

■ POUR LA

SCIENCE

Avril 2015 - n° 450

www.pourlascience.fr

Édition française de Scientific American



Les routes de 5^e génération



Autoréparables,
écologiques, antibruit,
antibouchons...

M 02687 - 450 - F: 6,20 € - RD



Allemagne : 9,30 € - Belgique : 7,20 € - Canada /S : 10,95 CAD - Grèce /S : 7,60 € - Guadeloupe/St Martin /S : 7,30 € - Guyane /S : 7,30 € - Italie : 7,20 € - Luxembourg : 7,20 €
Maroc : 60 MAD - Martinique /S : 7,30 € - Nlle Calédonie Wallis /S : 980 XPF - Polynésie Française /S : 980 XPF - Portugal : 7,20 € - Réunion /A : 9,30 € - Suisse : 12 CHF.

POUR LA SCIENCE

www.pourlascience.fr

8 rue Férou - 75278 Paris Cedex 06

Groupe POUR LA SCIENCE

Directrice des rédactions : Cécile Lestienne

Pour la Science

Rédacteur en chef : Maurice Mashaal

Rédactrice en chef adjointe : Marie-Neige Cordonnier

Rédacteurs : François Savatier, Philippe Ribeau-Gésippe,

Guillaume Jacquemont, Sean Bailly

Dossier Pour la Science

Rédacteur en chef adjoint : Loïc Mangin

Cerveau & Psycho • L'Essentiel Cerveau & Psycho

Rédacteurs en chef adjoint : Sébastien Bohler

et Bénédicte Salthun-Lassalle

Rédacteur : Guillaume Jacquemont

Développement numérique : Philippe Ribeau-Gésippe

Directrice artistique : Céline Lapert

Secrétariat de rédaction/Maquette : Sylvie Sobelman,

Pauline Bilbault, Raphaël Queruel, Ingrid Leroy, Caroline Vanhoove

Marketing : Élise Abib et Ophélie Maillet

Direction financière et direction du personnel : Marc Laumet

Fabrication : Marianne Sigogne et Olivier Lacam

Presse et communication : Susan Mackie

Directrice de la publication et Gérante : Sylvie Marcé

Anciens directeurs de la rédaction : Françoise Pétry

et Philippe Boulanger

Conseiller scientifique : Hervé This

Ont également participé à ce numéro :

Olivier Doaré, Sébastien Dutertre, Radouane Gannouji, Évelyne

Host-Platret, Éric Lagadec, Romain Lagrange, Caroline Martel,

Sébastien Michelin, Florian Moreau, Laurence Perotto,

Christophe Pichon.

PUBLICITÉ France

Directeur de la Publicité : Jean-François Guillotin

(j.f.guillotin@pourlascience.fr)

Tél. : 01 55 42 84 28 • Fax : 01 43 25 18 29

SERVICE ABONNEMENTS

Ginette Bouffaré et Nada Mellouk-Raja. Tél. : 01 55 42 84 04

Abonnement en ligne : <http://www.pourlascience.fr>

Courriel : abonnements@pourlascience.fr

Service des abonnements - 8 rue Férou - 75278 Paris Cedex 06

Commande de livres ou de magazines :

Pour la Science - 628 avenue du Grain d'Or 41350 Vineuil

DIFFUSION DE POUR LA SCIENCE

Contact kiosques : À Juste Titres ; Benjamin Boutonnet

Tel : 04 88 15 12 41

Information/modification de service/réassort :

Magazine disponible sur www.direct-editeurs.fr

Canada : Edipresse : 945 avenue Beaumont, Montréal,

Québec, H3N 1W3 Canada.

Suisse : Servidis : Chemin des châlets, 1979 Chavannes - 2 - Bogis

Belgique : La Caravelle : 303 rue du Pré-aux-Œies - 1130 Bruxelles.

Autres pays : Éditions Belin : 8 rue Férou - 75278 Paris Cedex 06.

SCIENTIFIC AMERICAN

Editor in chief : Mariette DiChristina.

Executive editor : Fred Guterl. Design director : Michael Mrak.

Editors : Ricky Rusting, Philip Yam, Robin Lloyd, Mark Fischetti, Seth

Fletcher, Christine Gorman, Michael Moyer, Gary Stix, Kate Wong.

President : Keith McAllister. Executive Vice President : Michael Florek.

Toutes demandes d'autorisation de reproduire, pour le public

français ou francophone, les textes, les photos, les dessins ou

les documents contenus dans la revue « Pour la Science »,

dans la revue « Scientific American », dans les livres édités par

« Pour la Science » doivent être adressées par écrit à « Pour la

Science S.A.R.L. », 8 rue Férou, 75278 Paris Cedex 06.

© Pour la Science S.A.R.L. Tous droits de reproduction, de tra-

duction, d'adaptation et de représentation réservés pour tous

les pays. La marque et le nom commercial

« Scientific American » sont la propriété de

Scientific American, Inc. Licence accordée à

« Pour la Science S.A.R.L. ».

En application de la loi du 11 mars 1957, il est

interdit de reproduire intégralement ou partiellement

la présente revue sans autorisation de

l'éditeur ou du Centre français de l'exploitation du

droit de copie [20 rue des Grands-Augustins -

75006 Paris].



Maurice Mashaal
rédacteur en chef

En route vers la 5G !

En France, environ 83 % des ménages possèdent au moins une voiture. Pour rouler avec, ils disposent d'un réseau routier de 1 065 000 kilomètres, dont 16 000 kilomètres d'autoroutes. Et les déplacements routiers quotidiens d'une personne mobile représentent près de 55 minutes en moyenne. C'est beaucoup. De fait, les déplacements automobiles occupent aujourd'hui une place si importante que nous avons du mal à imaginer un monde où la « bagnole » aurait disparu !

L'invention des véhicules motorisés, leur démocratisation et la construction de routes de troisième et quatrième générations (les routes asphaltées et les autoroutes, après les chemins muletiers puis les voies romaines) ont largement contribué à l'essor économique du XX^e siècle. Cela a aussi apporté une formidable liberté

De la technologie pour des routes en phase avec leur époque.

aux individus, qui pouvaient désormais parcourir des centaines de kilomètres en quelques heures pour aller où bon leur semblait.

Mais il n'y a pas eu que des bienfaits. Bruit, pollution atmosphérique, accidents, destruction des paysages, encombrements ont assombri le tableau. Une situation aggravée par une certaine conception de l'urbanisme et de l'aménagement du territoire : l'un des effets délétères de la division de l'espace en cités résidentielles, centres commerciaux, quartiers d'affaires, campus, etc. a été une augmentation considérable de la mobilité contrainte.

