

NEUROSCIENCES

UNE ORIGINE GÉNÉTIQUE DE LA MIGRAINE

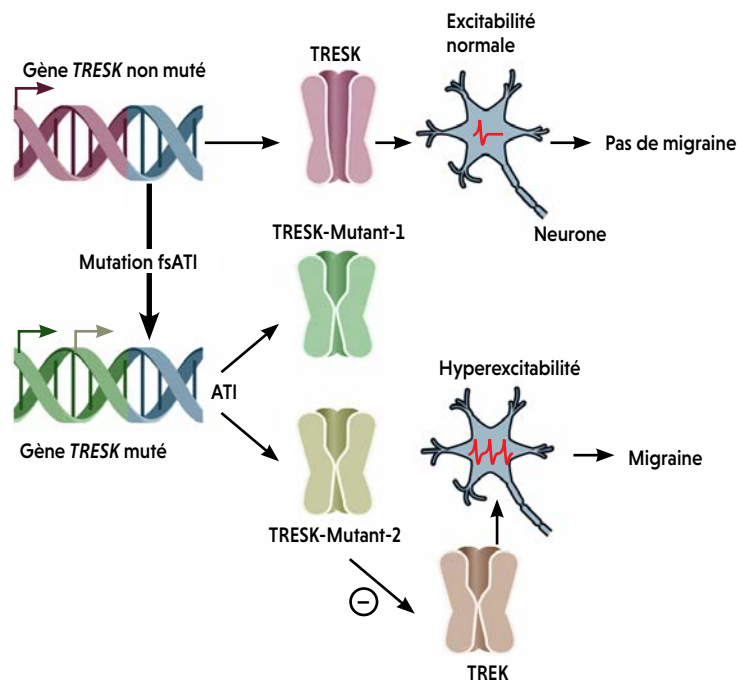
Une mutation particulière d'un gène provoquerait une hyperexcitabilité de certains neurones situés dans le crâne, dont résulterait la migraine.

Plus de 10 millions de Français souffrent régulièrement de migraines. Près de 20% des crises sont associées à des troubles neurologiques, notamment visuels et nommés auras, des sortes d'hallucinations. La douleur est si invalidante qu'en France, chaque année, 20 millions de jours de travail sont perdus. Et pourtant, aucun traitement vraiment efficace n'est encore disponible, notamment parce qu'on ne connaît pas l'origine du trouble. En revanche, les chercheurs savent depuis longtemps que la maladie est en grande partie héréditaire, le risque d'en souffrir augmentant de 80% si l'un des proches parents est atteint. De ce fait, identifier les mécanismes génétiques impliqués permettrait de mieux comprendre l'origine de la migraine. Or l'équipe de Guillaume Sandoz, de l'institut de biologie Valrose, à Nice, vient enfin de trouver un mécanisme génétique en cause.

On sait depuis une trentaine d'années que les douleurs associées à la migraine mettent en jeu le trijumeau (le plus grand des nerfs crâniens), et notamment ses fibres sensorielles qui transmettent de multiples informations dans le visage et le crâne, en particulier la douleur. Une hyperexcitabilité des neurones sensoriels de ce système est associée aux crises migraineuses, sans que l'on sache pourquoi cette suractivité existe chez certaines personnes et pas d'autres.

Les chercheurs français se sont donc intéressés à la propagation de l'influx nerveux le long des neurones, qui dépend de différents flux d'ions à travers la membrane de ces derniers, *via* des canaux ioniques. Notamment, les canaux potassiques K2P sont inhibiteurs (ils diminuent l'activité des neurones) et il en existe plusieurs types. On avait identifié des mutations du gène codant l'un de ces canaux, nommé TRESK, certaines provoquant des migraines, d'autres non. L'équipe de Guillaume Sandoz vient de découvrir qu'une mutation précise du gène *TRESK* provoque l'apparition de deux canaux potassiques mutants différents qui interviendraient dans la douleur. Mais quel est le mécanisme en jeu ?

