

A

CTUALITÉS

P.6 Échos des labos

P.18 Livres du mois

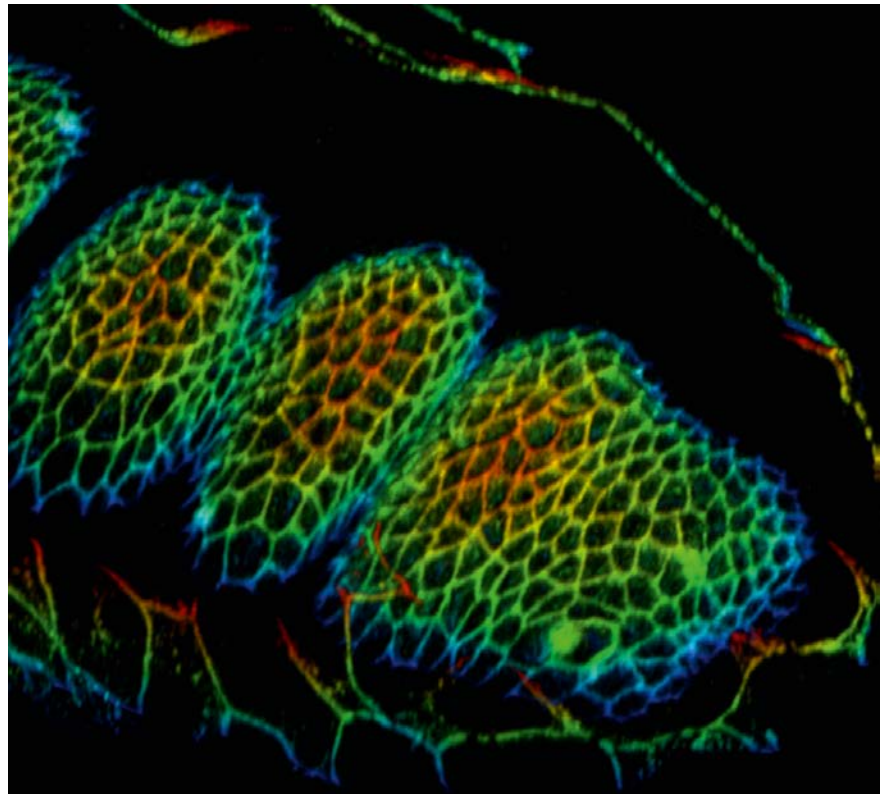
P.20 Agenda

P.22 *Homo sapiens informaticus*

P.24 Questions de confiance

BIOLOGIE DU DÉVELOPPEMENT

COMMENT LA MORT DES CELLULES FAÇONNE LES TISSUS



Lors de la formation des pattes de la drosophile, les tissus cellulaires de la larve se plissent peu à peu en des endroits précis qui donneront les articulations.

Lors du développement animal, des cellules sur le point de mourir produisent une force qui déforme le tissu alentour. Leur noyau joue un rôle essentiel dans ce processus.

Comment un embryon, au départ rond comme une bille, se plisse-t-il progressivement au fil de son développement, jusqu'à former les différents organes? Nombre de biologistes se sont penchés sur cette question et, peu à peu, ces dernières années, un mécanisme s'est dessiné: à l'endroit d'un futur pli, les cellules constituant un tissu se rétractent à l'aide du même type de couple de protéines qui contracte les muscles: l'actine, un constituant du squelette des cellules, et une myosine, un moteur moléculaire

capable de se déplacer le long de l'actine polymérisée en filaments. Ce faisant, ces cellules entraînent leurs voisines *via* les molécules qui les lient les unes aux autres, et créent ainsi un creux dans le tissu.

Toutefois, on s'est aussi aperçu que ce mécanisme n'est pas le seul à l'œuvre. En 2015, notamment, Magali Suzanne et Bruno Monier, du Centre de biologie intégrative (CNRS, université de Toulouse), à Toulouse, et leurs collègues ont observé chez la drosophile que dans le tissu qui deviendra une patte, l'apoptose – la mort programmée des cellules – produit sur les cellules alentour une force similaire de

contraction qui les déforme et est nécessaire à la formation de la patte. La même équipe vient à présent de déterminer comment cette force est produite.