Cependant, les scientifiques et les industriels nous préparent un avenir routier plus rose. Les techniques qu'ils développent rendront prochainement les routes silencieuses, écologiques, sûres, fluides, peu gourmandes en ressources... (voir pages 26 à 35). Ces routes de cinquième génération seront en phase avec leur époque. Au service d'une mobilité raisonnée et libre ? ■

3 Édito

Actualités

- 6 Comment l'embryon se replie
- 8 Ces gènes qui ont fait pousser notre cerveau
- 11 Énergie sombre : des modèles quasiment éliminés
- 13 Des rides hexagonales ou labyrinthiques



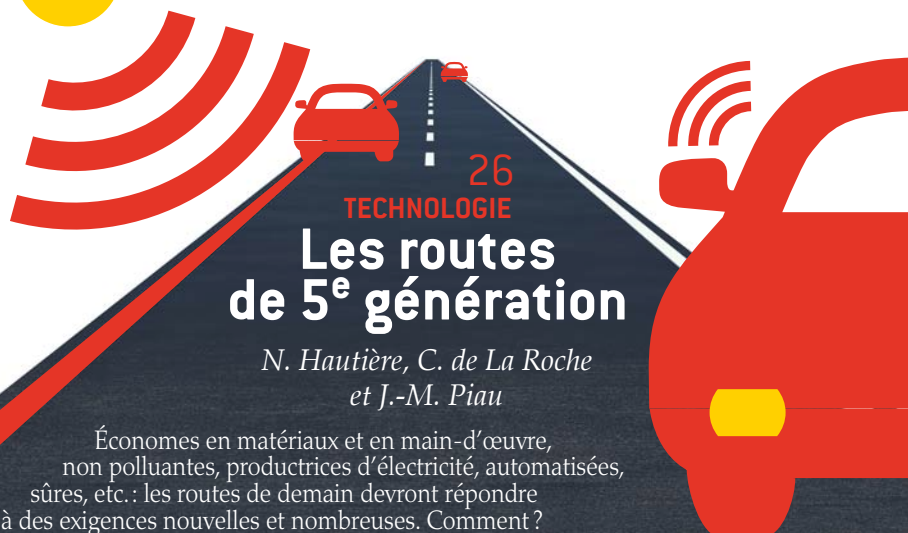
Retrouvez plus d'actualités sur www.pourlascience.fr

Réflexions & débats

- 14 **Point de vue**
Comment rendre utiles les débats publics
Michel Callon
- 16 **Entretien**
« L'hygiène lumineuse est essentielle, au même titre que l'hygiène alimentaire »
Claude Gronfier
- 20 **Lu sur SciLogs.fr**
Le cœur délaissé de la science
Richard Taillet
- 23 **Homo sapiens informaticus**
Pourquoi les informaticiens rêvent d'immortalité
Gilles Dowek
- 24 **Cabinet de curiosités sociologiques**
Radicalisation djihadiste : attention aux probabilités
Gérald Bronner

Ce numéro comporte deux offres d'abonnement spéciales en p. 21 et 95.
En couverture : © Ivor Strelar/shutterstock ; Pour la science

À LA UNE



Les routes de 5^e génération

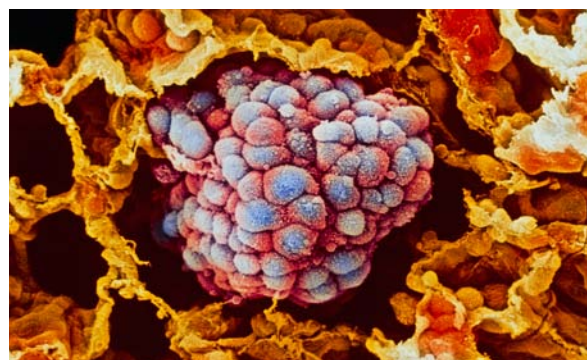
N. Hautière, C. de La Roche et J.-M. Piau

Économes en matériaux et en main-d'œuvre, non polluantes, productrices d'électricité, automatisées, sûres, etc. : les routes de demain devront répondre à des exigences nouvelles et nombreuses. Comment ?

36 MÉDECINE Cancer : ces cellules qui perdent le contact

Jean-Pascal Capp

Et si la cause première des cancers n'était pas une altération des gènes, mais un défaut de communication de cellules avec leur environnement ? Rétablir le contact pallierait les limites des thérapies actuelles.



44 PSYCHOLOGIE Le bonheur est dans la maîtrise de soi

Terrie Moffitt, Richie Poulton et Avshalom Caspi

On vit mieux quand on sait se contrôler dès l'enfance. C'est ce que suggère le suivi de milliers de personnes depuis la naissance. Faut-il alors entraîner les enfants à la maîtrise de soi dès leur plus jeune âge ?

52 **GÉOPHYSIQUE** Quand l'eau met le feu aux volcans

Michel Detay

Lorsque le magma remonte des profondeurs de la Terre, l'eau qu'il contient se transforme en vapeur. L'énorme volume occupé alors par ce gaz explique pourquoi les éruptions volcaniques sont avant tout une histoire d'eau.



62 **ASTROPHYSIQUE** Quelle est notre place dans l'Univers ?

Caleb Scharf

Pour savoir si la vie existe ailleurs dans l'Univers, il faut considérer les conditions de son émergence sur Terre : sont-elles très particulières, ou au contraire très communes ? La réponse est probablement entre les deux.

68 **HISTOIRE DES SCIENCES** L'animal, une colonie d'organismes ?

Stéphane Schmitt

Au XIX^e siècle, des naturalistes proposèrent qu'à l'image des coraux ou des salpes, les animaux soient constitués d'organismes plus petits. Cette théorie coloniale s'est perpétuée jusqu'à aujourd'hui.



© Pour la Science - n° 450 - Avril 2015

Rendez-vous

78 **Logique & calcul**

De l'art avec les fractales

Jean-Paul Delahaye

L'exploration de l'univers mathématique des fractales avec un ordinateur est un art analogue à la découverte esthétique du monde avec un appareil photo.

86 **Science & fiction**

Tempête de sable sur Dune

J. Sébastien Steyer et Roland Lehoucq

88 **Art & science**

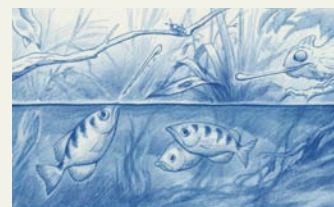
Artistes et climat : des relations qui se réchauffent

Loïc Mangin

90 **Idées de physique**

Le tireur embusqué des mangroves

Jean-Michel Courty et Édouard Kierlik



93 **Question aux experts**

Les enfants surdoués sont-ils plus anxieux ?

Nicolas Gauvrit

94 **Science & gastronomie**

De l'ail noirci ou bleui

Hervé This

96 **À lire**

98 **Bloc-notes**

Les chroniques de Didier Nordon

Aussi en numérique !

POUR LA
SCIENCE.fr

Archives
depuis 1996



Application
Smartphone et Tablette



Suivez-nous sur les réseaux sociaux



Actualités

Biologie du développement

Comment l'embryon se replie

Les premiers stades du développement des vertébrés s'apparentent à un jeu de pliage selon des pointillés.

