

cellules, qui joue un rôle clé dans l'embryogenèse à toutes les échelles. Notamment, chez les vertébrés, on sait que les cellules communiquent à distance en libérant des facteurs morphogènes – diverses molécules dont le gradient de concentration spécifie à quels endroits de l'organisme les cellules vont se spécialiser en tel ou tel tissu. Chez les ascidies, des signaux extérieurs aux cellules influent aussi sur leur induction. Cependant, les contacts entre cellules semblent jouer un rôle primordial. En 2006 en effet, l'équipe de Patrick Lemaire a montré, à l'aide d'un modèle numérique 3D d'embryons d'ascidies, que la taille de la surface de contact entre les cellules est déterminante pour leur induction.

Pour comprendre les mécanismes en jeu, Léo Guignard et ses collègues ont enregistré toutes les deux minutes le développement de dix embryons de *Phallusia mammillata* à l'aide d'un microscope de haute résolution à « nappe de lumière », puis, à l'aide d'un logiciel, ont suivi chaque cellule, sa géométrie et les contacts qu'elle établissait avec ses voisines. Ils ont ainsi non seulement confirmé la reproductibilité du développement à l'échelle cellulaire, mais aussi montré que même les surfaces de contact entre cellules voisines sont reproductibles d'un embryon à l'autre.

Pour préciser le rôle des contacts dans l'embryogenèse, l'équipe a ensuite combiné, par modélisation mathématique, les informations géométriques obtenues avec le profil d'expression des principaux gènes impliqués dans la signalisation entre cellules. Ils en ont déduit que les signaux échangés par les cellules étaient de très courte portée et compatibles avec des signaux de contact.

La corrélation entre géométrie et signaux de contact était tellement forte que les signaux de contact entre cellules pourraient suffire pour construire un embryon d'ascidie. La portée de la signalisation déterminerait l'échelle à laquelle la reproductibilité est observée : quand les signaux de contact sont majoritaires, l'embryon est reproductible à l'échelle cellulaire, puis quand les signaux à plus longue distance prennent le dessus, l'échelle de la reproductibilité devient tissulaire. ■

MARIE-NEIGE CORDONNIER

L. Guignard et al., *Science*, vol. 369, article eaar5663, 2020

BPA : des substituts tout aussi problématiques

Une équipe de l'Institut de recherche en santé, environnement et travail (Irset), à Rennes, a mené une vaste étude sur la nocivité des substituts du bisphénol A (BPA) chez le poisson-zèbre. Ces composés se sont révélés être, comme le bisphénol A, des perturbateurs endocriniens. Pascal Coumailleau, l'un des quatre auteurs de ces travaux, nous commente leurs résultats.



Propos recueillis par SEAN BAILLY

PASCAL COUMAILLEAU
enseignant-chercheur
à l'université Rennes-1
et à l'Irset

Qu'est-ce que le bisphénol A ?

Il s'agit d'un composé organique de la famille des molécules aromatiques. Il se caractérise par la présence de deux groupes phénol. Depuis les années 1960, l'industrie du plastique l'utilise en grandes quantités sous la forme de polycarbonate, car il présente de nombreuses qualités : transparent, léger et résistant aux chocs mécaniques. Il sert à la fabrication des biberons, des bouteilles en plastique, des films à l'intérieur des canettes, des boîtes de conserve, etc. On le retrouve aussi dans les CD ou les films thermosensibles des tickets de caisse.

Quel problème ce composé pose-t-il ?

Sa structure moléculaire est assez proche de celle des œstrogènes, des hormones sexuelles. À cause de cette similarité, le bisphénol A se fixe sur le récepteur des œstrogènes et perturbe cette voie de signalisation hormonale. C'est donc un « perturbateur endocrinien ». Or les hormones agissent même en très faibles quantités ; il suffit donc d'une concentration restreinte de bisphénol A pour observer des effets.

D'après beaucoup d'études, cette molécule semble associée à de nombreuses maladies : diabète, maladies cardiovasculaires, problèmes hépatiques ou thyroïdiens, cancer du sein, etc. Ses effets de perturbateur endocrinien seraient particulièrement sensibles lors du développement embryonnaire et fœtal, avec des conséquences sur le développement des organes sexuels mâles et femelles, du cerveau et sur le comportement reproducteur.