Depuis longtemps, les biologistes savent que l'apoptose intervient à des stades précis du développement et contribue au façonnage des organes. Chez les vertébrés, notamment, les doigts se dessinent grâce à la mort des cellules situées entre ceux-ci. L'apoptose est aussi impliquée dans le repliement sur lui-même du tube neural, le système nerveux primitif. On pensait alors que l'élimination des cellules suffisait à remodeler les tissus. Mais en 2015, en se concentrant sur le rôle de l'apoptose dans la formation d'un pli précis – qui devient une articulation d'une patte – lors du développement de la drosophile,

L'équipe toulousaine a montré qu'avant de mourir, une cellule en apoptose produit une force qui creuse le tissu en entraînant les cellules voisines. Dans sa nouvelle étude, l'équipe révèle que de nouveau le couple actine-myosine intervient dans la production de cette force, mais qu'un acteur inattendu l'accompagne: le noyau cellulaire.

Le tissu de la patte est constitué de cellules «épithéliales», des cellules qui, serrées les unes contre les autres sur une seule couche, forment une sorte de tapis d'une épaisseur de 20 à 30 micromètres reposant sur d'autres tissus. Par vidéomicroscopie et à l'aide de marqueurs fluorescents, les biologistes ont suivi pas à pas l'apoptose de cellules individuelles du tissu. Ils ont ainsi observé qu'un câble d'actine et de myosine se forme à partir du sommet de la cellule et s'allonge jusqu'à rejoindre le noyau, lui-même ancré à l'opposé, à la base de la cellule, par un réseau de filaments d'actine relié à la membrane basale. Lorsque le câble se contracte, il tire d'un côté sur le sommet de la cellule et de l'autre sur le noyau. Le sommet s'enfonce dans le tissu, entraînant les cellules voisines, tandis que le noyau remonte. Mais si l'on détruit l'ancre d'actine qui le relie à la base, le tissu ne se déforme plus.

Or les cellules non apoptotiques (c'est-à-dire qui ne sont pas sur le point de mourir) ont un aspect assez différent: alors que les cellules apoptotiques ressemblent à des poires, avec le noyau en bas, les cellules non apoptotiques sont inversées, leur partie supérieure, plus large, contenant le noyau. En d'autres termes, lorsque l'apoptose se déclenche, le noyau migre à la base de la cellule et y reste attaché. Il sert ainsi de point d'ancrage au câble contractile, lui permettant de transmettre à la face supérieure du tissu la force qu'il produit en se contractant. Puis la cellule se détache de ses voisines et est évacuée par la base du tissu. Mais le pli, lui, reste...

L'équipe essaye maintenant de comprendre si de tels mécanismes de génération de force impliquant le noyau sont mis en jeu dans d'autres organismes, comme le poulet, ou d'autres types de cellules, telles celles qui quittent leur épithélium d'origine pour migrer à distance. ■

MARIE-NEIGE CORDONNIER

A. Ambrosini et al., *Developmental Cell*, en ligne le 13 juin 2019

Comprendre l'origine de la chimiophobie

Quelle image a-t-on des produits de synthèse et de leur toxicologie en Europe ? Une étude met en relation l'état des connaissances du grand public et la « chimiophobie ». Christophe Cartier dit Moulin, chargé de mission pour la communication scientifique à l'Institut de chimie du CNRS, commente ce rejet de la chimie dans la population générale.



Propos recueillis par MARTIN TIANO

CHRISTOPHE CARTIER DIT MOULIN
directeur de recherche
au CNRS

Que nous apprend cette étude ?

Que la chimiophobie, définie comme la peur irrationnelle découlant de la surévaluation des risques liés aux produits issus de l'industrie chimique, est largement partagée et concerne tous les publics, y compris parmi les plus instruits.

L'étude a été menée par Angela Bearth, de l'École polytechnique fédérale de Zurich, et ses collègues en interrogeant 5 631 personnes dans 8 pays d'Europe. Elle confirme en outre que les connaissances en chimie sont assez faibles. Par exemple, la dichotomie erronée entre « chimique » et « naturel » est très présente. Ainsi, 82 % des participants de l'étude estiment qu'il y a une différence entre le sel (NaCl) synthétique et celui extrait de la mer. Certaines notions fondamentales en toxicologie, comme la relation dose-effet, sont quasi inconnues. Ce manque de connaissances de base instaure une méfiance et c'est le facteur décisif dans la chimiophobie, même si d'autres éléments entrent aussi en ligne de compte.