Normalement, le gène *TRESK* produit un intermédiaire – un ARN messager –, lequel est traduit en canal protéique TRESK qui, inséré dans la membrane des neurones, influe sur la propagation de l'influx nerveux en diminuant



Une mutation du gène *TRESK* conduit à la formation de canaux ioniques anormaux. L'un d'eux, TRESK-Mutant-2, inhibe l'action d'un autre canal, TREK. Le résultat est une hyperexcitabilité accrue pour les neurones du système trigéminal, à l'origine de la migraine.

l'excitabilité. Mais en cas de mutation, *via* un mécanisme que les chercheurs ont identifié et qu'ils ont nommé fsATI (*frameshift mutation induced-alternative translation initiation*), le gène *TRESK* muté produit deux ARN messagers distincts, qui conduisent à la fabrication de deux canaux : TRESK-Mutant-1 et TRESK-Mutant-2. Or ce dernier interagit avec d'autres canaux K2P, nommés TREK, qui ne remplissent alors plus leur fonction apaisante, ce qui conduit à une hyperexcitabilité des neurones. D'où la transmission de la douleur le long des fibres du trijumeau.

Par ailleurs, les chercheurs ont confirmé chez les animaux que si l'on bloque (génétiquement) l'activité des canaux TREK, les rats souffrent de migraines (qui se caractérisent par une hypersensibilité de la face). Ils espèrent maintenant trouver des molécules qui relanceraient l'activité des TREK chez les migraineux ou empêcheraient l'interaction de ces canaux avec les TRESK-Mutant-2. Ces molécules constitueraient alors des médicaments potentiels. ■

BÉNÉDICTE SALTHUN-LASSALLE

P. Royal et al., *Neuron*, vol. 101(2), pp. 232-245, 2019

DES POISSONS PEU OXYGÉNÉS

Autour de Natalya Gallo, les océanographes de l'institut Scripps, en Californie, viennent de découvrir deux espèces de poisson capables de survivre quasiment sans oxygène. D'après les constatations faites récemment par Nicholas Rogers, de l'université d'Exeter, un poisson a besoin d'une pression partielle d'oxygène comprise entre 1 et 16 kilopascals pour respirer. Pourtant, près de la côte Pacifique de l'Amérique, *Cherublemma emmelas*, une sorte d'anguille, et *Cephalurus cephalus*, un petit requin, se contentent de seulement 0,1 kilopascal dans leur habitat, situé entre 600 et 900 mètres de profondeur. Selon les chercheurs, les branchies surdéveloppées de ces deux espèces n'expliquent pas tout de cette adaptation extrême: celle-ci pourrait aussi inclure une forme de respiration anaérobie. ■

F. S.

N. Gallo et al., *Ecology*, en ligne le 27 novembre 2018

GÉOPHYSIQUE

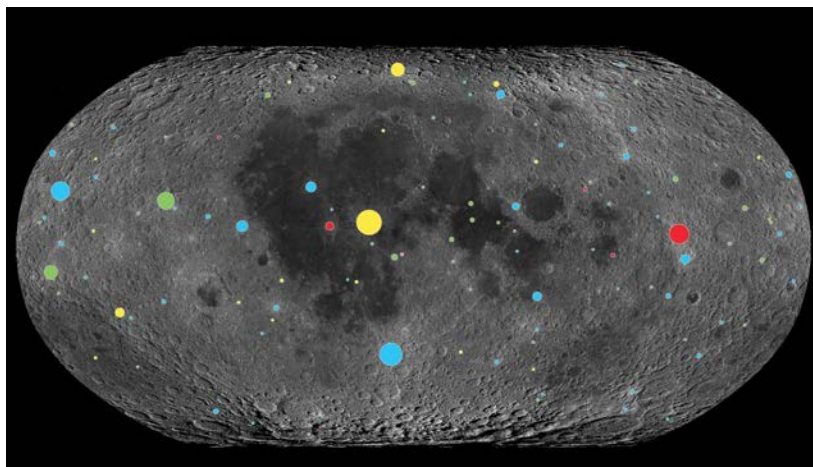
UN NOYAU SOLIDE TARDIF?

