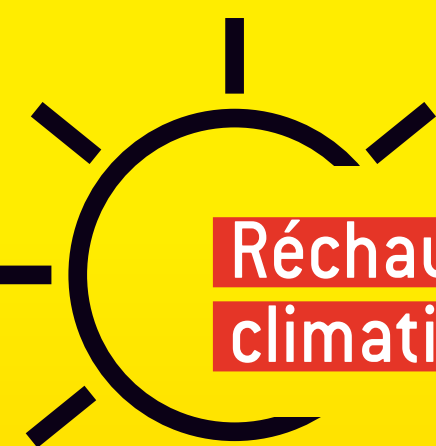


POUR LA SCIENCE

Mai 2015 - n° 451

www.pourlascience.fr

Édition française de Scientific American



Réchauffement
climatique

Le goût
des vins
va-t-il
changer ?



M 02687 - 451 - 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

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

Développement numérique : Philippe Ribeau-Gésippe, assisté de Adrian Bonte

Directrice artistique : Céline Lapert

Secrétariat de rédaction/Maquette : Sylvie Sobelman, Pauline Bilbault, Ingrid Leroy

Correction et assistance administrative : Maud Bruguière

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 :

Serge Berthier, Évelyne Host-Platret, Stefan Klotz, Eric Lagadec, Nicolas Martin, Marie Perez, Christophe Pichon, Richard Taillet

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-Oies - 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 traduction, 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

Aléas viticoles

Depuis plusieurs décennies, la température moyenne à la surface du globe augmente. Selon les scénarios d'émissions de gaz à effet de serre envisagés, les scientifiques prévoient que la hausse de la température terrestre moyenne d'ici 2100 sera comprise entre 2 et 4 °C environ.

L'impact du réchauffement climatique se fait déjà sentir sur la faune et la flore, avec la montée vers le Nord de certaines espèces méridionales. Il se fait aussi sentir sur l'agriculture, et notamment la viticulture (voir pages 26-35). Depuis les années 1960, les dates des vendanges en France ont avancé vers l'été de trois semaines en moyenne. Les caractéristiques des vins, qui dépendent des conditions climatiques dans lesquelles le raisin a mûri, se modifient. Certains vignobles en pâtiennent, d'autres en tirent avantage, comme ceux de

Depuis les années 1960, les vendanges ont en moyenne avancé de trois semaines.

Bourgogne – pour l'instant. Mais avec le réchauffement à venir, comment évolueront les choses ? Un bordeaux de 2050 sera-t-il similaire à un bordeaux de 2010 ? Fera-t-on du vin aux Pays-Bas, en Suède ?

Le savoir-faire des vignerons leur permet de s'adapter à bien des aléas et de continuer à produire des vins de qualité. Face à un réchauffement de 2 °C, ils pourront cultiver des variétés un peu différentes, modifier certaines pratiques culturales et procédures de vinification, voire déplacer leurs parcelles. En cela, les chercheurs, tels ceux de l'Inra en France, leur seront d'une aide précieuse.

Toutefois, avec un réchauffement de 4 °C, les changements seront plus drastiques et le monde viticole risque d'être bouleversé. Éviter ces 4 °C est justement l'un des grands enjeux de la conférence COP 21 sur le climat, qui se tiendra à Paris à la fin de cette année. Les risques qu'encourt la filière du vin pèseront-ils dans les négociations sur les émissions de gaz à effet de serre ? ■

3 **Édito**

Actualités

- 6 Galaxies naines : le tableau de chasse s'étoffe
- 7 Des ultrasons contre Alzheimer ?
- 8 Une toxine bactérienne bientôt convertie en antibiotique ?
- 13 Le prix Abel 2015



Retrouvez plus d'actualités sur www.pourlascience.fr

Réflexions & débats

- 14 **Point de vue**
Loi sur la biodiversité : les scientifiques au pied du mur
Denis Couvet et Anne Teyssède
- 16 **Entretien**
« L'innovation thérapeutique est en panne »
Bernard Meunier
- 20 **Lu sur SciLogs.fr**
Les vestiges du Proche-Orient antique en péril
Cécile Michel
- 22 **Homo sapiens informaticus**
Débattre ou argumenter
Gilles Dowek
- 24 **Cabinet de curiosités sociologiques**
Plus humains grâce aux robots
Gérald Bronner

Ce numéro comporte deux offres d'abonnement à *Pour la Science* en p. 19 et 75.

En couverture : © sumkinn/shutterstock.com ; *Pour la Science*
L'abus d'alcool est dangereux pour la santé, consommez avec modération.

À LA UNE

26 **AGRONOMIE** Réchauffement climatique : la carte des vins redessinée ?

Kimberly Nicholas

Le changement climatique modifie les caractères des vins produits dans les terroirs. En Californie et ailleurs, les producteurs de vins sont déjà confrontés à la nécessité d'adapter leurs vignobles et leurs pratiques.

34 « Avec 4 °C de plus, la carte du vignoble français explose ! »

Entretien avec Jean-Marc Touzard

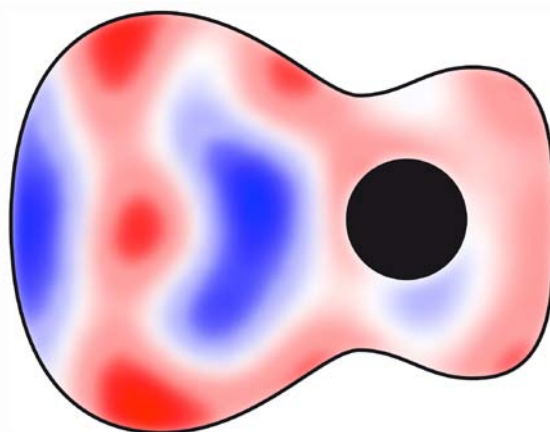
Quel est l'impact du réchauffement climatique sur le vignoble français, et comment ce dernier s'adapte-t-il ?



36 **PHYSIQUE** L'holographie acoustique, un nouvel outil pour les luthiers

N. Bertin, L. Daudet, R. Gribonval et F. Ollivier

Lorsqu'il fabrique un instrument, le luthier le peaufine en écoutant les sons que ses vibrations produisent. Une nouvelle technique d'analyse et de visualisation des vibrations lui faciliterait la tâche.



46 **PORTFOLIO** **Fouilles virtuelles au quai Branly**

Cécile Lestienne

Entre scanner et imprimante 3D, le musée du quai Branly, à Paris, présente jusqu'au 17 mai les « entrailles » secrètes d'une dizaine de ses chefs-d'œuvre. Du jamais vu.