Pourquoi la chimie est-elle confrontée à une telle situation ?

Il me semble que la chimie souffre de trois maux : elle est mal aimée, mal comprise, mal traitée. Mal aimée car, contrairement à d'autres technologies, elle ne fait pas rêver : elle est trop proche du quotidien, elle est partout ! Lorsqu'il faut trouver un coupable face à des inquiétudes sur la santé, par exemple, les produits chimiques de synthèse sont faciles à montrer du doigt. Mal comprise car, comme le soulignent les auteurs, le terme même de « chimique » est polysémique, et sa véritable définition, « science qui étudie les propriétés, la constitution des corps et les réactions qui peuvent se produire entre eux »,

échappe la plupart du temps au grand public. Mal traitée enfin parce que, quels que soient les modes de communication mis en place, l'image de la chimie reste mauvaise, même quand les différents acteurs du domaine mettent, par exemple, l'accent sur une chimie écoresponsable.

Comment expliquer la situation encore plus dramatique en France ?

Il semble y avoir des différences culturelles entre pays européens, et j'ai le sentiment qu'en France, nous sommes à la recherche du « risque zéro ». La notion de balance bénéfique/risque, essentielle en toxicologie, reste de ce fait exclue du discours public. En résulte une plus grande inquiétude pour tout ce qui véhiculerait la moindre image de risque. Par ailleurs, je pense que la parole des scientifiques s'est affaiblie. En exagérant un peu, le grand public n'a pas beaucoup plus confiance en nous qu'en des politiciens. Les discours rigoureux, modérant la perception des risques, sont peu audibles dans les médias. Cette méfiance renforce davantage encore le sentiment de danger face aux produits chimiques de synthèse. Et parler de sujets polémiques comme le glyphosate ou les vaccins devient impossible.

Quels moyens pourrait-on mettre en œuvre pour sortir de la chimiophobie ?

L'enseignement des notions de base de la toxicologie et de la chimie en fait partie, ce qui à mon avis devrait se traduire en France par une réhabilitation de l'enseignement de la chimie, trop souvent présentée comme une sous-discipline de la physique.

Les scientifiques ne doivent pas chercher à convaincre mais simplement à expliquer, et accompagner le public dans les débats sociétaux que la chimie soulève. Point positif, depuis quelques années, j'observe que les scientifiques sont plus dans l'échange et le partage avec le grand public, et n'hésitent plus à discuter des limitations et du rapport bénéfices/risques de leurs avancées. ■

A. Bearth et al., *Food and Chemical Toxicology*, vol. 131, article 110560, 2019

PHYSIQUE

UN SAUT QUANTIQUE SUIVI À LA TRACE

Grâce à un dispositif ultrarapide, des physiciens ont observé le passage d'un système quantique de son état initial à un autre.

En 1913, Niels Bohr présentait son modèle de l'atome, composé d'un noyau entouré d'électrons sur des orbites distinctes ayant chacune une énergie bien définie. L'idée révolutionnaire du physicien danois était que seules certaines valeurs d'énergie sont autorisées pour les électrons. Ces particules peuvent néanmoins passer d'une orbite (ou état) à une autre, par un «saut quantique», si elles absorbent ou émettent un photon d'énergie exactement égale à l'écart d'énergie des deux états. Or Zlatko Minev et ses collègues, de l'université Yale, aux États-Unis, ont mené une expérience qui permet d'étudier ce qui se passe pendant un tel saut quantique.

Le modèle de Bohr préfigurait une vision encore plus radicale, celle de la physique quantique, développée au cours des années 1920. Cette théorie stipule qu'un saut quantique se déclenche de façon aléatoire, mais les détails du déroulement d'un tel saut, déjà vivement débattus à l'époque de Bohr, restent obscurs aujourd'hui.

En effet, comment étudier un saut quantique alors qu'une mesure perturbe inévitablement le système? L'équipe de l'université Yale a conçu un système reposant sur un «atome artificiel» constitué d'éléments supraconducteurs. Sur le plan mathématique, le dispositif est équivalent à un atome présentant trois états d'énergie: l'état fondamental (celui de plus basse énergie), un état dit «sombre» et un état dit «brillant». Le choix de ces mots tient au fait que l'appareil est capable de détecter quand le système est dans l'état brillant. Ce signal est associé à un «clic», comparable au bruit que fait un compteur Geiger.