Richard Bono, de l'université de Rochester, aux États-Unis, et des collègues ont mesuré l'aimantation résiduelle de roches âgées de 565 millions d'années de la région de Sept-Îles, au Québec. Leurs résultats suggèrent que pendant 75 millions d'années, le champ magnétique terrestre a eu une orientation erratique et une intensité plus de dix fois inférieure à celle d'aujourd'hui. Selon les chercheurs, l'interprétation la plus simple est que la convection du fer liquide, à l'origine de la dynamo terrestre, était sur le point de s'arrêter sous l'influence de la cristallisation débutante du noyau solide de la Terre; un phénomène à déterminer – chaleur radiogénique, précipitation de certains composants? – aurait ensuite relancé la convection et ainsi la dynamo terrestre. Cette interprétation implique que le noyau solide serait 2 à 3 fois plus jeune qu'on ne le pensait jusque-là. Elle reste à confirmer par l'étude expérimentale du fer liquide et par la simulation numérique de la dynamo terrestre. ■

F. S.

R. Bono et al., *Nature Geoscience*, vol. 12, pp. 143-147, 2019

DE LA LUNE À LA TERRE, UNE HISTOIRE D'IMPACTS



Les impacts de la Lune vieux de moins d'un milliard d'années sont représentés en taille et en âge par des pastilles de couleur. Les bleus, les plus nombreux, ont moins de 290 millions d'années.

Jusqu'à présent, les chercheurs pensaient que le registre des cratères sur Terre n'était pas fiable en raison de l'érosion, qui aurait effacé les cratères les plus anciens. Cette hypothèse semblait confirmée par la rareté des impacts vieux de plus de 300 millions d'années. Or étudier la répartition dans le temps des cratères d'impact aiderait à mieux connaître l'histoire passée de la Terre (certaines collisions ont provoqué des transformations majeures des conditions de surface et conduit à des extinctions massives d'espèces) et estimer les risques de collisions géantes dans le futur.

Comment reconstruire cette histoire passée? Une façon est d'étudier la surface lunaire car, du fait de leur proximité, la Terre et la Lune ont été exposées au même flux d'impacts. Pour dater les cratères d'impacts à la surface de notre satellite, Sara Mazrouei, de l'université de Toronto, et ses collègues ont utilisé des données de radiométrie thermique acquises par la sonde *LRO* (*Lunar Reconnaissance Orbiter*) évoluant autour de la Lune. En effet, lors d'un impact, de la roche initialement enfouie est éjectée et exposée à la surface. Du fait de l'impact, cette roche est plus chaude que la surface elle-même et la mesure de son abondance dans les cratères fournit une estimation de leurs âges.

Sara Mazrouei et ses collègues ont étudié plus d'une centaine de cratères de grande taille (de diamètre supérieur à 10 kilomètres). Ils en ont déduit que le rythme des impacts était 2,6 fois plus élevé dans les 300 derniers millions d'années que durant les 700 millions d'années qui ont précédé. Des collisions géantes dans la ceinture principale d'astéroïdes, dont les fragments auraient été déviés de leur orbite initiale vers la Lune et la Terre, expliqueraient cette hausse du rythme des impacts. Cette hausse rendrait aussi compte du déficit présumé de cratères anciens sur Terre, déficit dont l'érosion ne serait donc pas responsable. ■