54 **PHYSIQUE** **Est-il possible d'exploiter un trou noir ?**

Adam Brown

L'environnement immédiat d'un trou noir contient une importante quantité d'énergie. Mais pour en extraire, une civilisation future devra construire un ascenseur spatial qui défie les lois de la physique.

60 **ÉTHOLOGIE** **Intelligence : les babouins passent le test**

Joël Fagot et Anaïs Maugard

Experts en analogies, capables de reconnaître leur ignorance, moins aptes à réfléchir quand ils sont stressés... Tel est le portrait des babouins que dressent des études d'un genre nouveau, où des tests cognitifs en libre accès sont mis à disposition des singes.

68 **HISTOIRE DE L'ASTRONOMIE** **Neptune : l'erreur de Le Verrier**

Jacques Gappaillard

En 1846, sur les indications d'Urbain Le Verrier, on découvre la planète Neptune. Pour l'astronome français, c'est la gloire. Ses contemporains et successeurs saluent sa performance et en oublient de vérifier la précision qu'il annonce...

Rendez-vous

78 **Logique & calcul**

Le défi de la sixième couronne

Jean-Paul Delahaye

Une figure plane peut-elle paver une grande surface sans qu'il lui soit possible de paver le plan tout entier ? Ce problème dit de Heesch est posé depuis 1968.

84 **Science & fiction** **Quand les morts sortent de terre**

J. Sébastien Steyer et Roland Lehoucq

86 **Art & science** **Le laboureur des champs... magnétiques**

Loïc Mangin



88 **Idées de physique** **Ces boîtes qui crient « Au feu ! »**

Jean-Michel Courty et Édouard Kierlik

93 **Question aux experts** **Pourquoi a-t-on des courbatures ?**

Stephen Roth

94 **Science & gastronomie** **L'auto-organisation des mets**

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

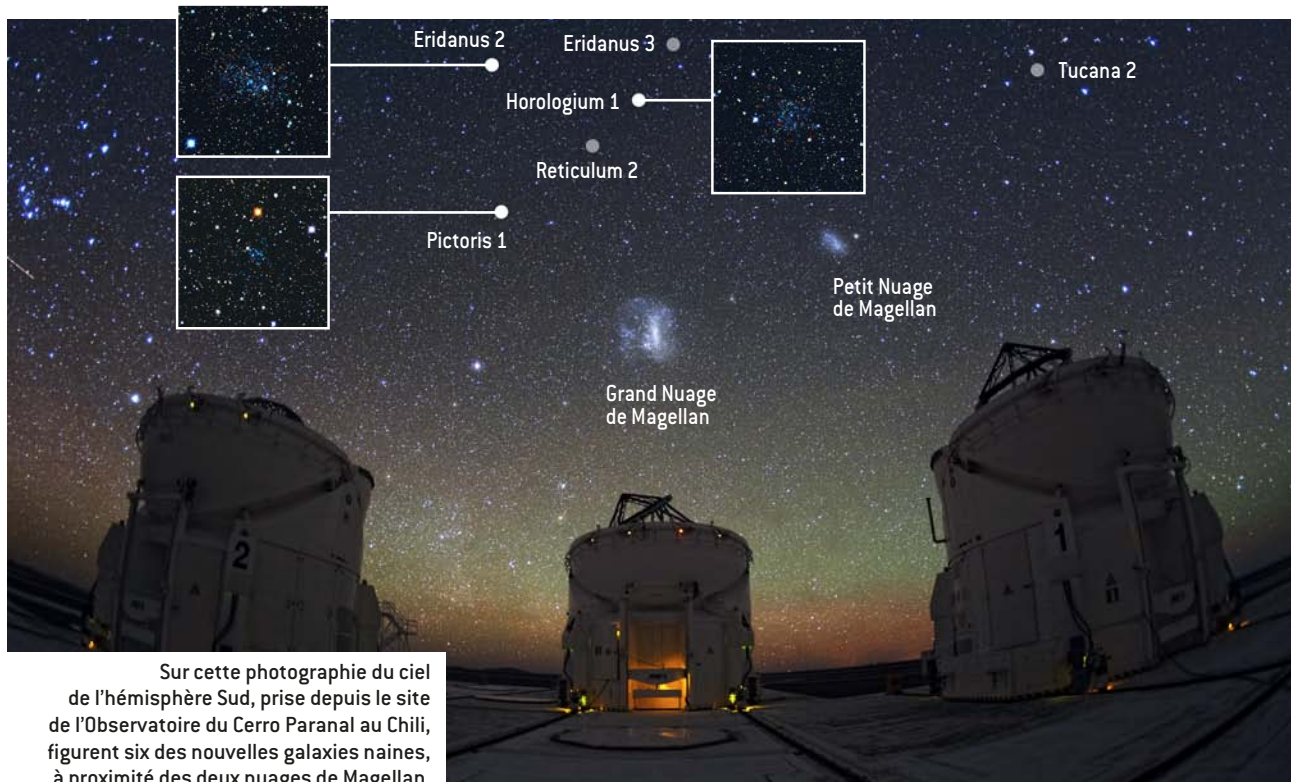


Actualités

Astrophysique

Galaxies naines : le tableau de chasse s'étoffe

Onze nouvelles galaxies naines en orbite autour de la Voie lactée ont été découvertes. Des observations qui, si elles se multiplient, réjouiront les partisans de la matière noire.



Sur cette photographie du ciel de l'hémisphère Sud, prise depuis le site de l'Observatoire du Cerro Paranal au Chili, figurent six des nouvelles galaxies naines, à proximité des deux nuages de Magellan.

V. Belokurov et S. Koposov (IOA, Cambridge) et photo de Y. Beletsky (Institut Carnegie)

L'hypothèse de la matière noire, substance de nature inconnue qui représenterait 25 % du contenu de l'Univers, explique nombre d'observations astronomiques et cosmologiques. Mais l'un de ses talons d'Achille est sans doute le problème des galaxies naines. D'après les modèles de formation des galaxies spirales, les astrophysiciens estiment que, compte tenu de la matière noire, la Voie lactée devrait être accompagnée de plusieurs centaines de galaxies naines (contenant chacune quelques dizaines de milliers à quelques millions d'étoiles). Or seuls une vingtaine de ces objets sont connus, notamment grâce aux observations du projet *Sloan Digital Sky Survey*. L'explication

avancée est que les galaxies naines sont très peu lumineuses (jusqu'à un milliard de fois moins que la Voie lactée), ce qui les rend difficiles à repérer. Ce catalogue restreint des galaxies naines vient toutefois de s'enrichir de 11 nouvelles venues, révélées par une récente génération de programmes d'observation.