Depuis 2015, son utilisation est interdite dans tous les contenants alimentaires en France. En 2017, l'Agence européenne des produits chimiques a ajouté le bisphénol A dans la liste des « substances extrêmement préoccupantes ».

Est-il possible de le remplacer ?

Pour l'heure, les substituts proposés sont tous des dérivés de la famille des bisphénols. Ils ont été beaucoup moins étudiés que le bisphénol A. Quand nous avons lancé notre étude sur le poisson-zèbre il y a trois ans, il y avait quelques indices d'effets perturbateurs chez ces autres bisphénols. Notre objectif a été d'avoir une vision globale de la situation, de comparer le bisphénol A à quatre substituts parmi les plus utilisés, les bisphénols S, F, AF, et AP. Et d'étudier l'impact sur le développement du poisson-zèbre.

Avec quels résultats ?

Parmi les nombreux paramètres que nous avons étudiés, nous avons regardé le moment précis d'éclosion des larves des poissons-zèbres qui est un indicateur du développement global de l'animal. On sait que certaines substances accélèrent ou ralentissent le développement et décalent l'éclosion. Avec tous les bisphénols étudiés, nous avons mesuré une accélération du développement, ce qui n'est pas sans conséquence à long terme.

Vous avez aussi examiné la production d'aromatase B ; de quoi s'agit-il ?

Cette enzyme assure la conversion de la testostérone en œstradiol (hormone de la famille des œstrogènes). Elle a un rôle essentiel pour maintenir l'équilibre entre ces deux hormones dans l'organisme, notamment le cerveau. En outre, chez le poisson, le gène qui code cette protéine est une cible d'activation des œstrogènes. Nous avons montré que les bisphénols S, F et AF (surtout ce dernier) ont une activité œstrogénique très nette car ils augmentent de façon significative la synthèse de l'aromatase B. Nous avons aussi observé qu'un de ces substituts modifie le comportement de nage des larves de poisson-zèbre. Les effets observés indiquent qu'il est impératif de se tourner vers d'autres molécules de remplacement. Reste à trouver lesquelles... ■

P. Coumailleau et al., *Journal of Neuroendocrinology*, en ligne le 21 juin 2020

GÉOSCIENCES

LA SOURCE DU POINT CHAUD DE HAWAII SE DÉVOILE

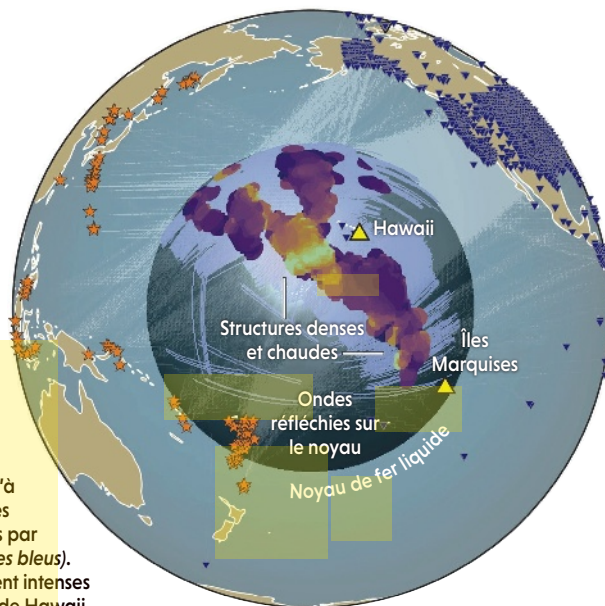
En analysant les échos des ondes sismiques, des chercheurs ont affiné la cartographie des structures situées à l'interface du manteau et du noyau terrestres.

Au contact du noyau de fer liquide, la base du manteau terrestre, composé de roches silicatées, est d'une grande complexité structurale, qui lui vaut le nom de couche « anormale » D". De la même façon que les chauves-souris utilisent l'écholocalisation par ultrasons pour explorer leur environnement, Doyeon Kim, de l'université du Maryland, aux États-Unis, et des collègues géologues et astrophysiciens ont analysé les échos des ondes sismiques pour cartographier avec précision cette région sous l'océan Pacifique.