LAMBERT BARAUT-GUINET

S. Mazrouei et al., *Science*, vol. 363, pp. 253-257, 2019

ASTROPHYSIQUE

DES QUASARS POUR MESURER LA CONSTANTE DE HUBBLE

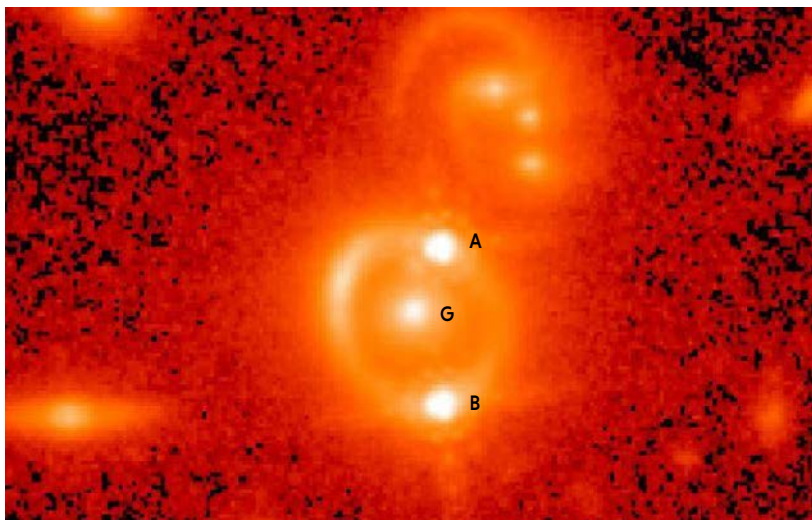
Deux méthodes sont en désaccord sur la valeur de cette grandeur qui décrit l'expansion de l'Univers. L'étude des quasars offre une technique indépendante pour la mesurer.

L'Univers est en expansion. Et depuis 1998, les astrophysiciens savent que cette expansion a commencé à s'accélérer il y a quelques milliards d'années. Pour mieux comprendre cette dynamique, les chercheurs tentent de déterminer la valeur précise du taux d'expansion actuel de l'Univers, que l'on nomme la « constante de Hubble ».

Grâce, en particulier, aux observations du télescope spatial *Planck*, l'analyse du fond diffus cosmologique (la lumière émise dans l'Univers alors âgé de 380 000 ans) conduit à une constante de Hubble de 67,4 kilomètres par seconde et par mégaparsec. Mais une méthode s'appuyant sur une mesure directe de la distance des supernovæ de type Ia (des explosions d'étoiles naines blanches) évalue cette constante à 73,5 kilomètres par seconde et par mégaparsec. Ces deux valeurs sont incompatibles, même en prenant en compte les incertitudes associées. Or la source de cette incompatibilité reste inconnue à ce jour.

Pour y voir plus clair, Simon Birrer, de l'université de Californie à Los Angeles, et ses collègues de la collaboration *HoLiCOW* ont étudié une méthode indépendante, reposant sur les quasars, pour estimer la constante de Hubble. Les quasars sont des galaxies dont le centre est occupé par un trou noir supermassif très actif. De grandes quantités de matière s'y précipitent tout en émettant un fort rayonnement électromagnétique. Les quasars sont les objets les plus brillants de l'Univers et peuvent être observés jusqu'aux confins de celui-ci, jusqu'à des régions où le cosmos n'était âgé que de 2 milliards d'années.

En 2017, la collaboration *HoLiCOW* a montré qu'il est possible d'estimer la constante de Hubble en observant des quasars dont on obtient quatre images différentes par un effet de lentille gravitationnelle. En effet, en accord avec la relativité générale, une galaxie (ou un amas de galaxies) déforme l'espace-temps dans son voisinage et dévie la lumière provenant d'un objet en arrière-plan, un quasar par exemple. Suivant la distribution de la masse de la galaxie (ou de l'amas), la lumière de ce quasar nous arrive par plusieurs chemins et forme autant d'images de cet objet. Et lorsque



Grâce à un effet de lentille gravitationnelle dû à une galaxie (notée G), les astrophysiciens observent deux images (les points A et B) du quasar SDSS 1206+4332, situé en arrière-plan.

la lumière du quasar fluctue, celle de ses images fluctue aussi, mais pas de façon synchrone, car les différents chemins que la lumière parcourt ne sont pas de même longueur. En mesurant le délai entre les fluctuations des différentes images et en modélisant le trajet de la lumière, il est possible de calculer la constante de Hubble.