Des chercheurs de l'Université de Cambridge ont repéré neuf nouvelles galaxies naines dans les données publiques de la première année d'observations du programme DES (*Dark Energy Survey*). De leur côté, les membres de DES sont parvenus au même résultat, de façon indépendante.

Le *Dark Energy Survey* vise à étudier la dynamique d'expansion

de l'Univers et en particulier l'influence de l'énergie sombre. Pour ce faire, la caméra *Dark Energy Camera* (DECam), dotée d'une résolution de 570 millions de pixels et montée sur un télescope de quatre mètres au Chili, cartographie les galaxies jusqu'à une distance de huit milliards d'années-lumière.

Les chercheurs utilisent ces données pour caractériser l'énergie sombre en analysant des effets de lentille gravitationnelle, la distribution statistique des galaxies ou les supernovae de type Ia. Cependant, les images de haute définition de la caméra DECam permettent aussi de rechercher des galaxies naines qui se trouveraient dans son champ.

Nicolas Martin, de l'Observatoire astronomique de Strasbourg, et ses collègues du projet SMASH (*Survey of the MAGellanic Stellar History*) ont eux aussi utilisé des observations de la caméra DECam et ont découvert une galaxie naine supplémentaire. Le chercheur strasbourgeois participe aussi au programme Pan-STARRS (*Panoramic Survey Telescope And Rapid Response System*) qui utilise un observatoire situé à Hawaï, lequel a également annoncé l'observation d'une autre galaxie naine.

Ce sont donc 11 potentielles galaxies naines qui ont été découvertes. Le problème du manque de galaxies naines satellites de la Voie lactée est loin d'être résolu ;

Médecine

Des ultrasons contre Alzheimer ?

Dans un modèle de la maladie d'Alzheimer chez la souris, des ultrasons éliminent des plaques accumulées dans le cerveau et restaurent la mémoire. Charles Duyckaerts, neuropathologiste à l'Institut du cerveau et de la moelle épinière, commente ces travaux de Gerhard Leinenga et Jürgen Götz, de l'Université du Queensland en Australie.

mais ces observations renforcent les scénarios de formation des galaxies fondés sur la matière noire et l'idée que les galaxies naines manquent à l'appel tout simplement parce qu'elles sont difficiles à observer. Les capacités des programmes DES, SMASH et Pan-STARRS laissent penser que nombre d'entre elles restent à découvrir.

Les galaxies naines présentent un autre intérêt pour la recherche de la matière noire. Les modèles les plus courants prévoient que les régions les plus denses en cette substance émettent un rayonnement gamma, lié à l'annihilation de particules de matière noire. Ainsi, le centre galactique, qui devrait en contenir beaucoup, serait une source importante de rayons gamma. Mais de nombreux objets astrophysiques (trous noirs, étoiles à neutrons, etc.) contribuent à un bruit de fond gamma dont il est difficile d'extraire l'éventuel signal dû à l'annihilation de matière noire. Les chercheurs se tournent donc vers les galaxies naines, dont la composition en matière noire atteindrait dans certains cas 99% ! Un rayonnement gamma émis par ces galaxies naines, très pauvres en étoiles et donc en sources de rayons gamma perturbatrices, pourrait trahir la présence de matière noire. Malheureusement, aucun signal gamma assez fort n'a été observé dans les galaxies naines connues.

Qu'en est-il de celles qui viennent d'être découvertes ? À ce stade, la seule qui présente une émission de rayons gamma potentiellement intéressante est Reticulum 2. Mais il est trop tôt pour dire s'il s'agit de matière noire...

Sean Bailly

S. E. Koposov et al., <http://arxiv.org/abs/1503.02079>, 2015; N. F. Martin et al., <http://arxiv.org/abs/1503.06216>, 2015

En quoi consistent ces travaux ?

Charles Duyckaerts : Un problème auquel les pharmacologues sont souvent confrontés est la barrière hémato-encéphalique : la paroi des vaisseaux sanguins cérébraux empêche non seulement les agents pathogènes, mais aussi nombre de médicaments, d'atteindre le cerveau. En faisant agir des ultrasons sur le cerveau de leurs souris modèles, les chercheurs ont ouvert transitoirement la barrière. Ils ont alors observé une diminution des agrégats du peptide bêta-amyloïde – les plaques caractéristiques de la maladie. Les souris avaient une meilleure mémoire que leurs congénères non traitées.

Pourquoi utiliser des ultrasons ?

Ch. D. : C'est un moyen trouvé il y a assez longtemps (2001) pour ouvrir la barrière de façon transitoire, et testé chez l'animal. L'équipe de Marc Dhenain, au CEA, et d'autres chercheurs ont amélioré la technique en la couplant à l'injection dans le sang de microbulles, qui permettent de limiter la puissance d'ultrasons requise. Elles ouvriraient la barrière en vibrant sous les ultrasons.

Comment l'ouverture de la barrière entraîne-t-elle une destruction des plaques ?

Ch. D. : Les chercheurs ont observé que les sentinelles du cerveau – les cellules microgliales, des cellules

immunitaires – s'activent et phagocytent alors le peptide bêta-amyloïde. Un activateur a pu passer la barrière lors de son ouverture, telle une molécule non spécifique du peptide – l'albumine, par exemple. C'est ce que proposent les chercheurs, qui l'ont détectée dans le cerveau des souris après les ultrasons.

Comment une molécule non spécifique peut-elle inciter les sentinelles à détruire les plaques amyloïdes ?

Ch. D. : En arrivant dans le cerveau, l'albumine a pu entraîner une activation microgliale. Un mécanisme



Charles Duyckaerts, ICM, AP-HP, Univ. Paris-VI.

similaire se produit dans les accidents vasculaires cérébraux. Un infarctus cérébral provoque une nécrose tissulaire qui recrute les cellules microgliales. S'il touche un patient atteint d'une maladie d'Alzheimer, ces sentinelles résorbent les peptides bêta-amyloïdes alors qu'elles ne le faisaient pas avant. En fait, les cellules microgliales sont toujours au centre des mécanismes d'élimination du peptide, même si l'on

ne comprend pas pourquoi elles ne le détruisent pas spontanément...

Les stratégies actuelles visent donc à activer les cellules microgliales ?

Ch. D. : Dans l'ensemble, oui, car elles se fondent sur l'hypothèse de la cascade amyloïde : initialement, il y aurait accumulation du peptide, ce qui provoquerait l'apparition de dégénérescences neurofibrillaires (l'agrégation d'une protéine devenue anormale, tau, dans les neurones). La recherche d'un vaccin repose sur cette idée. Jusqu'à présent, les résultats sont négatifs. Peut-être parce que la maladie était prise trop tard. Aussi les résultats d'études telles que A4 et Dian, qui testent l'effet d'anticorps administrés à un stade précoce, sont très attendus. Cependant, l'interaction de tau et du peptide bêta-amyloïde est indispensable pour produire les symptômes. Un point majeur est de comprendre cette synergie.