En revanche, les physiciens ne peuvent pas directement savoir si le système est dans l'état sombre. Leur dispositif leur indique seulement si l'atome est dans l'état brillant ou non. Dès lors, dans le cas non brillant, les chercheurs préservent le mélange quantique entre les états fondamental et sombre et ne perturbent pas la dynamique lors d'un saut quantique entre ces niveaux d'énergie.

Dans l'expérience, l'atome artificiel est placé dans une cavité remplie de photons microondes. Ceux-ci stimulent le système, qui passe le plus souvent de l'état fondamental à l'état brillant.



À l'image d'un chat de Schrödinger se trouvant dans une superposition de deux états, des chercheurs ont trouvé un moyen de détecter les débuts du processus où le système saute d'un état à l'autre.

8

MICROSECONDES

C'EST LA DURÉE DU SAUT QUANTIQUE ENTRE L'ÉTAT FONDAMENTAL ET L'ÉTAT « SOMBRE ». GRÂCE À UN SYSTÈME ULTRARAPIDE, IL EST POSSIBLE DE DÉTECTER QU'UN SAUT EST EN TRAIN DE COMMENCER ET DE LUI ENVOYER UNE ONDE POUR L'ARRÊTER.

Lorsque le système est dans l'état brillant, les chercheurs enregistrent un clic, à peu près toutes les microsecondes. Mais parfois, ces signaux s'interrompent, environ toutes les 220 microsecondes, sur une durée moyenne de 31 microsecondes. Cela signifie que le système a effectué un saut quantique de l'état fondamental à l'état sombre, où il reste un certain temps.

Étant donné sa résolution temporelle de 8 nanosecondes, le dispositif expérimental est assez rapide pour détecter le début d'une période «silencieuse». Les chercheurs ont alors mesuré ce qui se passe précisément au cours du saut quantique vers l'état sombre. En effectuant des mesures à différents instants du saut sur près de 7 millions de sauts, les physiciens ont constaté que l'état de superposition du système change continuellement au cours du saut, selon une «trajectoire» bien définie. Il est dominé par sa composante fondamentale au début du saut, puis la part sombre augmente progressivement.

Si ce résultat n'est pas une surprise – il était prévu par la théorie –, c'est la première fois qu'on observe cette dynamique pendant le saut, lequel conserve son caractère aléatoire puisqu'on ne peut pas anticiper son déclenchement. ■

SEAN BAILLY

Z. K. Minev et al., *Nature*, vol. 570, pp. 200-204, 2019

EN BREF

UN PENTAQUARK MOLÉCULAIRE

Les quarks sont les briques élémentaires de la matière. En trio, ils forment les baryons (protons, neutrons, etc.). En paires quark-antiquark, ils constituent des mésons. En 2016, *LHCb*, une expérience du LHC, au Cern, a identifié un pentaquark, avec quatre quarks et un antiquark, dont l'existence était prévue depuis longtemps. Mais comment les quarks s'organisent-ils dans le pentaquark ? Est-ce un quintet solidement lié ou une association d'un baryon et d'un méson ? L'équipe de *LHCb* vient de montrer que la bonne option est la seconde.

LES MONARQUES NÉS EN CAPTIVITÉ NE MIGRENT PAS

Aux États-Unis, pour faire face au déclin du papillon monarque, des particuliers et des entreprises libèrent des individus élevés en captivité. Mais l'équipe d'Ayşe Tenger-Trolander, de l'université de Chicago, a montré que ces papillons ont perdu leur capacité à migrer vers le Mexique à l'automne pour se reproduire. Cette perte s'expliquerait par des différences génétiques entre les populations commercialisée et sauvage, et par l'absence de repères environnementaux liés à l'élevage en intérieur.

UN PALAIS SORTI DES EAUX

Sur le site de Kemune, au bord du Tigre irakien, un palais était immergé dans les eaux du réservoir du barrage de Mossoul. En 2018, un épisode de sécheresse l'a rendu de nouveau accessible. L'archéologue Hasan Ahmed Qasim et des collègues de l'université de Tübingen en ont profité pour étudier ce bâtiment. Il date de l'empire Mittani, aux ^{xv^e} et ^{xiv^e} siècles avant notre ère. Ils y ont trouvé des peintures murales, rarement préservées, et dix tablettes d'argile avec du texte cunéiforme.

