



votée. Et, plus récemment, l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques a organisé une audition publique sur ce thème. Selon Olivier Robineau, infectiologue au centre hospitalier de Tourcoing et premier auditionné, l'objectif était de faire le point sur

La multiplicité des symptômes laisse supposer qu'il y a plusieurs causes au Covid long, probablement liées entre elles

les problématiques médicales et de recherche afin de statuer sur la prise en charge des patients. L'accent a été mis sur la recherche scientifique, notamment pour élucider les mécanismes du Covid long. Que sait-on à ce sujet ?

Parmi les mécanismes identifiés, et ne s'excluant pas entre eux, on trouve par

exemple la persistance virale. De fait, chez certains patients ayant une PCR et une sérologie négatives, mais des symptômes persistants, des SARS-CoV-2 ont été retrouvés par exemple dans le bulbe olfactif. Le Covid long serait alors une infection à bas bruit ponctuée de résurgences un peu à la façon d'un zona. Les cas seraient toutefois rares.

Une autre piste est celle des microthromboses, c'est-à-dire l'obstruction de petits vaisseaux sanguins, par exemple au niveau de la barrière hémato-encéphalique, la frontière entre circulation sanguine et système nerveux central, comme cela a été montré en octobre 2021. Les microhémorragies et les déficits en oxygénation qui en résultent expliqueraient, au moins en partie, certains troubles neurocognitifs observés. Cette idée est corroborée par des anomalies du cerveau observées lors de tomographie par émission de positrons chez une proportion non négligeable de patients, parfois jeunes, présentant des symptômes de Covid long.

D'autres mécanismes proposés mettent en jeu le système nerveux autonome dont le dysfonctionnement peut altérer l'état non seulement neurologique, mais également cardiovasculaire, respiratoire et digestif...

Une étude parue en novembre 2021, très contestée notamment par des associations de patients et certains chercheurs, a quant à elle mis en évidence que les symptômes persistants seraient plus associés au fait de croire d'avoir été malade du Covid que d'avoir réellement contracté le coronavirus. Cette étude ne nie pas la réalité des symptômes ni même leur éventuelle association au Covid-19, mais elle souligne le risque de surattribution des symptômes au SARS-CoV-2 et émet l'hypothèse d'un rôle possible dans la persistance des symptômes de causes non spécifiques au coronavirus, comme des troubles fonctionnels.

La multiplicité des symptômes laisse supposer qu'il y a plusieurs causes, probablement en interrelation. Le plus important, rappelle Cédric Lemogne, chef du service de psychiatrie de l'hôpital Hôtel-Dieu, à Paris, un des auteurs de l'étude, est que les patients et leurs associations se sentent reconnus, que l'on n'exclue aucune hypothèse et que toutes puissent être évaluées scientifiquement.

Alors seulement la définition du Covid long (un nom forgé par les patients), ou peut-être des « Covid longs », s'affinera et l'on pourra mieux aborder le versant thérapeutique de la maladie. De fait, aujourd'hui, l'arsenal consiste essentiellement en des traitements symptomatiques, par exemple de l'aspirine contre les péricardites. Parallèlement, le nombre de centres de diagnostic et de soins doit croître : on en compte actuellement une dizaine en France contre au moins quatre-vingts en Grande-Bretagne. Les progrès se feront de façon simultanée sur tous les fronts, ceux de la recherche, des traitements, de la prise en charge, de la reconnaissance par la société, du diagnostic... Et ce sera certainement long ! ■

Loïc Mangin

Audition publique de l'Opecst : « Covid long, quelle connaissance et quelle prise en charge ? » : <https://bit.ly/OPECST-CovLong>

Retrouvez tous nos articles sur le Covid-19 en accès libre sur www.pourlascience.fr

PHYSIQUE DES MATÉRIAUX

SUR LA PISTE D'UN MATÉRIAU CONDUCTEUR ET TRANSPARENT

L'ITO est massivement utilisé dans l'industrie, mais l'indium qu'il contient est très cher. Une autre solution, celle du vanadate de strontium, est prometteuse.