Les ultrasons sont-ils une piste prometteuse ?

Ch. D. : Intéressante, mais il reste de nombreuses étapes à franchir ! La technique est-elle inoffensive ? Quels sont les effets à long terme de l'activation des sentinelles ? L'expérimentation animale devra répondre à ces questions avant toute application à l'homme.

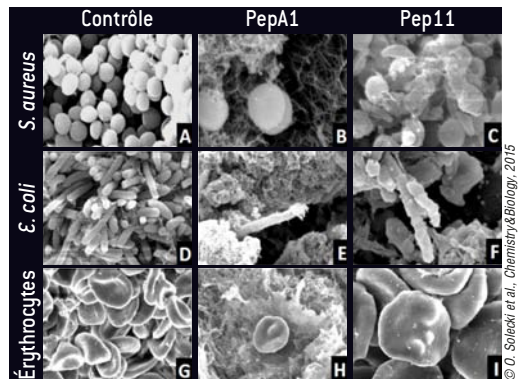
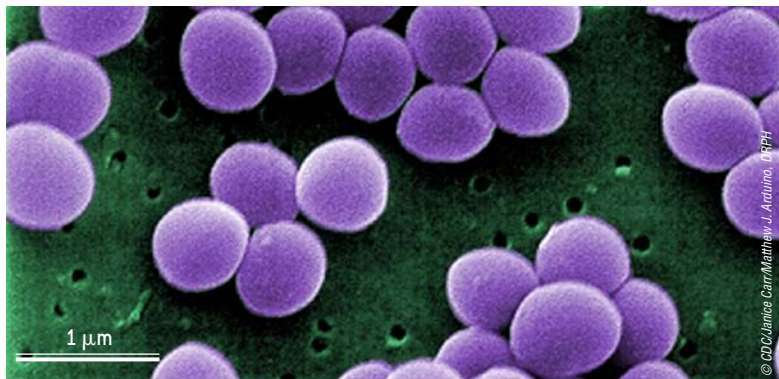
Marie-Neige Cordonnier

G. Leinenga et al., *Sc. Transl. Med.*, 11 mars 2015

Médecine

Une toxine bactérienne bientôt convertie en antibiotique ?

En modifiant la forme et la structure d'une toxine bactérienne, des biochimistes l'ont transformée en une arme efficace contre nombre de bactéries.



Les bactéries *S. aureus* (a), produisent une toxine, PepA1. Cette toxine tue les bactéries *S. aureus* (b, B) et *E. coli* (E), mais aussi les cellules sanguines humaines (H). Sa version modifiée Pep11, en revanche, détruit les bactéries (C, F), mais pas les cellules humaines (I).

Retourner l'arme d'une bactérie contre elle-même et ses cousines, c'est ce que propose l'équipe de Brice Felden, du laboratoire de Biochimie pharmaceutique (U835 Inserm), à l'Université de Rennes. Comme nombre de bactéries, le staphylocoque doré (*Staphylococcus aureus*), pathogène pour l'homme, présente un système de suicide autoprogrammé : lors d'un stress (oxydation, acidification), il produit une toxine, un petit peptide en forme d'hélice nommé PepA1, qui se fixe sur la membrane bactérienne, ce qui entraîne sa destruction et la mort de la bactérie.

Toutefois, cette toxine attaque aussi les membranes des cellules de l'hôte infecté. Comment, alors, la transformer en une arme spécifiquement dirigée contre les bactéries ? Comment la modifier pour qu'elle devienne inoffensive pour les cellules de l'organisme ?

Les biochimistes sont partis d'une analogie : depuis quelques années, une classe de petites molécules – les peptides antimicrobiens – intéresse les pharmacologues. Produits par de nombreux organismes (bactéries, plantes, animaux), ces peptides participent à leur défense contre les microbes. Petits, de charge positive, ils interagissent facilement avec les membranes

bactériennes, de charge négative, et constituent donc un réservoir potentiel de molécules thérapeutiques, notamment d'antibiotiques. À l'état naturel, cependant, ces peptides linéaires sont détruits par les enzymes de l'organisme. En revanche, lorsqu'on les modifie en leur donnant une forme cyclique et en leur insérant des analogues d'acides aminés, ils deviennent plus stables et ont même une meilleure activité, ce qui en fait de bons candidats pour de futurs antibiotiques.

Brice Felden et ses collègues se sont inspirés de cette idée : ils ont synthétisé une série de peptides cycliques dérivés de la toxine PepA1 et ont étudié leur effet sur deux espèces bactériennes, *S. aureus* et *Escherichia coli*, ainsi que sur des cellules sanguines humaines, afin de mesurer leur toxicité.

Pour optimiser ces peptides vis-à-vis de leur double objectif (une destruction efficace des bactéries tout en préservant les cellules de l'organisme), ils ont aussi raccourci la séquence de la toxine et lui ont incorporé des acides aminés qu'elle ne présentait pas naturellement. Résultat : une des toxines modifiées, nommée Pep11, est sortie du lot. Cette toxine modifiée a sur *S. aureus* un effet 13 fois supérieur à celui de PepA1, et

31 fois supérieur sur *E. coli*. De façon générale, elle est capable de détruire un large spectre de bactéries. Elle est aussi sans effet toxique détectable sur les cellules sanguines humaines aux concentrations testées, contrairement à la molécule de départ, PepA1.

Les biochimistes envisagent à présent la préparation d'un antibiotique à partir de ce peptide. « Plusieurs entreprises pharmaceutiques sont intéressées, explique Brice Felden. De notre côté, il s'agit auparavant de déterminer sa pharmacocinétique, sa toxicité sur l'animal et son activité sur un modèle animal d'infection bactérienne. Pep11 pourrait également être développé pour faciliter la pénétration de molécules antibiotiques existantes, en plus de son activité antibactérienne. »

Quant au risque que les bactéries développent une résistance au peptide, comme elles le font avec nombre d'antibiotiques, Brice Felden a bon espoir : « Ce risque n'est pas exclu, mais le peptide a un atout : il ne s'attaque pas à une molécule cible, mais à l'ensemble de la membrane des bactéries, qu'il dénature et déstructure. Pour résister, il faudrait donc que les bactéries changent de membrane... »

M.-N. C.

O. Solecki et al., *Chemistry & Biology*, 19 mars 2015

Au moins 50 000 décès par an

peuvent être attribués aux infections résistantes aux antibiotiques en Europe et aux États-Unis.