Le développement précoce de l'embryon, pure biologie ou mécanique ? Depuis quelques années, les preuves s'accumulent en faveur d'un mélange des deux. Diverses équipes ont découvert que les contraintes mécaniques jouent un rôle important dans le modelage des tissus au cours de l'embryogenèse. Notamment, en 2009, Emmanuel Farge, de l'Institut Curie à Paris, et son équipe ont montré que des déformations mécaniques d'un embryon de drosophile entraînent l'expression de gènes du développement.

Toutefois, comment tout cela commence-t-il ? La première impulsion est-elle mécanique ou biologique ? Pour enquêter sur cette question digne du paradoxe de l'œuf et de la poule, trois physiciens et un biologiste ont scruté les premiers moments d'un embryon... de poulet. Ils ont ainsi montré qu'un mécanisme physique simple, une sorte de jeu de pliage selon des pointillés, transforme en une étape la petite masse informe de cellules des premiers instants en une organisation complexe de tissus distincts bien délimités.

Les études sur le sujet se concentraient sur la drosophile, la grenouille et la souris, tous manipulables génétiquement, mais dont les embryons en développement étaient difficiles à filmer à cause du caractère tridimensionnel des mouvements. Plat comme une omelette, l'embryon de poulet des premières heures est suffisamment mince pour que l'on puisse suivre au microscope les mouvements des cellules qui le constituent. Vincent Fleury, du laboratoire Matière et systèmes



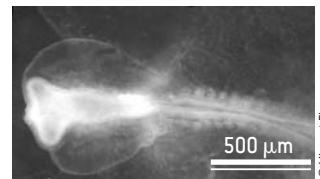
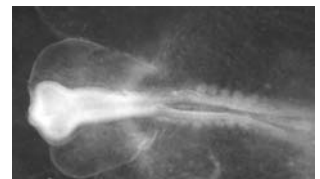
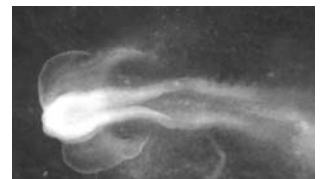
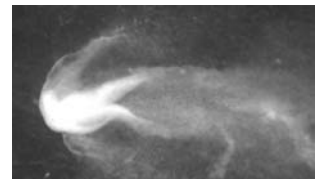
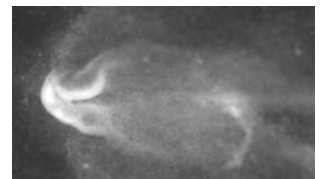
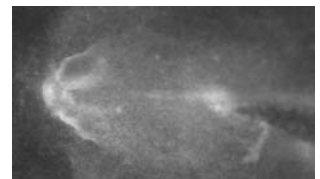
Au tout début de son développement, l'embryon de poulet se replie sur lui-même et délimite le tube neural (à droite, de haut en bas, images séparées de 100 minutes). Ci-dessus, l'embryon dix jours plus tard.

complexes (CNRS/Université Paris Diderot), et ses collègues ont ainsi filmé son développement pendant plusieurs heures et distingué les groupes de cellules qui le composent.

Au départ, l'embryon est un disque formé d'anneaux concentriques de cellules : un anneau périphérique avec de grandes cellules, un anneau intermédiaire avec des cellules moyennes et un disque central avec de petites cellules. Puis, au fil des heures, le disque se replie sur lui-même selon un axe (qui sera celui de l'animal), jusqu'à former le tube neural, qui donnera naissance à l'encéphale et à la moelle épinière. En suivant chaque anneau de cellules, Vincent Fleury et ses collègues

ont montré que non seulement ces domaines conduisent à des tissus différents (nerveux, musculaire, digestif, etc.), mais que la frontière entre deux domaines se plie dès le deuxième jour de développement.

La différence de taille des cellules d'un anneau à l'autre crée une différence de rigidité entre les deux domaines (plus les cellules sont petites, plus le domaine est rigide). Les frontières entre domaines constituent donc des discontinuités (les pointillés du pliage) où des plis se forment lorsqu'une force adéquate est appliquée. D'où vient cette force ? De la migration des cellules au fur et à mesure de leurs divisions, migration qui allonge peu à peu l'embryon. D'ailleurs, si



© Vincent Fleury

Médecine

Maladie de Lyme : une épidémie sournoise

Les cas de maladie de Lyme, transmise par des tiques, sont en augmentation dans de nombreux pays. Christian Perronne, qui dirige le Département d'infectiologie à l'hôpital de Garches, nous explique pourquoi cette affection bactérienne est sous-diagnostiquée.

les chercheurs étirent eux-mêmes l'embryon, ils obtiennent les mêmes repliements.

Alors, qui a commencé ? Si la biologie est certes un déclencheur par les divisions cellulaires qu'elle produit, la mécanique agit elle aussi dès le début du développement. Mieux, à elle seule, elle expliquerait à la fois comment l'embryon acquiert sa forme et comment les cellules s'organisent en domaines spécialisés au stade précoce du développement.

Mais les interactions de la biologie et de la mécanique dans le développement embryonnaire sont encore loin d'être toutes comprises. Encore récemment, l'équipe de Magali Suzanne, du Laboratoire de biologie cellulaire et moléculaire du contrôle de la prolifération (CNRS/Université de Toulouse), a établi un lien inattendu entre les deux. En étudiant la formation du bourgeon de patte d'une drosophile, elle a montré que la mort programmée des cellules, l'apoptose, y joue un rôle mécanique clé.

On pensait que l'apoptose participait à la formation des structures par la réorganisation passive des cellules comblant les « trous » laissés. Les biologistes ont montré que les cellules mourantes ont un rôle actif : une sorte de dernier soubresaut les fait exercer une force sur leurs voisines *via* leurs jonctions, ce qui augmente la tension cellulaire. La synergie de plusieurs cellules apoptotiques dans un domaine restreint permet ainsi, elle aussi, la formation d'un pli. En biologie, la question de l'œuf et de la poule se poserait donc à toutes les étapes du développement...

Marie-Neige Cordonnier

V. Fleury et al., Eur. Phys. J. E., 12 février 2015 ; B. Monier et al., Nature, 21 janvier 2015

Qu'est-ce que la maladie de Lyme ?

Christian Perronne : La borréliose de Lyme tient son nom de la petite ville du Connecticut aux États-Unis, où l'on a découvert vers 1975 *Borrelia burgdorferi*, une bactérie transmise par les tiques. Elle présente le même tableau clinique de fièvres récurrentes, de douleurs articulaires et de problèmes cardiaques que nombre de maladies auto-immunes, et c'est pourquoi beaucoup de patients ne sont pas diagnostiqués.

On ne les teste pas ?

C. P. : Si, mais la sérologie n'est pas fiable. Outre le fait que les tests ont été développés pour identifier la souche américaine historique de *B. burgdorferi*, le seuil de détection a été fixé comme si la borréliose de Lyme était une maladie rare. En effet, lors de la mise au point du test, on n'a pas pu disposer d'un groupe témoin fiable, puisque le tableau clinique de Lyme évoque d'autres maladies. Résultat : à Boston, un groupe d'experts a fixé le seuil de détection en fonction de la prévalence plausible il y a 30 ans, soit 5 % maximum. Cela n'a plus aucun sens aujourd'hui.

