 000 mètres. ■

FRANÇOIS SAVATIER

D. Zhang *et al.*, *Science*,
vol. 370, pp. 584-587, 2020

PHYSICOCHIMIE

L'ÉTONNANT TOURBILLON DE FEU BLEU



Photographie d'une flamme bleue (et de son reflet), dont on distingue au moins deux composantes.

En 2016, lors d'une expérience sur des tourbillons de feu, Elaine Oran et son équipe, de l'université A&M du Texas, ont observé pour la première fois un tourbillon annulaire de feu bleu. Aspect intéressant, sa couleur indiquait que la combustion était complète sans formation de suie, mais l'anneau ne semblait être qu'une partie de la flamme et les spécialistes se sont vite interrogés sur ses propriétés. Grâce à des simulations numériques, la même équipe vient d'en déterminer la structure.

De façon générale, on observe deux types de flammes très différents selon la manière dont les réactifs (l'oxygène et le combustible) sont mélangés avant que les réactions chimiques ne soient déclenchées. Si le mélange est parfaitement homogène avant l'allumage, on obtient une flamme dite de « prémélange », qui sépare les gaz frais des gaz brûlés. Elle peut être riche en combustible ou pauvre. À l'inverse, si l'oxygène et le combustible sont initialement séparés, il ne peut y avoir de réactions chimiques qu'à l'interface des deux milieux, là où les molécules vont se rencontrer par diffusion et produire une flamme dite de « diffusion ».

À partir des données expérimentales compilées par différentes équipes, Elaine Oran et son équipe ont simulé la formation du tourbillon bleu pour en comprendre la structure et la dynamique. Ils ont montré que la structure comprend en fait trois flammes différentes qui se conjuguent pour former l'anneau bleu. La partie conique inférieure est une flamme de prémélange riche, alors que la couronne pourpre supérieure est une flamme de diffusion. Le reste de combustible s'échappe alors sur les côtés et alimente une flamme de prémélange pauvre et peu visible dans les expériences. À l'endroit où les trois flammes se rejoignent, elles forment un anneau bleu et intense. ■

S. B.

J. D. Chung *et al.*, *Science Advances*,
vol. 6, article eaba0827, 2020

EN IMAGES

LE LUXE DES ARISTOCRATES D'AUGUSTODUNUM



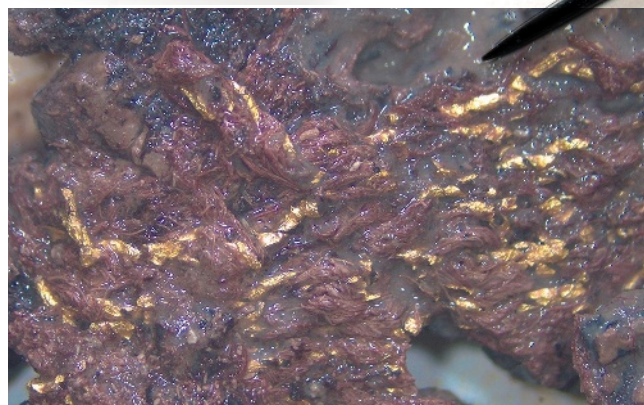
Nous savons, par les textes, qu'un lien fort reliait les Romains et le peuple gaulois des Éduens. Une équipe de l'Inrap dirigée par Carole Fossurier a retrouvé, dans une nécropole du Bas-Empire du quartier de Saint-Pierre-l'Estrier, à Autun – l'antique Augustodunum –, des objets qui en attestent (*photographies ci-contre*) : ces derniers suggèrent qu'à la fin de l'Antiquité, les aristocrates éduens avaient atteint un très haut rang social.

Il en est ainsi de ces exceptionnelles épingles en ambre ou en jais trouvées dans les sépultures 43 et 162, de ces boucles d'oreilles en or retrouvées dans la tombe d'un enfant, ou encore de cette bague en or sertie d'un grenat mise au jour dans celle d'un adolescent...

Toutefois, ce sont surtout deux autres types de trouvailles qui témoignent du rang extraordinaire des défunts. D'une part, six tombes contiennent des fils ou des tissus d'or et trois, voire quatre, tombes présentent des traces rouge-violet, suggérant des tissus mêlés d'or ou teintés de pourpre, un colorant extrêmement cher qui n'était utilisé que dans l'entourage de l'empereur. D'autre part, trouvaille encore plus spectaculaire, un vase diatrète en morceaux, mais complet, se trouvait dans l'un des sarcophages. Typiques du IV^e siècle, ces vases à hauts-reliefs sculptés dans un bloc de verre, constitués par une coupe intérieure entourée d'une cage extérieure décorative, sont considérés comme l'aboutissement de l'art romain du verre. Pas plus d'une dizaine d'exemplaires complets sont connus pour tout l'Empire romain. C'est dire à quel point la découverte de l'un d'eux à Augustodunum montre que son propriétaire était éminent. ■

F. S.

Inrap, communiqué du 13 novembre 2020,
<https://bit.ly/39AdVrR>



TISSUS D'OR ET DE POURPRE

Ces restes de tissages de fils d'or et les traces de pourpre qu'ils présentent (un colorant pratiquement réservé au cercle impérial) attestent de la qualité exceptionnelle des tissus dans lesquels certains des défunts ont été couchés dans leurs tombes.