Archéologie

L'extraordinaire service à boire gaulois de Lavau

Qui eût cru cela possible ? La tombe à char celte fouillée à Lavau, près de Troyes, par l'équipe de Bastien Dubuis, de l'Inrap, semble aussi importante que celle de la tombe de Vix. La princesse celte enterrée dans cette dernière, située en Côte-d'Or, était accompagnée d'un service à boire comportant le plus grand cratère grec jamais découvert. Or la tombe de Lavau livre aussi un extraordinaire service à boire.

La tombe de Lavau date du V^e siècle avant notre ère. Elle a livré un char à deux roues, deux céramiques, un poignard et son fourreau ainsi que de très nombreuses traces de bois et de tissus. Toutefois, c'est son service à boire qui lui confère son rang de découverte exceptionnelle, et confirme que le culte de Dionysos, le dieu du vin et... de ses excès s'était répandu chez les élites celtes de la fin du premier âge du Fer (-800 à -450).

Sa pièce maîtresse est un chaudron en bronze de près d'un mètre de diamètre. Son bord est



À gauche, l'une des anses ornées du chaudron voisine avec l'œnochoë, à droite de la ciste.

décoré de huit têtes de félins et quatre anses circulaires ornées de têtes d'Achéloos, l'esprit-dieu du fleuve grec Achéloos. En son centre reposait l'un des éléments bien connus du culte dionysiaque : une ciste, sorte de contenant à objets sacrés.

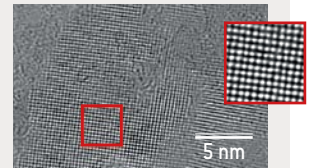
Toutefois, l'intérêt du chaudron et de ces objets est dépassé de loin par celui de la seule œnochoë accompagnée d'une passoire d'argent découverte dans le chaudron. Une œnochoë, littéralement une « pousseuse à vin », est une cruche à panse large, à une seule anse et à bec verseur trilobé. La décoration de celle de Lavau met

en scène Dionysos couché sous une vigne parlant à une femme, qui pourrait être Ariane – une mortelle censée avoir épousé Dionysos – ou Déméter, la déesse grecque de l'agriculture et des moissons souvent figurée avec Dionysos sur les œnochoës. Les deux personnages sont représentés par des figures noires sur fond rouge, un type de céramique produit dans la région d'Athènes jusqu'à la moitié du V^e siècle avant notre ère. Pour Dominique Garcia, président de l'Inrap, cette œnochoë ornée d'or et de filigranes est unique au monde.

François Savatier

De l'eau dans le graphène

Andre Geim a reçu le prix Nobel en 2010 pour sa découverte du graphène – une monocouche de carbone, dont les propriétés sont remarquables. Avec une équipe internationale de physiciens, il vient d'étudier le comportement de l'eau confinée entre deux couches de graphène. Lorsque les couches de graphène se rapprochent, une force attractive, de type force de van der Waals, s'exerce entre les atomes de carbone des deux couches. Les calculs montrent qu'à une distance de un nanomètre, la pression qui s'exerce sur la goutte d'eau est d'environ un gigapascal. Les images prises au microscope électronique montrent que l'eau cristallise à température ambiante, ce qui était attendu pour une pression si élevée. En revanche, la structure cristalline est rare : un maillage à carrés de 0,283 nanomètre de côté.



Physico-chimie

Le secret des caméléons : un réseau de cristaux

Comment le caméléon change-t-il de couleur ? Pour le découvrir, Jérémie Teyssier et ses collègues de l'Université de Genève ont étudié des caméléons panthères mâles en phase de combat. Ils passent en quelques minutes de l'état de repos – bleu, vert et rouge – à l'état excité – blanc, jaune-orange et rouge vermillon. L'étude révèle que leur peau est constituée de deux couches de cellules iridescentes, nommées iridophores, qui contiennent des nanocristaux de guanine, l'une des bases azotées qui composent l'ADN.

Dans chaque iridophore de la couche extérieure, les cristaux for-

ment un réseau triangulaire. Leur indice de réfraction vaut 1,83, alors que celui du cytoplasme – le milieu cellulaire environnant – n'est que de 1,33. Cette différence conduit le réseau de nanocristaux à se comporter comme un « cristal photonique » : il est opaque à la lumière dans certaines gammes de longueurs d'onde, nommées bandes de fréquences interdites et qui dépendent de la période spatiale du réseau.

Les chercheurs ont remarqué que la distance entre les nanocristaux augmente de 30% quand les caméléons s'excitent, et ils ont pu vérifier que c'est bien cette expansion du réseau qui

modifie les bandes interdites, donc la couleur des caméléons.

La couche intérieure d'iridophores, où les cristaux sont plus grands, a pour sa part la particularité de réfléchir 45% du rayonnement dans le proche infrarouge, une protection thermique utile pour les caméléons.

Il reste à déterminer les mécanismes neuronaux et hormonaux impliqués dans le fonctionnement des iridophores : le caméléon n'a pas fini de nous livrer les secrets de son étonnante parure.

Marie Perez

J. Teyssier et al., *Nature Communications*, vol. 6, 6368, 2015



Un caméléon panthère mâle [*Furcifer pardalis*] au repos.

Un bretzel de plus de 200 ans

En fouillant la boutique d'un boulanger du XVIII^e siècle à Ratisbonne, en Allemagne, les archéologues du Service bavarois de conservation sont tombés sur les restes carbonisés d'une fournée ratée. Or ces bretzels, petits pains et autres kipferls pétris il y a plus de 200 ans ressemblent beaucoup à ceux d'aujourd'hui. Ainsi, les fragments retrouvés attestent que le bretzel bavarois n'a pas changé de proportions depuis le XVIII^e siècle.

Un trou noir jeune et massif

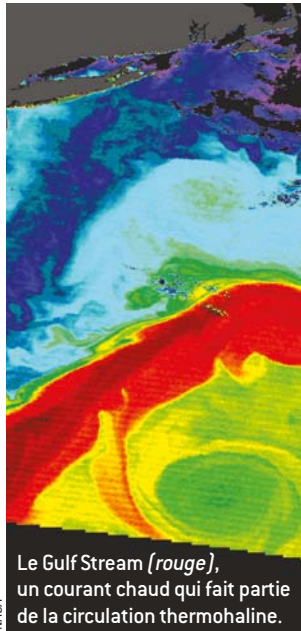
Xue-Bing Wu, de l'Université de Beijing, en Chine, et son équipe, ont découvert une galaxie contenant un trou noir supermassif de 12 milliards de masses solaires dans l'Univers jeune. Un trou noir grossit en fusionnant avec d'autres trous noirs ainsi qu'en accréant de la matière environnante, mais comment celui-ci a-t-il pu atteindre une telle masse en moins d'un milliard d'années ? D'après les chercheurs, en prenant le taux d'accrétion maximal théorique, on peut atteindre environ 13 milliards de masses solaires en un milliard d'années. Ainsi, bien qu'un tel trou noir soit rare, il ne défie pas notre compréhension de l'évolution de ces objets.