Simon Birrer et ses collègues ont étudié SDSS 1206+4332, un quasar lentillé dont on ne voit que deux images, mais dont les mesures ont des incertitudes faibles. Les chercheurs ont montré qu'un tel système à deux images peut être aussi efficace que ceux à quatre images (qui ont l'inconvénient d'être beaucoup plus rares) pour mesurer la constante de Hubble. La valeur calculée par la collaboration *HoLiCOW* est de 72,5 kilomètres par seconde et par mégaparsec. « En termes statistiques, commente Vivien Bonvin, de l'École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL) et membre de l'équipe, notre résultat corrobore plutôt celui obtenu grâce aux supernovæ, mais il est trop tôt pour conclure. Un important travail sur les incertitudes des uns et des autres est encore nécessaire pour comprendre ces différences. » ■

S. B.

S. Birrer et al., *MNRAS*, en ligne, le 22 janvier 2019

L'EFFET DES VOLCANS NON TROPICAUX

Un préjugé veut que les volcans des zones tempérées ou polaires aient un moindre effet sur le climat. À partir des enregistrements contenus dans les glaces, Matthew Toohey, du centre Helmholtz pour la recherche océanique, à Kiel, en Allemagne, et des collègues viennent de montrer que, depuis l'année 750, les volcans extratropicaux ont produit, à injections égales de composés soufrés dans l'atmosphère, des refroidissements nettement plus grands que ceux causés par les volcans tropicaux.

20 MILLIONS D'ANNÉES DE HOP

Hop, hop, hop fait le kangourou. Depuis quand ? Autour de Wendy Den Boer, du Muséum d'histoire naturelle de Stockholm, des chercheurs ont analysé l'astragale et le quatrième doigt de pied d'un marsupial fossile de plus de 20 millions d'années. Le résultat suggère que l'animal pouvait déjà pratiquer la locomotion par sauts caractéristique des kangourous, que l'on pensait plus récente de 10 millions d'années.

CHINCHERO, SITE INCA OU AÉROPORT ?

La construction imminente d'un aéroport pour drainer les touristes en pays inca menace une série de sites... incas. Plus de 200 experts de cette civilisation apparue vers 1300 viennent d'appeler le président péruvien à déplacer l'emplacement de la structure, actuellement prévu à Chinchero, en plein milieu d'une région très riche en vestiges archéologiques. L'endroit comporte en particulier nombre d'établissements royaux extrêmement bien conservés et des terrasses de cultures d'époque inca, toujours utilisées.

UN DOPAGE ORGANIQUE

L'électronique moderne est avant tout constituée de silicium. Les dispositifs à base de composés organiques, comme les écrans à diodes électroluminescentes organiques (Oled) sont encore très peu utilisés, car les performances des semi-conducteurs organiques sont limitées par un dopage moins efficace. De fait, pour fonctionner, les semi-conducteurs sont « dopés » : l'adjonction de certaines espèces chimiques ajoute des électrons ou en enlève (ou ajoute des « trous ») pour rendre le matériau conducteur. En explorant de nouvelles stratégies de dopage, David Kiefer, de l'université technologique Chalmers, en Suède, et ses collègues ont mis au point un semi-conducteur organique où les molécules dopantes fournissent plus de charges électriques.

Les semi-conducteurs organiques sont des polymères, tels les plastiques, dont la structure est électriquement conductrice. Leur dopage est assuré par l'adjonction de molécules. Mais jusqu'à présent, le dopage n'y transférait généralement qu'une seule charge (électron ou trou) pour dix molécules dopantes environ, alors que dans les semi-conducteurs classiques, à base de matériaux inorganiques tels que le silicium, chaque atome dopant apporte une charge au système.