ÉPINGLES EN JAIS ET EN AMBRE

Ces épingles de formes très proches, présumées du IV^e siècle, proviennent des sépultures numérotées 162 (épingles noires en jais) et 43 (épingles orange en ambre).

VASE DIATRÈTE

On lit sur cette partie du vase diatrète l'inscription *Vivas feliciter* (« Vis en félicité »). Pas plus d'une dizaine d'exemplaires complets de ce type de vase sont connus pour tout le monde antique.



BAGUE ET BOUCLES D'OREILLES

La bague en or sertie d'un grenat (*ci-contre*) provient de la sépulture d'un enfant ou d'un adolescent. Les boucles d'oreilles en or (*ci-dessus*) ont été découvertes dans la tombe en cercueil de plomb d'un jeune enfant.

BIOLOGIE CELLULAIRE

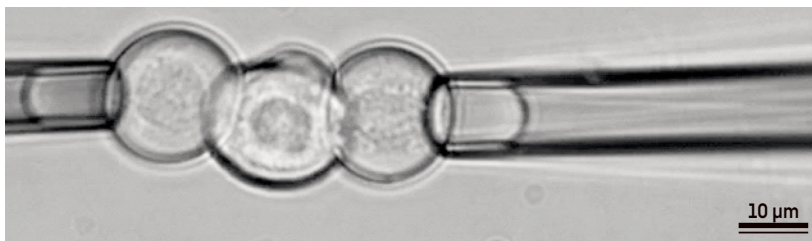
COMMENT LES CELLULES S'ORGANISENT EN ORGANES

Au cours du développement embryonnaire, un code d'adhésion associe les cellules similaires entre elles, ce qui permet la formation de tissus et d'organes.

A l'aube de leur existence, tous les organismes animaux partent d'une cellule œuf qui se divise. Durant le développement embryonnaire, plusieurs types cellulaires se différencient et s'organisent spatialement en tissus distincts, puis en organes. Mais comment les cellules se maintiennent-elles en structures organisées en dépit des réarrangements à plus grande échelle qui se produisent dans l'embryon et des perturbations qu'ils occasionnent ? Pour répondre à cette question, Sean Megason, à l'institut Blavatnik de la faculté de médecine de Harvard, et ses collègues ont étudié le processus de formation de la colonne vertébrale chez le poisson-zèbre. Ils ont découvert que chaque type cellulaire exprime une combinaison unique de molécules d'adhésion, qui détermine la nature et la force de la connexion entre les cellules et permet l'apparition de motifs tissulaires.

Pour parvenir à cette conclusion, les biologistes se sont d'abord intéressés aux morphogènes, des molécules de signalisation émises dans l'embryon en des points précis. Le taux de morphogènes auquel une cellule est exposée détermine quels programmes cellulaires sont activés et, par extension, quel sera le destin de la cellule (cellule de tissu musculaire, cellule de peau...). Mais alors que les cellules se déplacent *a priori* sans cesse dans l'embryon au fil des divisions et réarrangements globaux, comment celles qui ont subi la même influence des morphogènes et, à terme, devraient participer à la formation du même organe parviennent-elles à rester groupées ? L'hypothèse de l'adhésion différentielle, formulée en 1964 par le biologiste américain Malcolm Steinberg, pourrait bien être la clé. Selon elle, les cellules adhèrent à certains types cellulaires spécifiquement et restent ainsi ensemble.

Il fallait tester cette idée. Pour ce faire, Sean Megason et ses collègues ont associé deux cellules parmi les trois types impliqués dans la formation de la colonne vertébrale du poisson-zèbre. En appliquant une force de succion contrôlée à l'aide de micropipettes hautement précises, ils ont tiré sur les cellules dans des sens opposés. Cette expérience leur a permis



Les chercheurs ont testé la force d'adhérence entre différentes cellules parmi les trois types qui constituent la colonne vertébrale du poisson-zèbre (en haut). Ils ont utilisé des micropipettes dont ils contrôlaient parfaitement la succion (ci-dessous).

de mesurer la force nécessaire pour séparer les deux cellules. Ils ont remarqué que celles de types similaires adhèrent préférentiellement entre elles, avec une force plus importante que les cellules de types différents.

L'analyse du profil d'expression génétique de ces types cellulaires a révélé l'implication de trois gènes (*N-cadhérine*, *cadhérine 11* et *proto-cadhérine 19*) dans ce processus. Les différentes combinaisons d'expression de ces gènes engendrent des préférences d'adhésion, propres à chaque type cellulaire et grâce auxquelles sont établies les connexions entre les cellules similaires pendant le développement embryonnaire. Enfin, les biologistes se sont attelés à vérifier le rôle des morphogènes. En modifiant l'activité de ces derniers, ils ont remarqué une perturbation de l'expression des trois gènes et, par conséquent, de la différenciation cellulaire. L'action des morphogènes et de l'adhésion différentielle est donc complémentaire, de telle façon que les cellules similaires restent liées et forment ainsi les tissus des organes. ■

WILLIAM ROWE-PIRRA

T. Y. C. Tsai et al., *Science*, vol. 379, pp. 113-116, 2020