Un carré magique de cubes

En 2010, Christian Boyer, spécialiste des carrés magiques, proposait plusieurs énigmes consistant à construire des carrés magiques avec certaines contraintes. Sébastien Miquel, élève de l'École normale supérieure à Paris, vient d'en résoudre une : il a construit le premier carré magique 7×7 ne contenant que des entiers élevés au cube. Il est aussi le plus petit carré de cubes connu, battant le carré de l'Allemand Walter Trump de dimension 8×8 . Prochaines étapes, trouver des carrés 6×6 , 5×5 et 4×4 !

Géosciences

Quand les volcans commandent aux océans



Le Gulf Stream (rouge), un courant chaud qui fait partie de la circulation thermohaline.

Le Nord de l'océan Atlantique est le siège d'un immense tapis roulant : la circulation thermohaline. L'eau remonte depuis les tropiques jusqu'aux hautes latitudes où, devenue plus froide et plus dense, elle plonge puis parcourt le trajet inverse en profondeur. Elle transporte la chaleur vers le Nord, contribuant à adoucir le climat européen. Didier Swingedouw, de l'Université de Bordeaux, et ses collègues ont montré que les éruptions volcaniques majeures modifient cette circulation et, partant, le climat.

Des mesures avaient révélé des variations de la circulation thermohaline. Les chercheurs soupçonnaient une influence des éruptions volcaniques : quand elles sont assez importantes, elles projettent des poussières qui réfléchissent

le rayonnement solaire et refroidissent le climat. Elles pourraient alors faire baisser la température de l'océan en surface, et ainsi influencer sur les courants.

Les chercheurs ont combiné de multiples données, issues par exemple de l'analyse de carottes de glace groenlandaises, de mesures de salinité des océans et de simulations numériques, pour reconstituer les fluctuations de la circulation thermohaline sur les 1 000 dernières années. Leurs résultats, croisés avec les dates des éruptions majeures, suggèrent que chacune déclenche des accélérations et des ralentissements cycliques de cette circulation, d'une période de 20 ans.

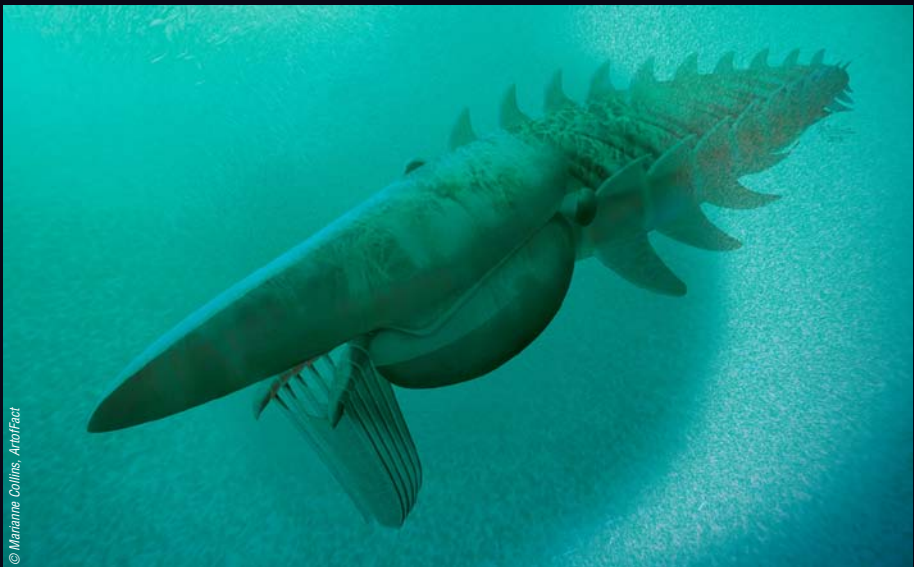
Guillaume Jacquemont

D. Swingedouw et al., *Nature Comm.*, en ligne le 30 mars 2015

Insolite

L'anomalocaride, terreur du plancton

Avec deux collègues, Peter Van Roy, de l'Université Yale, a décrit une nouvelle espèce marine à partir de fossiles découverts au Maroc. *Aegirocassis benmoulae*, de la famille disparue des anomalocarides, vivait à l'Ordovicien – il y a entre 443 et 485 millions d'années – et mesurait plus de deux mètres de long. Ancêtre des arthropodes aquatiques, il se nourrissait en filtrant l'eau de mer. Une sorte de crevette géante !



L'âge de Little Foot

Little Foot est le surnom d'un fossile d'*Australopithecus prometheus*, découvert en 1994 dans une grotte en Afrique du Sud. La datation du fossile était difficile, car l'histoire géologique de la grotte était mal connue. Darryl Granger, de l'Université de Purdue, aux États-Unis, et ses collègues ont utilisé une méthode de datation fondée sur les concentrations en aluminium 26 et béryllium 10 des cristaux de quartz. Ces éléments sont formés lors d'une exposition en surface aux rayons cosmiques. La datation de plusieurs échantillons de quartz, situés près du squelette, suggère ainsi que Little Foot est âgé de 3,67 millions d'années, ce qui en fait un contemporain de *A. afarensis* (Lucy) en Afrique de l'Est.

Neurobiologie

Des faux souvenirs créés pendant le sommeil

Imaginez que vous arrivez dans un lieu anodin, un coin de couloir par exemple, et qu'une sensation agréable vous envahit. Vous y revenez régulièrement, attiré par cette sensation... jusqu'à ce que vous vous rendiez compte que l'endroit n'a rien d'extraordinaire.

C'est un peu ce qui est arrivé à cinq souris, dans une étude menée par l'équipe de Karim Benchenane, de l'ESPCI et de l'Université Pierre et Marie Curie, à Paris. Les neurobiologistes ont implanté aux rongeurs de faux souvenirs pendant qu'ils dormaient et ont montré que cela influençait leur comportement par la suite.

Lors du sommeil, le cerveau repasse les événements vécus. En particulier, les « cellules de lieu »

de l'hippocampe, qui sont des neurones associés à un endroit particulier, se réactivent. Quand cela se produisait chez les rongeurs, les chercheurs activaient le circuit de la récompense, un réseau d'aires cérébrales associé à la sensation de plaisir, grâce à des électrodes. Ils ont ainsi créé

des liens entre ce circuit et les neurones de lieu.