Hormis les écrans Oled, peu de dispositifs utilisent l'électronique organique du fait d'un rendement faible.

L'équipe de David Kiefer a choisi une molécule dopante, F6TTCNNQ, pour laquelle la capture, non pas d'un, mais de deux électrons est énergétiquement favorable. En l'utilisant pour doper un polymère, p(g42T-TT), où l'énergie nécessaire pour arracher un électron est faible, ils ont formé un semi-conducteur très performant pour lequel l'efficacité du dopage s'élève à 17 charges transférées pour 10 molécules dopantes. Les Oled, mais aussi les cellules photovoltaïques organiques, et les autres dispositifs électroniques organiques devraient bénéficier de ce résultat. ■

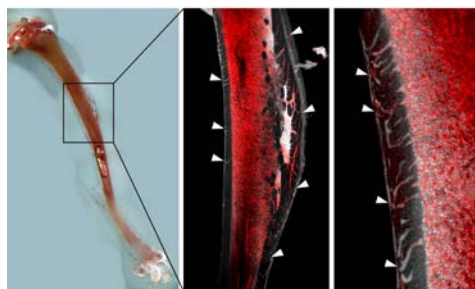
MARTIN TIANO

D. Kiefer et al., *Nature Materials*, vol. 18, pp. 149-155, 2019

MICROVAISSEAUX DANS L'OS

Les cellules du système immunitaire produites par la moelle osseuse parviennent très rapidement à la circulation sanguine. Or les modèles existants ne font état que d'un nombre limité d'entrées artérielles et de sorties veineuses dans les os. Grâce à des techniques de pointe d'imagerie, la microscopie à feuillet de lumière et la microscopie à rayons X, Anika Grüneboom et ses collègues, de l'université de Duisbourg et Essen, en Allemagne, ont mis au jour et caractérisé tout un réseau de centaines de microcapillaires sanguins dans la section perpendiculaire des os longs, chez la souris.

Les chercheurs ont montré que plus de 80% du flux artériel et près de 60% du flux veineux passent par ces microvaisseaux, et non par les vaisseaux principaux anciennement décrits.



En rendant l'os de souris transparent, les chercheurs ont mis en évidence un réseau de microvaisseaux sanguins.

Les chercheurs ont aussi étudié le rôle de ces microvaisseaux dans les pathologies articulaires de l'os telles que l'arthrite, une destruction chronique inflammatoire de l'os. Comme les microvaisseaux véhiculent directement des cellules inflammatoires sur l'os, de nouvelles stratégies thérapeutiques pourraient consister à bloquer cet arrivage. ■

NOËLLE GUILLON

A. Grüneboom et al., *Nature Metabolism*, en ligne le 21 janvier 2019

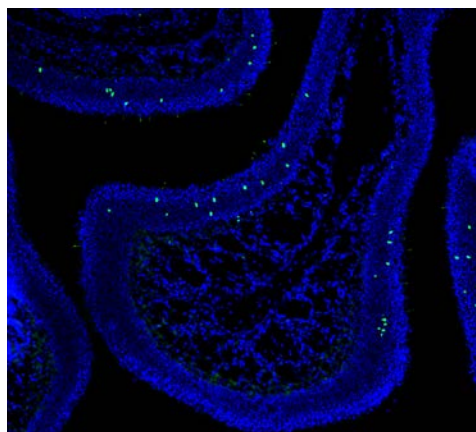
GÉNÉTIQUE

EXPRESSIONS
SÉLECTIVES

La capacité des humains à distinguer de nombreuses odeurs s'appuie sur 400 gènes codant des récepteurs olfactifs (1000 chez la souris). Mais chaque neurone olfactif n'exprime qu'un seul type de récepteur olfactif. Or ces gènes sont situés sur divers chromosomes, et l'on pensait que des gènes portés par des chromosomes différents interagissaient peu. Comment s'opère alors le choix de l'unique gène exprimé dans chaque neurone? Kevin Monahan, de l'université Columbia, aux États-Unis, et ses collègues ont montré que des regroupements interchromosomiques, à la fois des gènes de récepteurs olfactifs et de leurs gènes activateurs, contribuent à cette sélection.