Les matériaux à la fois conducteurs et transparents sont rares. C'est le cas de l'oxyde d'indium-étain (ITO). Il est par exemple utilisé comme électrode dans les panneaux photovoltaïques pour récolter les charges électriques sans bloquer la lumière, qui doit pénétrer jusqu'aux matériaux photosensibles. De même, il entre dans la composition des écrans tactiles. Mais avec une demande industrielle importante et une abondance faible dans la croûte terrestre, l'indium a vu son prix s'envoler. Les spécialistes se penchent donc sur d'autres matériaux présentant des caractéristiques similaires. C'est le cas des oxydes pérovskites, comme le vanadate de strontium (SrVO_3). Récemment, l'équipe autour de Mathieu Mirjolet, à l'institut de science des matériaux de Barcelone, en Espagne, a progressé dans la compréhension de l'origine de la transparence de SrVO_3 , tandis qu'Arnaud Fouchet, chercheur CNRS au laboratoire Crismat de Caen, et ses collègues ont mis au point une technique efficace pour le faire croître sur du verre.

Dans les métaux, la présence d'électrons libres, interagissant avec les photons de la lumière incidente, est responsable de leur forte réflectivité (typiquement exploitée pour la confection de miroirs). Ils ne sont donc en général pas transparents. Or SrVO_3 est un métal qui laisse passer la lumière. Les physiciens pensaient que cette propriété était le résultat de forces coulombiennes entre les électrons du matériau. Ces interactions répulsives interfèrent avec la mobilité des électrons, qui se comportent comme s'ils avaient une masse plus élevée. Il en résulte que le seuil de réflexion se trouve dans l'infrarouge, hors des fréquences optiques du visible. Les photons du visible traversent alors le matériau sans être absorbés ou diffusés.

Cependant, les résultats de mesures réalisées sur du SrVO_3 par Mathieu Mirjolet et ses collègues n'étaient pas compatibles avec le scénario des interactions coulombiennes. Les physiciens suggèrent que les électrons interagiraient plutôt avec les phonons du milieu, c'est-à-dire les vibrations du réseau cristallin du SrVO_3 . Comme avec les forces coulombiennes, les électrons seraient ralentis et n'interagiraient pas avec les photons dans le visible.



Comment fonctionne un écran tactile ?

L'écran à proprement parler est recouvert d'un film conducteur, puis d'une couche isolante, d'un nouveau film conducteur et d'un revêtement protecteur. Quand on appuie sur l'écran tactile, les différentes couches se déforment, et les deux films conducteurs sont mis en contact, déclenchant le signal désiré. Pour que l'on puisse voir l'écran, les couches doivent toutes être transparentes. Les matériaux conducteurs et transparents sont rares. Le plus utilisé aujourd'hui est l'ITO, qui contient de l'indium, un élément cher.

Au-delà de cette avancée théorique qui sera peut-être extensible à d'autres matériaux pérovskites, le vanadate de strontium posait aussi un problème concret pour sa synthèse en couche mince. Pour présenter les bonnes propriétés de transparence et de conduction électrique, cet élément doit être cristallisé. Or cela était difficile à réaliser sur des plaques de verre, un préalable pour fabriquer des panneaux solaires. Arnaud Fouchet et ses collègues ont trouvé une solution qui consiste à couvrir le verre de nanofeuillets (à base de niobium) dont la structure est similaire à celle de la pérovskite SrVO_3 . La couche nanométrique est transparente du fait de sa faible épaisseur et se fixe simplement par trempage du verre dans une solution contenant ces nanofeuillets. Une fois ce verre préparé, les films de SrVO_3 sont obtenus de façon homogène et contrôlée par épitaxie (une méthode éprouvée de croissance des cristaux) à une température de l'ordre de 400 °C. Cette approche pourrait être facilement industrialisée. ■

Sean Bailly

A. Boileau *et al.*, *Advanced Functional Materials*, en ligne le 9 septembre 2021 ; M. Mirjolet *et al.*, *Advanced Science*, en ligne 19 juin 2021

EN BREF

Doper son système immunitaire

La méditation a un impact positif sur la santé mentale et physique, mais les mécanismes moléculaires restent à identifier. Vijayendran Chandran, de l'université de Floride, et ses collègues viennent de mettre en évidence chez les personnes qui méditent une forte surexpression de 220 gènes liés au système immunitaire. Ce résultat est d'autant plus intéressant que cette amélioration des fonctions immunitaires ne s'accompagne pas de l'activation de signaux associés à une inflammation.