Les rongeurs avaient alors l'impression d'avoir vécu un moment agréable dans les endroits correspondants et ils s'y rendaient au réveil. Pour Karim Benchenane, cela suggère que « le souvenir implanté peut être perçu consciemment par la souris, qui l'utilise dans un comportement dirigé vers un but ». Il est ainsi bien plus complexe que ceux précédemment fabriqués chez des animaux endormis : « Les travaux antérieurs n'avaient créé que des réactions réflexes à des stimulus », précise le chercheur.

G. J.

G. de Lavilléon et al., *Nature Neuroscience*, en ligne le 9 mars 2015



Dans l'inter^{france}êt de la science

mathieu vidard | la tête au carré
14:05-15:00

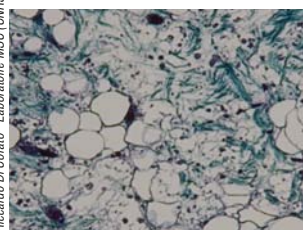
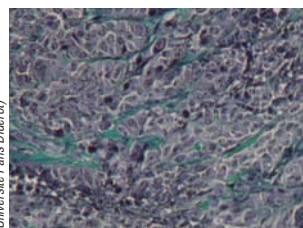
france
inter^{france}venez
franceinter.fr

Le cimetière du Monoprix

Les archéologues de l'Inrap viennent de retrouver des tombes de masse dans les caves du Monoprix Réaumur-Sébastopol à Paris. Elles correspondent aux fosses communes établies en catastrophe lors d'épidémies aux XIV^e et XV^e siècles dans le cimetière d'un hôpital parisien aujourd'hui disparu : l'hôpital de La Trinité, l'un des cinq anciens hôpitaux de la rue saint Denis. Puisqu'il résulte d'une crise de mortalité, l'important échantillon de squelettes correspondant reflète vraisemblablement la population parisienne du Moyen Âge tardif, de sorte qu'il devrait être d'un grand intérêt anthropologique. Reste à étudier ces centaines de squelettes...

Médecine

Un liposome doublement armé contre le cancer



Comparaison entre une tumeur intacte (en haut) et une tumeur après le traitement avec les liposomes (en bas).

Les nanothérapies offrent des perspectives intéressantes pour lutter contre les tumeurs. L'idée est d'utiliser des liposomes – des vésicules artificielles et biocompatibles – contenant des molécules actives contre les cellules cancéreuses. Il est cependant difficile de contrôler le moment et l'endroit où ces molécules sont libérées du liposome. Claire Wilhelm, à l'Université Paris-Diderot, Christine Ménager, à l'Université Pierre et Marie Curie, et leurs collègues ont exploré une piste où le liposome est muni de deux moyens d'action, déclenchés à distance par de la lumière ou un champ magnétique.

Les chercheurs ont rempli la vésicule de nanoparticules

magnétiques et fixé des photosensibilisateurs sur son enveloppe. Ils ont injecté ces liposomes directement dans la tumeur d'une souris et ont obtenu une régression totale des cellules cancéreuses. L'action du liposome est double. Un champ magnétique agit les nanoparticules, ce qui chauffe la tumeur. Éclairés au laser, les photosensibilisateurs font passer le dioxygène dans un état très réactif et toxique pour les cellules cancéreuses. Dans des expériences précédentes, chacune de ces deux actions avait été testée, mais ne suffisait pas pour détruire la tumeur. Leur action combinée, en revanche, y parvient.

S. B.

R. Di Corato et al., ACS Nano, vol. 9 (3), pp. 2904-2916, 2015

les **cité** des sciences et de l'industrie

conférences

↓

Entrée libre dans la limite des places disponibles

à la Cité des sciences et de l'industrie

THÈME

La science en voyage

Migrations : une nécessité du vivant

> les mardis à 19h

Cycle de 5 conférences

5 mai **L'Homme à la conquête de la Terre**
avec Pascal Picq

12 mai **Le nomadisme : un mode de vie**
avec John Crowley

19 mai **Dans le camp des Roms**
avec Éric Fassin

26 mai **Au loup ! Un retour controversé**
avec Farid Benhammou

2 juin **Les plantes invasives : un perpétuel ajustement à notre monde**
avec Jacques Tassin

programme complet sur cite-sciences.fr

Avec le soutien de

Biophysique

Les acrobaties des mantes religieuses décryptées

Les sauts des jeunes mantes religieuses sont impressionnants. Plus brefs qu'un battement de cil – moins d'un dixième de seconde – ils sont d'une extrême précision. Cela leur est très utile pour se déplacer car, contrairement aux adultes, les jeunes mantes n'ont pas d'ailes.

Intrigués par ce talent acrobatique, atypique dans le monde des insectes, Malcolm Burrows, de l'Université de Cambridge, et Gregory Sutton, de l'Université de Bristol, ont étudié le phénomène et se sont aperçus que l'inclinaison du corps de l'insecte était régie par une chorégraphie bien définie de mouvements de rotation des pattes et de l'abdomen. Lorsque la mante saute, l'impulsion initiale imprime à l'insecte une certaine rotation, quantifiée par le moment cinétique. Une fois la mante en l'air, son moment cinétique total est conservé et reste quasiment constant jusqu'à l'atterrissage. Il est la somme des moments cinétiques des différentes parties du corps : l'abdomen, les trois paires de pattes, ... Quand l'une de ces parties effectue un mouvement de rotation, cela modifie son moment cinétique. Pour compenser, le moment cinétique d'une autre partie varie, ce qui change sa rotation. Les chercheurs ont dénombré quatre transferts de moment cinétique durant le saut, qui contribuent à maintenir le tronc de la mante religieuse à un angle d'environ 50 degrés par rapport à l'horizontale, afin qu'elle puisse arriver sur sa cible avec la bonne orientation. La mante religieuse a décidément le compas dans l'œil... ou dans le corps !

Il reste à présent à comprendre comment le cerveau de la mante contrôle les mouvements après que le saut a commencé, en réponse aux événements extérieurs. Les résultats pourraient s'appliquer à la conception de robots sauteurs, qui n'en sont pour l'instant qu'à leurs balbutiements.

M. P.

M. Burrows et al., *Current Biology*, vol. 25(6), pp. 786-789, 2015

Mathématiques

Prix Abel 2015 : John Nash et Louis Nirenberg

Chaque année, l'académie norvégienne des sciences et des lettres décerne le prix Abel à des chercheurs pour leurs travaux en mathématiques. John Forbes Nash Jr. et Louis Nirenberg partagent ce prix prestigieux pour « leur contribution importante et fondamentale à la théorie des équations aux dérivées partielles non linéaires et ses applications en analyse géométrique. »

John Nash est un mathématicien de l'Université Princeton qui a reçu le prix Nobel d'économie en 1994 pour ses travaux en théorie des jeux. Le film *Un homme d'exception* (Ron Howard, 2001) a fait découvrir ce mathématicien au grand public, en particulier son combat contre la schizophrénie.