Grâce à une technique d'imagerie qui permet d'analyser l'organisation spatiale dans le noyau cellulaire de la chromatine (la structure dans laquelle l'ADN est compacté), les chercheurs ont montré que les chromosomes interagissent bien plus qu'on ne le pensait. Ainsi, les gènes codant les récepteurs olfactifs et leurs activateurs, bien que situés sur différents chromosomes, se rassemblent en amas denses, les regroupements interchromosomiques.

Kevin Monahan et ses collègues ont précisé, chez la souris, que les regroupements interchromosomiques de gènes olfactifs se



Sur cette coupe de l'épithélium olfactif, dans la cavité nasale, les neurones exprimant le récepteur olfactif Olfr17 sont marqués (en vert).

forment dans un état intermédiaire de développement du neurone. L'expression de ces gènes est alors inhibée. Puis, dans les neurones olfactifs matures, grâce à l'action d'un complexe protéique spécifique, les gènes activateurs forment un amas distinct d'où ils contrôlent l'expression d'un unique gène codant un récepteur olfactif. Bien que spécifique à l'odorat, cette découverte suggère que les interactions interchromosomiques pourraient jouer un rôle central dans des mécanismes de sélection de gènes assurant d'autres fonctions. ■

ALINE GERSTNER

K. Monahan et al., *Nature*, vol. 565, pp. 448-453, 2019

BIOLOGIE VÉGÉTALE

LES FEUILLES
SE REBIFFENT

Malgré leur immobilisme apparent, les végétaux sont loin d'être démunis face aux stress de l'environnement tels que sécheresse, salinité ou infections bactériennes. Par exemple, la production d'acide abscissique dans les feuilles permet d'activer des mécanismes qui limitent les pertes en eau, tandis que l'acide salicylique induit l'émission de substances bactéricides. Cependant, Kenichi Tsuda et ses collègues, de l'institut Max-Planck à Cologne, en Allemagne, ont montré que les feuilles jeunes d'*Arabidopsis thaliana*, l'arabette des dames, étaient plus robustes contre les bactéries, tandis que les vieilles résistaient mieux au sel. Ils ont de plus précisé les mécanismes biochimiques qui régulent la concentration des acides abscissique et salicylique en fonction de l'âge de la feuille.



Selon leur âge, les feuilles d'*Arabidopsis thaliana* se défendent différemment contre les stress extérieurs.

Mais quel avantage présente cette défense? Les chercheurs ont constaté que produire les deux substances simultanément est très coûteux pour la plante. Puis ils ont montré qu'une attaque bactérienne ralentissait la croissance, tandis que la salinité réduisait la production de fruits. La défense modulée selon l'âge des feuilles offre donc à la plante le meilleur compromis. ■

CORALINE MADEC

M. L. Berens et al., *PNAS*, vol. 116(6), pp. 2364-2373, 2019

EN BREF

DES MÉTASURFACES
ACOUSTIQUES

Thomas Brunet, de l'université de Bordeaux, et ses collègues ont développé un nouveau type de métasurface acoustique. Elle est constituée d'un élastomère à base de silicone et sa porosité contrôle son indice de réfraction acoustique. Le matériau est souple, peu coûteux, simple à utiliser et opère dans l'eau et sur une large bande de fréquences ultrasonores. Il permet par exemple de focaliser des ondes sonores ou de produire des « vortex acoustiques » qui agissent comme des pinces pour manipuler à distance de petits objets, comme des cellules biologiques.