ÉCOLOGIE

FUIR FACE À UNE ESPÈCE INVASIVE

Les espèces invasives constituent l'une des principales causes d'érosion de la biodiversité. Or si l'on appréhende mieux aujourd'hui les critères permettant à une espèce de devenir envahissante, il est très souvent difficile d'étudier une invasion biologique, car on ne la détecte qu'une fois l'écosystème modifié. D'où l'intérêt des travaux de Todd Palmer, de l'université de Floride, et ses collègues : ils ont suivi l'arrivée de deux espèces de reptiles exotiques qu'ils ont introduites dans des petites îles de l'archipel des Bahamas.

Ces îles abritent une espèce de lézard arboricole, l'anole brun, qui se nourrit d'insectes. Les chercheurs ont apporté une espèce concurrente, l'anole vert, lui aussi insectivore et arboricole. Très vite, les deux espèces de reptiles ont développé des modes de vie complémentaires, limitant ainsi la compétition : l'anole brun vit et se nourrit au sol ou sur les troncs des arbres, tandis que l'anole vert reste dans les cimes.

Les chercheurs ont ensuite introduit une troisième espèce, l'iguane caréné à queue bouclée, insectivore et reptilivore. Ce dernier étant exclusivement terrestre, il ne pouvait s'attaquer qu'aux anoles bruns. Mais étonnamment, ce sont les anoles verts qui ont quasiment disparu sur les îles étudiées. Pour Todd Palmer et ses collègues,



Un anole brun, espèce de lézard qui s'est adaptée à la présence de deux espèces de lézards volontairement introduites dans de petites îles des Bahamas.

l'introduction des iguanes aurait entraîné la fuite des lézards bruns en hauteur, ces derniers entrant alors en compétition directe avec les anoles verts. De fait, sur les îles colonisées par l'iguane, la proportion des lézards bruns aperçus au sol a diminué de 28% en six ans.

Le dernier rapport international sur la biodiversité de l'IPBES, paru le 6 mai 2019, rappelle l'urgence d'établir des outils de surveillance des espèces invasives. Néanmoins, la modification volontaire d'un écosystème, telle celle menée par Todd Palmer et ses collègues, suscite un autre débat : la fin justifie-t-elle tous les moyens ? ■

CORALINE MADEC

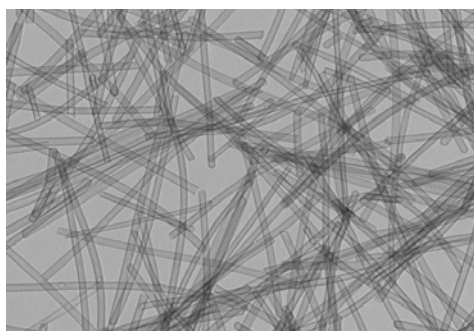
R. M. Pringle *et al.*, *Nature*, vol. 570, pp. 58-64, 2019

CHIMIE

ISOLANT INSPIRÉ DES OURS BLANCS

Les poils des ours polaires ont la particularité d'être creux, ce qui les rend à la fois légers et bien plus isolants que les poils ordinaires des mammifères. Source d'inspiration de nombreux travaux en science des matériaux, ils servent notamment de modèle pour des matériaux isolants thermiques ou acoustiques. Hui-Juan Zhan et ses collègues, de l'université de science et technologie de Chine, à Hefei, ont mis au point un matériau constitué exclusivement de carbone et inspiré de ces structures fibreuses creuses ; ses propriétés isolantes et mécaniques surpassent celles de la fourrure naturelle.

Les chercheurs ont réalisé un aérogel, réseau solide de macromolécules entourées d'air (au lieu d'eau dans un gel). Ici, le rôle des macromolécules est joué par des tubes de



Cet aérogel en carbone s'inspire des poils d'ours polaire et pourrait être un bon isolant thermique en milieu humide.

carbone creux interconnectés. Comme tout aérogel, il est peu dense et un bon isolant thermique. Mais grâce à sa composition en carbone, ce matériau est aussi très hydrophobe, insensible à l'humidité. Il est aussi élastique et mécaniquement résistant. ■

M. T.

Hui-Juan Zhan *et al.*, *Chem*, vol. 5, pp. 1-12, 2019