Pourquoi ?

C. P. : Parce que, depuis, les recherches ont montré que plusieurs espèces du genre *Borrelia* provoquent des maladies similaires, dites de type Lyme. Bon nombre des personnes qui les ont contractées ne sont pas diagnostiquées.

Que leur arrive-t-il ?

C. P. : La maladie se développe, devient cyclique et la vie des patients se détériore, tandis qu'ils errent d'un médecin à l'autre. On finit souvent par les orienter vers des psychiatres censés les aider à maîtriser leurs troubles psychosomatiques...



Christian Perronne, hôpital de Garches

Que fait-on lorsque la maladie est diagnostiquée ?

C. P. : Si elle l'est à la phase primaire de l'érythème migrant – une éruption cutanée circulaire – ou peu après, une antibiothérapie de deux ou trois semaines éliminera la bactérie ; sinon, il faut parfois plusieurs mois de traitement, sans certitude de réussite. Dans mon expérience, environ 20 % des patients atteints d'une maladie de Lyme chronique guérissent ; 60 % voient leur état s'améliorer fortement ; environ 20 % ne guérissent pas.

Le nombre de cas de borréliose de Lyme explose-t-il ?

C. P. : Il augmente beaucoup, et même officiellement, puisque sa prévalence officielle en France est passée en quelques années de 9 à 43 cas pour 100 000 habitants.

Comment cela s'explique-t-il ?

C. P. : D'une part par une prise de conscience de cette maladie : les patients, qui s'organisent, tentent de se faire entendre, et les médecins y pensent davantage. L'augmentation de la prévalence peut par ailleurs être liée à l'explosion des populations de cervidés, qui alimentent des tiques porteuses de *Borrelia*.

Comment pourrait-on améliorer la situation ?

C. P. : En commençant par en prendre la vraie mesure. Pour cela, il faut mieux détecter. Dans ce domaine, les vétérinaires ont beaucoup d'avance sur les biologistes médicaux. Murielle Vayssier, de l'École vétérinaire de Maisons-Alfort, emploie une méthode d'amplification génique (PCR) pour identifier les microbes. Sans doute est-ce là une des techniques utiles pour développer des tests diagnostiques humains plus fiables, afin de mieux détecter et de soigner plus tôt.

Les borrélioses sont-elles donc une nouvelle épidémie ?

C. P. : Une épidémie oui, mais nouvelle, non : mort il y a plus de 5000 ans, Cetz, l'homme des glaces, était atteint d'une borréliose. La bactérie qu'il portait avait 60 % de gènes en commun avec les *Borrelia* actuelles. Nous sommes dans une guerre ancienne face à un ennemi qui s'adapte en permanence !

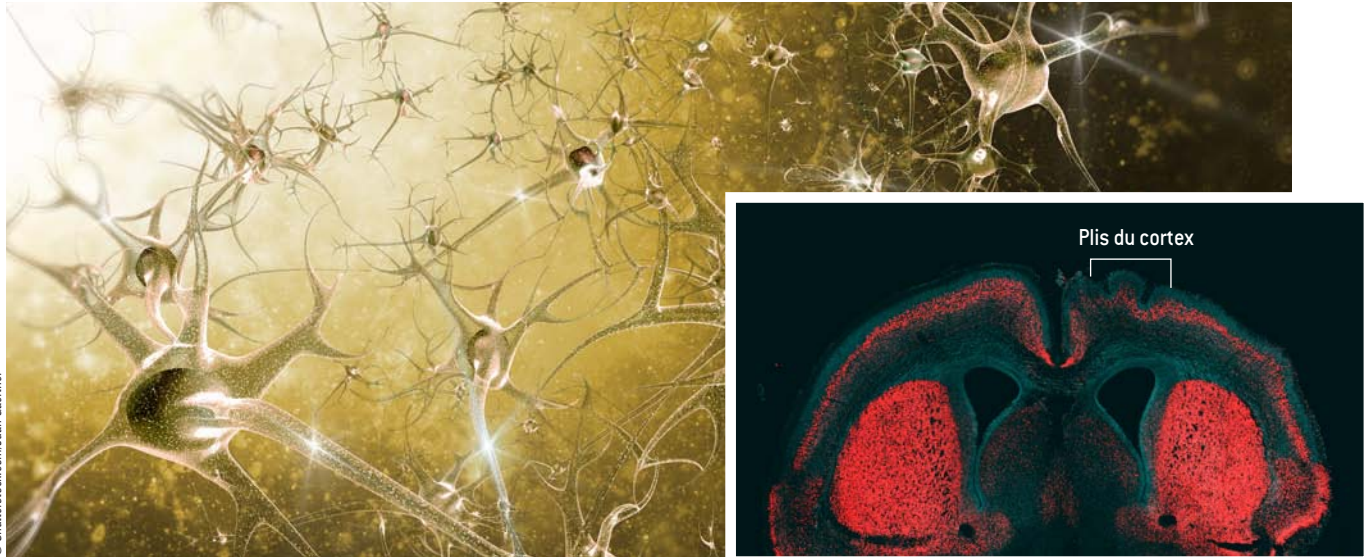
François Savatier

C. Perronne, Front. in CIB, 2014

Neurobiologie

Ces gènes qui ont fait pousser notre cerveau

Des biologistes ont découvert l'un des gènes qui seraient responsables de l'expansion du cortex cérébral humain, siège de nombreuses fonctions cognitives supérieures.



Le gène *ARHGAP11B* amplifie la multiplication des neurones corticaux. Des souris qui en sont dotées voient leur cortex s'étendre au point de commencer à se plisser (à droite; le gène n'est exprimé que dans l'hémisphère droit).

3 000

neurones

se forment chaque seconde
chez un fœtus humain
âgé de trois à cinq mois.

Dans le règne animal, l'homme a la grosse tête : son cerveau, particulièrement volumineux pour sa taille, lui confère des capacités cognitives inégalées. Marta Florio, de l'Institut Max Planck à Dresde, en Allemagne, et ses collègues ont découvert l'un des gènes qui auraient déclenché l'expansion du cortex – la couche externe du cerveau, impliquée dans de multiples fonctions cognitives supérieures.

Au cours de l'évolution, le cortex humain s'est considérablement étendu. C'est dans cette zone que naissent les associations d'idées, l'imagination, la pensée abstraite... Notre cortex ne mesure que deux à quatre millimètres d'épaisseur, mais il a une telle superficie qu'il doit se replier dans tous les sens pour tenir dans la boîte crânienne. C'est l'origine de l'aspect plissé de l'encéphale.

De multiples travaux portent sur l'identification des gènes responsables de notre gros cerveau. Ils consistent souvent à comparer le génome de l'espèce humaine à celui du chimpanzé, son plus proche cousin. Plusieurs séquences génétiques qui nous sont propres ont ainsi été mises

en évidence, tel le gène *ASPM*, qui influe sur la taille du cerveau.