PNAS, 21 décembre 2021

La domestication double du litchi

En séquençant le génome de différents cultivars de litchi, Victor Albert, de l'université de Buffalo, aux États-Unis, et ses collègues ont dévoilé l'histoire de la domestication de ce fruit. Dans le Yunnan, en Chine, les populations auraient cultivé des litchis à floraison précoce, alors que dans le Hainan, les plants à floraison tardive ont été privilégiés. Grâce à ces données, les chercheurs ont aussi identifié la mutation génétique qui contrôle la précocité de la floraison, un paramètre crucial pour l'agriculture.

Nature Genetics, 3 janvier 2022

Vieilles étoiles dans la Galaxie

L'Univers est surtout constitué d'hydrogène et d'hélium. Les éléments plus lourds ne représentent que 1,5 % de la composition du Soleil, par exemple. Cette métallicité augmente avec les générations successives d'étoiles. Or l'équipe autour de Nicolas Martin, de l'observatoire astronomique de Strasbourg, vient de découvrir un ensemble d'étoiles dans la Voie lactée à la métallicité 2 500 fois plus faible que celle du Soleil. Cette structure serait donc particulièrement ancienne.

Nature, 5 janvier 2022

BIOLOGIE CELLULAIRE

COMMENT LA QUEUE REPOUSSE

Trois jours. Voilà tout le temps nécessaire à un poisson-zèbre (*Danio rerio*) au stade larvaire pour faire repousser dans son intégralité sa nageoire caudale qu'il aurait perdue à la suite d'une blessure. Les chercheurs en médecine régénérative, en particulier, s'appliquent à percer les secrets biologiques de ce « superpouvoir » qui pourraient bien inspirer des applications cliniques. Derrière cette impressionnante performance se cache un blastème, une structure composée de cellules non différenciées, donc au potentiel très large, et qui n'attendent que d'être guidées pour constituer un type particulier de tissu. Dans une étude précédente, Farida Djouad, directrice de recherche à l'Inserm et rattachée à l'université de Montpellier, et ses collègues avaient montré que les macrophages, des cellules du système immunitaire, stimulent la prolifération des cellules du blastème et la régénération de la queue.

Cette fois, les chercheurs révèlent l'identité d'un nouvel acteur cellulaire issu de la crête neurale. Cette dernière, présente uniquement au stade embryonnaire chez tous les vertébrés, est à l'origine de nombreuses parties du corps, dont la majeure partie du



La larve du poisson-zèbre (*Danio rerio*) est capable de faire repousser en trois jours sa nageoire caudale après une amputation.

squelette facial et du cou, ainsi que les neurones du système nerveux périphérique. L'équipe a découvert que le dialogue entre les différentes cellules impliquées se fait par le biais d'une protéine, la neuréguline 1 (NRG1). Mais, puisque des cellules dérivées de la crête neurale sont présentes chez tous les vertébrés, pourquoi les mammifères ne sont-ils pas eux aussi capables de régénérer certains tissus ? C'est à cette question que Farida Djouad et son équipe aspirent à répondre. ■

William Rowe-Pirra

B. Laplace-Builhé et al., Nature Communications, 2021

BIOPHYSIQUE

L'ENROULEMENT DES COQUILLES

La régularité et l'origine des motifs géométriques des coquilles de mollusques questionnent depuis longtemps les scientifiques. Par exemple, la coquille de l'immense majorité des gastéropodes, dont les escargots des jardins, s'enroule comme si elle suivait une hélice tracée sur un cône, on parle de « coquille hélicospirale ». Au contraire, celle de la plupart des ammonites – un groupe de céphalopodes éteint depuis 66 millions d'années – s'enroule dans le même plan, on dit qu'elles sont « planispirales ». « La génétique ne suffit pas à tout expliquer. La physique gouverne en partie le développement des formes biologiques et canalise leur évolution », précise Régis Chirat, du laboratoire de géologie de Lyon. Avec ses collègues, il vient de développer un modèle qui explique toutes les formes rencontrées. Si la vitesse de croissance



Ensemble d'ammonites fossilisées datant du Jurassique.

de la coquille et celle du corps sont différentes, cela induit une torsion sur le mollusque qui subit une rotation et forme une coquille hélicospirale. Dans le cas contraire, elle est planispirale. ■

Sylvain Guilbaud

R. Chirat et al., PNAS, 2021