Depuis plus de cent ans, les géologues utilisent les ondes sismiques pour sonder l'intérieur de la Terre. Ces ondes parcourent des milliers de kilomètres à des vitesses qui varient selon les matériaux traversés. En collectant ces signaux, les chercheurs en déduisent la structure interne de la planète. Au sein de la couche D", ils ont notamment découvert des « superpanaches », des assemblages gigantesques qui résultent peut-être de l'accumulation d'anciennes plaques océaniques enfouies vers l'intérieur du manteau à la suite de leur subduction. Sur les bords de ces superpanaches, les chercheurs ont identifié d'autres structures plus petites, les ULVZ (*ultra low velocity zones*). Elles pourraient correspondre à des régions où les anciennes plaques fondent. Ces zones sont d'ailleurs corrélées à des points chauds (où de la roche mantellique très chaude remonte jusqu'à la surface et donne naissance à un volcanisme important), comme celui qui est à l'origine de l'archipel de Hawaï.

Doyeon Kim et ses collègues ont récemment mis au point une nouvelle technique pour cartographier les détails de la couche D". Le principe est simple : comme c'est le cas pour les ondes sonores, lorsqu'une onde sismique rencontre un obstacle ou une région de composition différente, elle est en partie réfléchi. Cela crée une onde secondaire plus faible, qui arrive avec un peu de retard par rapport au signal qui s'est propagé sans avoir subi de déflexion. Ces échos sismiques sont riches en information, mais leur étude était difficile jusqu'à présent, car ces faibles signaux sont souvent noyés dans le bruit de fond. Les analyses étaient restreintes

L'utilisation des échos des ondes sismiques a permis de cartographier les structures existantes à la base du manteau terrestre. Les ondes des séismes (étoiles orange) se sont propagées jusqu'à la surface du noyau et les échos ont été enregistrés par des sismomètres (triangles bleus). Les échos particulièrement intenses au pied du point chaud de Hawaï et des îles Marquises (triangles jaunes) indiquent la présence de structures de grande taille.



à des régions de très petite taille, pour en permettre l'interprétation.

Doyeon Kim et ses collègues ont amélioré la situation en développant une nouvelle méthode qui leur a permis d'analyser des échos sous tout le bassin Pacifique. Les chercheurs ont utilisé un nouvel algorithme nommé « le Séquenceur », initialement élaboré dans un contexte astrophysique. « L'algorithme a été conçu pour détecter par lui-même des tendances ou des motifs dans des données sans avoir besoin d'indiquer un modèle *a priori* », explique Brice Ménard, astrophysicien à l'université Johns-Hopkins et créateur de l'algorithme. Le programme a ainsi extrait les échos du bruit de fond. Avec ces données, les géologues ont montré que la couche D" possède encore plus de structures qu'on ne l'imaginait. Ils ont visualisé la base du panache qui alimente l'archipel de Hawaï et ont découvert une structure similaire sous les îles Marquises, l'un des cinq archipels de la Polynésie française. ■

S. B.

D. Kim et al., *Science*, vol. 368, pp. 1223-1228, 2020

EN BREF

UNE IA QUI A L'ŒIL SUR LES OISEAUX

Pour étudier des groupes d'espèces sauvages, il est utile de pouvoir reconnaître chaque individu. Il n'est pas toujours aisé de distinguer à l'œil le pelage ou le plumage de deux animaux. André Ferreira, de l'université Paul-Valéry, à Montpellier, et ses collègues ont conçu un algorithme d'intelligence artificielle reposant sur l'apprentissage profond qui est capable de distinguer les motifs sur les plumes des oiseaux de façon à reconnaître chaque individu.

Methods Ecol. Evol., 26 juillet 2020

UNE CARTE COSMIQUE ÉTENDUE

Les astrophysiciens du programme SDSS (Sloan Digital Sky Survey) viennent de réaliser la plus vaste carte 3D de l'Univers. Celle-ci couvre les 11 derniers milliards d'années d'expansion cosmique. Jusqu'à présent, on n'avait que la moitié. Or, justement, il y a environ 6 milliards d'années, l'expansion a accéléré sous l'impulsion de l'« énergie sombre (ou noire) ». Cette nouvelle carte permettra de poser des contraintes sur ce moteur cosmique de nature inconnue.