Marta Florio et ses collègues ont traqué plus précisément les gènes responsables de l'expansion du cortex. Ils ont ciblé des gènes propres à l'espèce humaine et ont analysé leur expression à un moment clé de la maturation du fœtus, autour du quatrième mois après la fécondation : au cours de cette période, un véritable big-bang cérébral se produit, avec la formation de plus de 3000 nouveaux neurones par seconde !

Les biologistes ont trouvé que le gène *ARHGAP11B* était exprimé à ce moment dans des cellules cérébrales dites progénitrices, ancêtres des neurones. Ce gène, présent aussi chez l'homme de Néandertal, serait apparu peu après la divergence avec les chimpanzés. Est-il impliqué dans l'explosion cérébrale constatée au cours du développement du fœtus ?

Pour le confirmer, les chercheurs ont transplanté le gène *ARHGAP11B* à des souris. Ils ont constaté qu'il était exprimé chez ces rongeurs à un stade de développement équivalent et qu'il

décuplait la formation des cellules progénitrices, entraînant une augmentation de la densité neuronale et une expansion du cortex. Ce dernier, habituellement lisse chez la souris, commençait même à former des plis !

Le « gène de gros cerveau » humain implanté aux souris leur a-t-il conféré des capacités cognitives impressionnantes ? Les biologistes ne l'ont pas testé, leur objectif n'étant que d'analyser la formation structurelle du cerveau *in utero*. Eric Lewitus, l'un des auteurs de l'étude, souligne la difficulté de faire des prédictions dans ce domaine, en particulier à partir d'un seul paramètre cérébral, telle la densité neuronale : « Le cerveau des primates a bien plus de neurones par unité de volume que celui des cétacés, tels que les dauphins et les baleines, mais les primates ne sont pas plus intelligents que les cétacés en moyenne », précise-t-il. Quoi qu'il en soit, le gène *ARHGAP11B* semble bien contribuer à la spécificité de notre cerveau.

Guillaume Jacquemont

M. Florio et al., *Science*,
en ligne le 26 février 2015

Climatologie

Une forêt fossile au large de l'Angleterre

Le changement climatique ? Un phénomène qui rendra le climat européen plus doux, mais qui risque, à long terme, de changer le trait de côte de nombreux pays. Dawn Watson vient de faire au large du Norfolk, en Angleterre, une découverte qui l'illustre de façon frappante, mais avec les effets d'un changement climatique... passé.

Membre de *Sea Search*, une association britannique de protection de l'environnement marin, cette plongeuse s'est récemment aventurée à quelque 300 mètres de la côte afin d'y examiner l'état des fonds, que de très fortes tempêtes ont bouleversés en 2013. Étonnée d'apercevoir au loin une « barrière noire », elle s'en est approchée et a découvert avec surprise qu'il s'agissait d'un amas d'énormes arbres fossilisés, jetés sur le fond comme s'ils avaient été abattus. Certains, des chênes, avaient encore des branches longues de plusieurs mètres.

Selon Julian Andrew de l'Université d'Est-Anglie, la



Dawn Watson/Sea Search

Les plongeurs de l'association anglaise *Sea Search* ont constaté que le bois fossile submergé est particulièrement apprécié des organismes marins, car ils peuvent s'y accrocher bien mieux que sur le sable.

datation de bois fossile qui avait été trouvé à proximité suggère que cette forêt engloutie daterait de quelque 10 000 ans, c'est-à-dire du début de l'Holocène. Le niveau de la mer était alors environ 30 à 35 mètres plus bas (la mer n'a atteint son niveau actuel qu'il y a environ 6 000 ans, avec le réchauffement du climat).

D'après les plongeurs qui les ont observés, les arbres sont disposés comme s'ils avaient été abattus par un tsunami

d'environ cinq mètres de haut. Cette catastrophe aurait parachevé les milliers d'années de conquête du « Doggerland » par la mer du Nord.

Nommée d'après un banc de sable sous-marin, cette immense région occupait l'espace reliant aujourd'hui l'Angleterre aux Pays-Bas, à l'Allemagne et au Danemark. Le changement climatique d'il y a 10 000 ans l'a entièrement fait disparaître.

F. S.

Des chiens si humains

Les propriétaires de chiens l'affirment, la science le confirme : le meilleur ami de l'homme sait reconnaître nos émotions ! Corsin Müller, de l'Université de médecine vétérinaire de Vienne, et ses collègues ont entraîné des chiens en associant une récompense à un visage humain joyeux ou énervé sur des vidéos. Par la suite, les animaux étaient capables de distinguer l'une ou l'autre de ces émotions, même sur des parties de visages qu'ils n'avaient jamais vues.

Drapeaux piézoélectriques

Les matériaux piézoélectriques convertissent les actions mécaniques en électricité. Une façon de les utiliser serait d'en fixer sur des plaques flexibles qui ondulent grâce au vent, tels des drapeaux. Yifan Xia, de l'École polytechnique, et ses collègues ont optimisé le rendement du système en le connectant à un circuit électrique résonant. Ils ont obtenu une synchronisation du battement du drapeau avec la fréquence de résonance du dispositif électrique, d'où un transfert énergétique optimal.

Biologie animale

Un venin riche en insuline

Les cônes, gastéropodes marins, sont connus pour la diversité des venins qu'ils sécrètent. Il s'agit généralement de neurotoxiques qui s'attaquent au système neuromusculaire de leurs victimes et les paralysent. Le venin est souvent injecté au moyen d'une radula – une sorte de langue munie de dents – modifiée en harpon.

Une autre technique observée est la pêche « au filet ». Le cône dilate de façon exagérée son rostrum, une fausse bouche, qui ressemble alors à un filet de pêche. Or les poissons ne semblent pas se méfier du cône et se laissent avaler. Les chercheurs ont soupçonné

les cônes de diffuser dans l'eau une substance qui provoque un état léthargique chez la proie. Baldomero Olivera, de l'Université de l'Utah, et ses collègues ont découvert que c'est bien la stratégie adoptée par deux espèces de cônes, *Conus geographus* et *Conus tulipa*. Leur cocktail de neurotoxiques contient un ingrédient unique : de l'insuline !

Chez les vertébrés, l'insuline est produite dans les cellules bêta du pancréas. Elle régule la concentration de glucose dans le sang. Ainsi, les personnes atteintes de diabète de type 1 n'ont plus de cellules bêta et ne produisent donc pas d'insuline.

Elles doivent alors s'en injecter pour contrôler leur glycémie. Cependant, un excès d'insuline provoque une hypoglycémie. C'est ce qui arrive à la proie du cône plongée dans un état léthargique.

Il faut aussi noter que les vertébrés et les invertébrés ne synthétisent pas le même type d'insuline pour leur métabolisme. Or la forme particulière utilisée comme poison par *C. geographus* et *C. tulipa* est plus proche de celle des poissons que de celle des gastéropodes, ce qui en assure l'efficacité.