John Nash s'est aussi penché sur des problèmes d'analyse géométrique. Cela l'a conduit à étudier des équations différentielles à plusieurs variables (des équations dites aux dérivées partielles) qui étaient considérées comme impossibles à résoudre. Il a alors développé une méthode itérative, modifiée par le mathématicien d'origine allemande Jürgen Moser, qui a pris le nom

de théorème Nash-Moser. En 1956, il rencontre Louis Nirenberg, de l'Institut Courant des sciences mathématiques à l'Université de New York, spécialiste des équations à dérivées partielles dites elliptiques et dont les contributions sont nombreuses (plusieurs résultats portent son nom : inégalités de Gagliardo-Nirenberg, théorie de Kohn-Nirenberg...).

Lors de cette rencontre, Louis Nirenberg suggère à John Nash de travailler sur un problème ouvert concernant des équations aux dérivées partielles dites elliptiques. John Nash le résout en quelques mois, indépendamment d'un mathématicien italien, Ennio De Giorgi. Le résultat est connu sous le nom de théorème de Nash-De Giorgi.

S. B.

www.abelprize.no



John Forbes Nash Jr. (à gauche) et Louis Nirenberg (à droite).

Une faille dans les écoducs

James Baxter-Gilbert et ses collègues, de l'Université Laurentienne au Canada, ont évalué l'efficacité des écoducs, passages souterrains aménagés pour que les animaux traversent une route sans danger. Ils ont observé des reptiles sur un tronçon routier en comparant la situation avant et après l'installation des passages et de clôtures. Les animaux utilisent les écoducs, mais préfèrent passer sur la route en profitant de brèches dans les clôtures. Ainsi, le succès des écoducs dépend de la bonne conception des barrières.

Une supernova lointaine passée à la loupe

Quatre images de la supernova SN Refsdal, située à 9,3 milliards d'années-lumière de la Terre, ont été détectées par Patrick Kelly, de l'Université de Californie à Berkeley. Cette « croix d'Einstein » est l'œuvre de l'amas de galaxies MACS J1149.6+2223

qui a joué le rôle de lentille gravitationnelle. En effet, les corps très massifs peuvent, en raison de leur fort champ gravitationnel, dévier les rayons lumineux qui passent à proximité et ainsi créer une image amplifiée, voire multipliée, d'une source située en arrière-plan.

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



Retrouvez plus d'actualités sur www.pourlascience.fr

POINT DE VUE

Loi sur la biodiversité : les scientifiques au pied du mur

Ambitieux, le projet de loi français sur la biodiversité révèle l'ampleur des recherches transdisciplinaires à effectuer pour le concrétiser.

Denis COUVET et Anne TEYSSÈDRE

Près de 40 ans après la première loi de protection de la nature (1976), le Parlement français a voté, le 26 mars dernier, le projet de loi relatif à la biodiversité soumis par le gouvernement. Il était temps. Seuls 22 % des habitats et 28 % des espèces d'intérêt communautaire sont en bon état, selon le préambule du projet de loi. Protéger des espaces et des espèces menacées ne suffit pas à enrayer la perte de biodiversité. Globalement, malgré quelques critiques et réserves, ce projet de loi est novateur et opportun. Il prend acte de l'impact croissant et souvent négatif des activités humaines sur la biodiversité tant remarquable qu'ordinaire, des populations d'organismes aux écosystèmes et paysages. Il modernise la prise en compte de la biodiversité dans le code de l'environnement en intégrant ses multiples dimensions : structurelle (patrimoniale), mais aussi évolutive et dynamique (se démarquant de la notion naïve d'équilibre de la nature) et, enfin, fonctionnelle, notamment pour les humains. Cette dernière dimension fonde le concept de « services écosystémiques », les services rendus aux sociétés par la biodiversité.

La future loi ambitionne de donner aux citoyens, tous acteurs socio-économiques, les moyens d'une gestion collective raisonnée et concertée de leurs territoires. Pour ce faire, son Titre I (articles 1 à 4) vise à renouveler la

vision de la biodiversité chez les acteurs et les principes d'action – deux objectifs prioritaires bien identifiés. Sur le plan opérationnel, la loi statue sur la gouvernance de la biodiversité aux niveaux national et régional (Titre II). Elle prévoit aussi la création d'une Agence française pour la biodiversité, qui appuiera la prise en compte de la biodiversité dans les projets d'aménagement (Titre III) ; la mise en place d'un cadre juridique pour les ressources

Les écologues admettent mal la pertinence des outils économiques pour préserver la biodiversité.

génétiques et les connaissances traditionnelles, afin d'éviter la biopiraterie (Titre IV) ; la simplification des outils de préservation (Titre V) ; et un élargissement de la préservation des paysages (Titre VI).

Ces ambitions ne sont pas sans risques. Le législateur est amené à manipuler des concepts scientifiques récents, complexes et souvent flous : biodiversité, services écosystémiques... Or l'urgence de la préservation des systèmes écologiques et d'une meilleure gestion des territoires requiert une traduction sociale de ces concepts, invitant les scientifiques à répondre au mieux à une demande politique majeure qu'il s'agira de traduire en termes scientifiquement rigoureux

– d'indicateurs, de scénarios, etc. Aussi cette loi interpelle-t-elle les scientifiques à plusieurs titres.

Par exemple, pour prendre en compte la biodiversité dans les décisions environnementales, la question de sa mesure s'impose : à quel niveau d'organisation biologique, à quelle échelle spatiale ? Comment interpréter des dynamiques divergentes à différentes échelles spatiales ? Il s'agit aussi de traduire ces dynamiques en termes de fonctionnement des écosystèmes.

La loi intègre la dimension dynamique de la biodiversité. Loin d'être une collection d'objets, celle-ci constitue un ensemble d'organismes vivants ou de systèmes écologiques en interaction et évolution continues, avec un potentiel d'adaptation à préserver. Au-delà de certains succès des politiques de préservation de la nature, dont elle prend acte, la loi souligne l'importance d'aller plus loin, notamment en prenant en compte la biodiversité ordinaire (400 millions d'oiseaux perdus en 30 ans en Europe, quelles conséquences écologiques, sociales ?), et introduit la notion de valeur écologique des habitats et milieux de vie (écosystèmes), elle aussi à expliciter.

De même, la notion de service écosystémique bouscule le monde des chercheurs. Elle interpelle nos conceptions de l'organisation sociale, exigeant de considérer la dimension irréductiblement collective du fonctionnement des écosystèmes, des interdépendances, de