Communiqué du SDSS, 19 juillet 2020

EBOLA : SÉQUELLES À LONG TERME

Entre 2013 et 2016, en Afrique de l'Ouest, le virus Ebola a contaminé 28 000 personnes, dont 11 000 sont mortes. Dans le cadre de l'étude des séquelles chez d'anciens malades, l'équipe d'Yves Lévy, de l'Inserm, a analysé des prélèvements sanguins chez 35 individus. Bien que physiquement guéris, ces derniers présentent deux ans après des concentrations anormalement élevées de marqueurs immunitaires et inflammatoires (qui témoignent de la persistance d'une inflammation).

Nature Comm., 24 juillet 2020

PALÉONTOLOGIE

DINOSAURES : DES ŒUFS D'ABORD MOUS

Les dinosaures pondaient-ils des œufs durs ou mous ? Les deux, suggère l'équipe de Mark Norell, du Muséum américain d'histoire naturelle, à New York !

Il y a 310 millions d'années, l'apparition de l'œuf amniotique – un embryon protégé par une membrane – a rendu les reptiles capables de pondre hors de l'eau. Puis celle d'œufs à coquille calcaire les a aidés à coloniser les continents. Comme les crocodiliens et oiseaux modernes, proches parents des dinosaures, pondent des œufs à coquilles dures, les paléontologues ont d'abord supposé qu'il en était de même pour les dinosaures. Toutefois, la diversité des microstructures des coquilles d'œufs fossiles des sauropodes, hadrosaures et autres théropodes contredit l'idée d'une origine commune des œufs à protection calcaire.

Pour avancer, l'équipe de Mark Norell a étudié les œufs fossiles non calcaires de *Mussaurus*, un dinosaure datant du Norien (227 à 208 millions d'années), et de *Protoceratops*, un dinosaure du Campanien (84 à 72 millions d'années). L'examen minéralogique, organochimique et structurel indique que ces œufs d'époques très différentes étaient mous. Afin d'interpréter ces observations, les chercheurs ont fait



La couvée de *Protoceratops* étudiée a été découverte dans le désert de Gobi, en Mongolie. Elle contient des œufs et des embryons aux squelettes presque complets.

fonctionner un modèle d'évolution des structures d'œufs. Les incohérences entre les microstructures des œufs dinosauriens seraient dues à l'apparition, à trois reprises au moins au cours de l'évolution de ce groupe de reptiles, d'œufs à coquille, à partir d'un type différent d'œuf ancestral mou dans chaque cas. Et la rareté des œufs fossiles de dinosaures dans les roches anciennes s'expliquerait par le fait que les premiers dinosaures pondaient plutôt des œufs mous. ■

FRANÇOIS SAVATIER

M. A. Norell et al., *Nature*, vol. 583, pp. 406-410, 2020

BIOPHYSIQUE

DES POISSONS SUPERNOIRS

Dans les océans, à plus de 200 mètres de profondeur, les seules sources de lumière sont biologiques et utilisées notamment pour traquer ou attirer des proies. Mais certains poissons restent bien cachés grâce à une peau très noire dont le coefficient de réflexion (qui atteint 0,044 % pour une espèce) rivalise avec celui des matériaux artificiels. Alexander Davis, de l'université Duke, aux États-Unis, et ses collègues ont étudié plusieurs espèces dotées de ce camouflage supernoir.

Ils ont mis en évidence sous l'épiderme une couche de mélanosomes (des organites contenant la mélanine, un pigment), dense, continue et épaisse de plusieurs micromètres. Grâce à un modèle numérique, l'équipe a étudié le coefficient de réflexion de cette structure et a conclu que les couches de mélanosomes dans



Ce poisson des abysses, de la famille des dragons à écailles (*Stomiidae*), a une peau très noire qui réfléchit moins de 0,5 % de la lumière.

la peau des poissons supernoirs avaient des caractéristiques optimales pour maximiser le pouvoir d'absorption de la lumière. La simplicité de cet assemblage laisse entrevoir des méthodes de production de revêtements supernoirs aisées à mettre en œuvre. ■

S. B.

A. L. Davis et al., *Current Biology*, en ligne le 16 juillet 2020