Sean Bailly

H. Safavi-Hemami et al., *PNAS*, en ligne le 20 janvier 2015



© J. San Biago et Baldomero Olivera

Le venin du cône contient de l'insuline qui provoque une hypoglycémie chez la proie. Cette dernière est alors ralentie. Le cône en profite pour l'attraper avec son rostrum étiré.

Vulnérable au stress ?

Nous ne résistons pas tous aussi bien au stress. Johnna Swartz, de l'Université Duke, et ses collègues ont montré que la réactivité de l'amygdale, une plaque tournante des émotions dans le cerveau, est révélatrice de la vulnérabilité de chacun. Les chercheurs ont présenté des visages exprimant la colère ou la frayeur à 750 étudiants, qu'ils ont ensuite suivis pendant quelques années. Plus l'amygdale des sujets s'était activée lors de l'expérience, plus ils avaient eu du mal à gérer les difficultés par la suite.

L'art de ne pas renverser

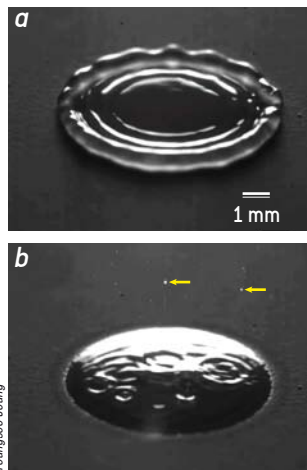
Pourquoi est-il plus facile de se déplacer avec un verre de bière qu'avec un café sans verser de liquide ? Alban Sauret, de l'Unité mixte de recherche 125 CNRS/Saint-Gobain à Aubervilliers, et ses collègues ont étudié l'impact de la mousse dans le ballonnement – le mouvement du liquide quand le récipient est déplacé brusquement ou soumis à une vibration périodique. La mousse a un comportement visqueux sur les parois, ce qui dissipe l'énergie et amortit le mouvement. Un résultat peut-être utile pour réduire le ballonnement dans les camions-citernes ou les navires.

BICEP2 et Planck

En 2014, les physiciens de l'expérience BICEP2 pensaient avoir la preuve de l'existence d'ondes gravitationnelles dans l'Univers primordial. Ce résultat était le fruit d'une analyse du rayonnement du fond diffus cosmologique. Mais pour d'autres chercheurs, la conclusion était erronée car la contribution des poussières galactiques donnant un signal similaire n'avait pas été bien estimée. En mettant en commun leurs données, les équipes du satellite Planck et de BICEP2 ont définitivement attribué l'origine du signal aux poussières. Effacées, les ondes primordiales !

Physique

L'odeur de la pluie transportée par des aérosols



Ces images prises avec une caméra ultrarapide montrent une goutte d'eau qui s'écrase sur une surface poreuse [a] et la formation d'aérosols [indiqués par les flèches jaunes, b].

Après une chaude journée, l'averse s'accompagne souvent d'une odeur de terre particulière, nommée péttrichor par deux chercheurs australiens en 1964. Mais comment exactement les molécules du sol parviennent-elles à nos narines ? Young Soo Joung et Cullen Buie, de l'Institut de technologie du Massachusetts (MIT) aux États-Unis, ont étudié avec une caméra ultrarapide ce qui se passe quand les gouttes s'écrasent sur un sol poreux.

Lorsqu'une goutte arrive au contact du sol, de petites bulles d'air se retrouvent piégées à l'interface sol-eau. Ces bulles remontent par poussée d'Archimède, puis éclatent en atteignant la surface de la goutte. Elles libèrent alors un jet de fines gouttelettes d'eau : des aérosols.

Par ce processus, des molécules du sol pourraient être emportées, ce qui expliquerait la diffusion du péttrichor après l'averse. Les aérosols pourraient aussi entraîner des bactéries et des virus présents dans la terre, et ainsi avoir un effet sur la propagation de maladies ?

En milieu naturel, il est possible que les nombreuses gouttes de l'averse absorbent une grande part des aérosols libérés dans l'air. Les chercheurs doivent encore estimer la part des aérosols qui subsistent. En outre, il reste à évaluer si ces aérosols ont une diffusion locale ou plus étendue et, le cas échéant, s'ils ont un rôle global sur l'environnement.

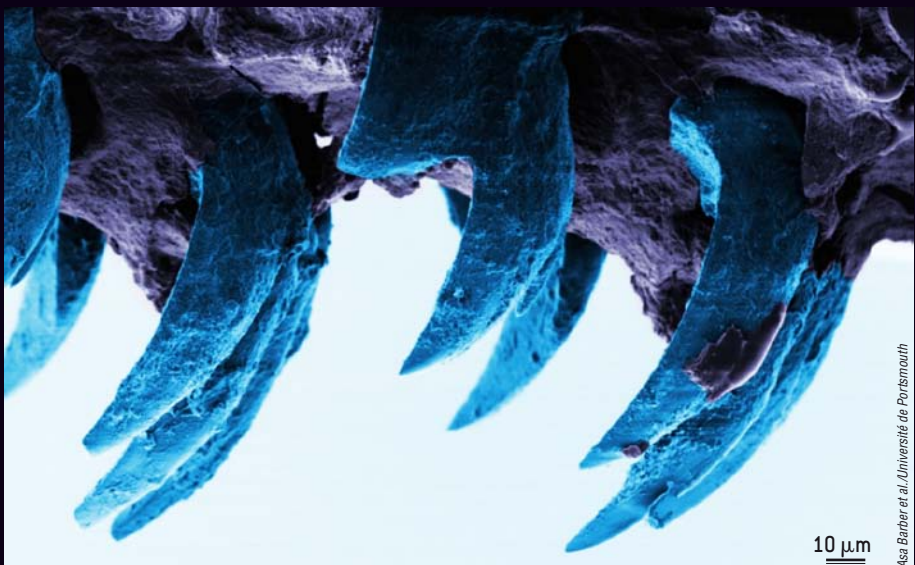
S. B.

Nature Communications, en ligne le 14 janvier 2015

Insolite

Les dents des patelles, un record de robustesse

Les dents des patelles – des gastéropodes à la coquille conique – seraient constituées du matériau biologique le plus résistant connu à ce jour, d'après l'équipe d'Asa Barber de l'Université de Portsmouth. Ces chercheurs ont étudié la composition des dents au microscope à force atomique : le matériau allie une matrice de chitine souple à des nanofibres de goethite, un minéral riche en fer.



Cosmologie



Énergie sombre : des modèles quasiment éliminés

Des observations astronomiques et des expériences en laboratoire conduisent à des contraintes sévères sur une famille de modèles d'énergie sombre.

L'énergie sombre est l'une des grandes énigmes de la cosmologie moderne. Elle représente près de 70 % de la densité d'énergie de l'Univers et explique l'accélération de l'expansion de ce dernier, mais sa nature est inconnue. Deux expériences, menées l'une par l'équipe de Wim Ubachs, de l'Université libre d'Amsterdam, l'autre par des physiciens de l'Université de Californie à Berkeley et Justin Khoury, de l'Université de Pennsylvanie, permettent d'avancer un peu. Elles imposent de fortes contraintes sur un type de théories imaginées pour rendre compte de l'énergie sombre : les modèles où elle est sous la forme d'un champ scalaire, et en particulier les modèles dits caméléons.

De façon générale, les champs scalaires sont associés à des particules scalaires (c'est-à-dire de spin nul) qui interagissent avec la matière ordinaire et influent sur ses caractéristiques. Une conséquence possible de cette interaction est une variation du rapport des masses du proton et de l'électron au cours de l'histoire de l'Univers. Pour tester cette possibilité, les astrophysiciens mesurent le spectre

électromagnétique émis par de lointains quasars. Leur lumière traverse des nuages de gaz et des galaxies où elle est en partie absorbée en excitant des molécules de dihydrogène. Le spectre est alors marqué par des raies sombres à des fréquences spécifiques liées à cette absorption. La position de ces raies dépend notamment du rapport des masses du proton et de l'électron. Ainsi, en analysant les raies spectrales du quasar lointain J1443+2724, observé en 2004 et en 2013 au VLT, au Chili, Wim Ubachs et ses collègues ont montré que le rapport des masses n'a pas varié depuis 12,4 milliards d'années au moins.

Une deuxième contrainte porte sur les modèles scalaires dits caméléons. Dans ces modèles, le champ interagit avec la matière ordinaire sous la forme d'une cinquième « force » qui dépend de la densité de matière environnante. Si la densité est faible, la force se manifeste à longue portée et explique l'accélération de l'expansion de l'Univers. Si la densité locale est importante, la portée de l'interaction est si petite qu'elle ne serait pratiquement pas mesurable.

En août 2014, Clare Burrage, de l'Université de Nottingham, et ses collègues ont suggéré de tester ce scénario avec des atomes isolés et placés sous vide pour simuler un environnement où la densité est très faible.

L'expérience a été réalisée par Justin Khoury et ses collègues. Ils ont utilisé un interféromètre atomique, avec des atomes de césium sous vide poussé. Une sphère d'aluminium devait annuler la cinquième force sur l'un des deux parcours suivis par les atomes avant d'interférer. Les chercheurs ont montré que la présence ou l'absence de la sphère ne modifie pas l'interférence, et donc que la cinquième force est soit inexistante, soit d'intensité insuffisante pour expliquer l'expansion accélérée de l'Univers.

Ces expériences n'excluent pas définitivement les modèles en question, mais la marge de manœuvre de ces derniers pour expliquer la nature de l'énergie sombre s'est fortement réduite.

S. B.

J. Bagdonaitė et al., *Phys. Rev. Lett.*,
vol. 114, 071301, 2015
P. Hamilton et al., 13 février 2015,
<http://arxiv.org/abs/1502.03888>

Le VLT (*Very Large Telescope* ou *Très grand télescope*) de l'Observatoire européen austral est situé au Chili. Pour étudier la lumière des quasars, l'équipe de Wim Ubachs a utilisé le spectrographe ultraviolet et visible UVES (*Ultraviolet and Visual Echelle Spectrograph*).

Un rongeur qui fait peur

Pourquoi le lemming norvégien a-t-il des couleurs criardes ? Ces couleurs sont-elles un vestige hérité de ses ancêtres, sans intérêt particulier pour sa survie, ou éloignent-elles les prédateurs en faisant office de panneau « Attention danger ! » ? Malte Andersson, de l'Université de Göteborg en Suède, soutient la seconde hypothèse. En l'étudiant dans la nature, il a montré que le lemming norvégien est plus agressif que le lemming brun commun et moins enclin à se cacher devant une menace.

Pourquoi le corn fait pop

Emmanuel Viot, de l'École polytechnique, et Alexandre Ponomarenko, de l'Université de Grenoble, ont étudié la transformation du maïs en popcorn. Lorsqu'on chauffe le grain de maïs, l'eau qu'il contient bout. À 180 °C, la vapeur crée une pression telle que l'enveloppe se fissure. Cette fracture laisse s'échapper le gaz, créant une forte dépression qui produit une résonance acoustique dans le morceau de popcorn, le « pop ». De cette fissure sort aussi un morceau d'amidon qui propulse le petit bout de maïs, en agissant comme un levier.



© Mathieu Bélanger-Morn

Une coccinelle *Coleomegilla maculata* protégeant le cocon d'une larve de guêpe *Dinocampus coccinellae*, sur une feuille de maïs.

Astrophysique

Un rendez-vous stellaire manqué de peu !

Il y a 70 000 ans, l'« étoile de Scholz » est passée à seulement 0,8 année-lumière du Soleil, d'après l'équipe dirigée par Eric Mamajek, de l'Université de Rochester aux États-Unis. À l'échelle de la Galaxie, cette distance est petite et l'événement rare. En comparaison, l'étoile la plus proche de nous, Proxima du Centaure, est à 4,22 années-lumière et une telle rencontre n'a lieu que tous les 9 millions d'années en moyenne.

L'étoile de Scholz est en réalité un système binaire découvert en 2013 par l'astronome Ralf-Dieter Scholz grâce aux observations du télescope spatial *Wise* (*Wide-field Infrared Survey Explorer*) de la Nasa. Elle est composée d'une étoile naine rouge et d'une naine brune.

C'est en reconstruisant la trajectoire de l'étoile binaire que les astronomes ont découvert quand et à quelle distance avait eu lieu le rendez-vous stellaire. En effet,



L'étoile de Scholz est un système binaire constitué d'une naine brune (en premier plan) et d'une naine rouge (en second plan). Elle a frôlé le Système solaire il y a 70 000 ans.

ce système binaire s'éloigne de nous à grande vitesse (77,6 kilomètres par seconde), mais ne se déplace que très peu latéralement dans le ciel, comme s'il nous fuyait. Les chercheurs ont ainsi montré que l'étoile binaire a frôlé le Soleil et qu'elle a dû traverser le nuage de Oort, un grand réservoir de comètes qui entoure le Système solaire.

D'après Eric Mamajek, le passage de l'étoile aurait peu

perturbé le nuage de Oort, parce qu'il a été rapide et parce que ce système binaire est très peu massif. Mais par le passé, d'autres étoiles plus massives auraient traversé le nuage de Oort en déstabilisant les comètes, une possible explication de certains épisodes de bombardement intense des planètes situées au cœur du Système solaire.

S. B.

E. E. Mamajek et al., *Astrophysical Journal Letters*, vol. 800, L17, 2015

Biologie animale

Une coccinelle manipulée grâce à un virus

Les cas de parasites qui prennent le contrôle du comportement de leur hôte sont fréquents dans la nature. Mais avec la coccinelle *Coleomegilla maculata*, le cas est particulier : lorsque la larve de la guêpe parasitoïde *Dinocampus coccinellae* sort de l'abdomen de la coccinelle parasitée, cette dernière la protège de son corps. Pourtant, le parasite n'est alors plus en contact avec son hôte. Comment dès lors manipule-t-il le comportement de sa victime ?

En comparant le matériel génétique des deux espèces au cours des différentes étapes de leur interaction, Nolwenn Dheilly,

du laboratoire Écologie et évolution des interactions de Perpignan, et ses collègues ont trouvé la réponse. Un troisième acteur intervient : un virus transmis par la guêpe à la coccinelle !

Ce virus s'active quand la guêpe pond un œuf dans l'abdomen de la coccinelle. Il se réplique abondamment pendant le développement de la larve et contamine son hôte. Il agit sur le système nerveux de l'insecte et provoque sa dégénérescence, associée à une certaine paralysie. La coccinelle se retrouve ainsi contrainte à rester au-dessus de la larve qui, entre-temps, s'est extraite de l'abdomen et s'est

construit un cocon entre les pattes de son garde du corps.

La guêpe *D. coccinellae* est le premier organisme parasite connu à ce jour utilisant un virus comme arme biologique pour manipuler le comportement de son hôte. Quant à la coccinelle, après le départ de la larve devenue adulte, elle s'active à son tour : après le malheureux épisode infectieux, ses tissus nerveux se réparent et le virus est éliminé, ce qui lui permet de continuer sa vie. Avec peut-être une légère douleur à l'abdomen ?

Bastien Baudry

N. M. Dheilly et al., *Proc. Roy. Soc. B Biol. Sci.*, en ligne le 11 février 2015

Mathématiques

Des rides hexagonales ou labyrinthiques

La formation de plis sur des surfaces courbes résistait à la modélisation mathématique. Une nouvelle approche a permis de préciser ce qui détermine les motifs observés.

Quand un grain de raisin se dessèche, sa peau se ride. Le même type de sillons sinueux apparaît dans les empreintes digitales, car un processus similaire est à l'œuvre. Ce mécanisme produit aussi des motifs hexagonaux analogues à ceux de la surface d'une balle de golf. Mais de quels paramètres dépend la forme des rides ? Sur des surfaces courbes, ces structures étaient difficiles à étudier. Le mathématicien Jörn Dunkel et son équipe de l'Institut de technologie du Massachusetts (MIT) viennent de franchir une étape.

On explique la formation des plis ou des rides par l'instabilité de flambage. Lorsqu'un matériau est comprimé, il se déforme uniformément dans un premier temps, avant de se plier lorsque la contrainte imposée devient trop importante. Pedro Reis et Denis Terwagne, du MIT, ont étudié l'instabilité de flambage sur un film mince élastique à la surface d'une sphère qu'ils dégonflaient peu à peu. Les rides formaient soit un motif hexagonal, soit un motif de type labyrinthe.

Ils se sont associés aux mathématiciens du MIT pour

comprendre le mécanisme de formation et le processus de sélection des deux motifs.

Walter Koiter, de l'Université de Delft, avait développé une théorie mathématique qui décrit les déformations d'une surface courbe et élastique. Cependant, la résolution de ces équations était trop difficile pour étudier la transition entre les différentes formes de rides – le cas qui intéressait Jörn Dunkel et ses collègues –, en raison d'effets non linéaires importants, liés à la courbure de la surface.

En appliquant des hypothèses simplificatrices validées expérimentalement, les chercheurs ont réduit les équations de Koiter à une seule équation, dite de Swift-Hohenberg, qu'il est possible de résoudre numériquement.

Grâce à cette approche, les chercheurs ont mis en évidence le rôle clé joué, dans la sélection du motif de rides, par la courbure de la surface et l'épaisseur du film élastique. Par exemple, plus une surface est courbée, plus les rides présentent un motif hexagonal régulier. Plus le film élastique

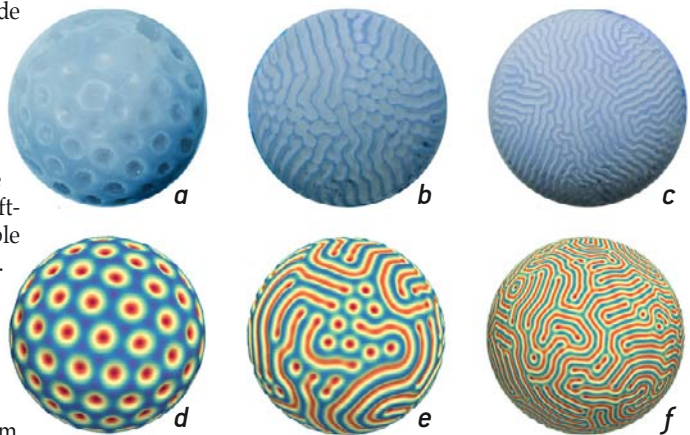
est mince, plus les rides forment des sillons labyrinthiques. Jörn Dunkel et ses collègues ont ainsi quantifié les relations entre ces paramètres et la forme des rides. Ils ont aussi observé une phase intermédiaire dans laquelle cohabitent des structures hexagonales et labyrinthiques.

Les prévisions du modèle sont en accord avec les observations. Le phénomène serait universel et s'appliquerait à

des échelles aussi bien microscopiques que macroscopiques. Il interviendrait sur tout type de surface courbée en compression et expliquerait, entre autres, l'aspect des raisins secs, les empreintes digitales et les circonvolutions du cerveau.

S. B.

N. Stoop et al., *Nature materials*, en ligne le 2 février 2015



En fonction de certains paramètres, la surface d'une sphère en contraction adopte une structure de plis hexagonale (a), labyrinthique (c) ou d'une phase intermédiaire (b). Les simulations du modèle (en bas) correspondent à ce que l'on observe (en haut).

© N. Stoop et al./Nature materials

Aux origines des hippopotames

L'analyse génétique établit que les cétacés sont les plus proches cousins des hippopotames. Ce lien était difficile à clarifier, par manque de fossiles des ancêtres des hippopotames. Au Kenya, une équipe franco-kenyane, menée par Fabrice Lihoreau de l'Université de Montpellier 2, a découvert une mâchoire et des dents, datés de 28 millions d'années, d'une nouvelle espèce d'anthracothères. Il s'agit d'une famille disparue et qui comble la lacune entre les hippopotames et leur ancêtre commun avec les cétacés.

L'humanité sature ses mers de plastique

Jenna Jambeck, de l'Université de Géorgie et des collègues ont établi qu'en 2010, entre 1,7 et 4,6 % des rejets de plastiques quotidiens d'une population côtière étaient susceptibles de parvenir en mer. Il s'ensuit que sur les 275 millions de tonnes

de déchets de plastique produites chaque jour dans le monde en 2010, entre 4,8 et 12,7 millions de tonnes ont fini dans les océans. Pour la France, cela signifie que chaque jour, sur les quelque 3303 tonnes de déchets de plastiques produites, entre 56 à 152 tonnes ont gagné la mer.

Suivez les dernières actualités de Pour la Science sur les réseaux sociaux



Retrouvez plus d'actualités sur www.pourlascience.fr