UN ROBOT, ROI DE
LA CONSTRUCTION

Le jeu Jenga consiste en une tour formée de blocs de bois dont les joueurs doivent ôter un élément et le placer en haut de la structure sans la faire s'effondrer. Nima Fazeli et ses collègues, du MIT, ont développé un bras robotisé, piloté par une intelligence artificielle, qui a appris à jouer à ce jeu. L'originalité de ce dispositif est qu'il utilise des stimuli visuels et tactiles pour choisir la pièce à déplacer.

UN PAPILLON SOURD
ET BRUYANT

Une stratégie évolutive de défense contre les prédateurs consiste à prévenir ces derniers qu'on a mauvais goût. Si le signal prend souvent la forme de couleurs vives, il est souvent ultrasonore pour les papillons de nuit. Par exemple, quand *Arachnis aulaea* détecte une chauve-souris, il actionne des muscles reliés à un système qui émet des ultrasons. Liam O'Reilly, de l'université de Bristol, et ses collègues ont découvert que des papillons du genre *Yponomeuta*, sourds donc incapables de détecter les chauves-souris, ont une structure particulière sur leurs ailes, qui produit des ultrasons en permanence quand ils volent.

Cette année, la Société française de physique a choisi de distinguer Azar Khalatbari pour son travail de journaliste scientifique. Responsable des sciences de l'Univers du magazine *Sciences et Avenir*, elle donnera une conférence sur les méandres du métier de journaliste scientifique, à travers des exemples d'actualités sur la physique et l'astrophysique.

EN PARTENARIAT AVEC



Palais
DÉCOUVERTE

prix Jean Perrin : la vulgarisation récompensée

remise de prix et conférence accès gratuit

— mercredi 13 mars à 19h



©Olivier Lasar

Palais
DÉCOUVERTE

remuer ciel et Terre

cycle de conférences accès gratuit

— les mercredis à 19h

20 mars

Les courants marins changent de cap

Didier Swingedouw, climatologue, université de Bordeaux, CNRS.

27 mars

Croûte terrestre : craquements et tremblements

Pascal Bernard, sismologue et physicien du Globe à l'Institut de physique du Globe de Paris (IPGP).

3 avril

Parker Solar Probe : au plus près du Soleil

Thierry Dudok de Wit, enseignant-chercheur, CNRS, université d'Orléans.

10 avril

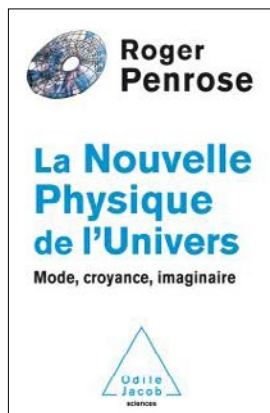
Gravity : observer le centre de la galaxie pour tester les théories

Guy Perrin, astronome, Observatoire de Paris.

17 avril

Mouvements contraires : des super-amas à l'expansion de l'Univers

Mickaël Rigault, chargé de recherche CNRS/IN2P3.



COSMOLOGIE

LA NOUVELLE PHYSIQUE DE L'UNIVERS

Roger Penrose
Odile Jacob, 2018
576 pages, 39 euros

La science est une méthode visant à construire un savoir commun sur la nature. Il s'agit d'une activité humaine, dont les développements sont sujets aux modes, aux croyances et à l'imaginaire. C'est ce que nous montre ici le célèbre physicien Roger Penrose en nous invitant dans les coulisses de la recherche sur les théories physiques et cosmologiques.

Les modes naissent de l'espoir que suscitent les potentialités de théories souvent encore non abouties; comme au temps des ruées vers l'or, on voit des domaines prometteurs attirer des chercheurs curieux d'explorer leurs implications; ils réalisent parfois de belles avancées, mais, le plus souvent, la source d'idées stimulantes se tarit et la mode passe.

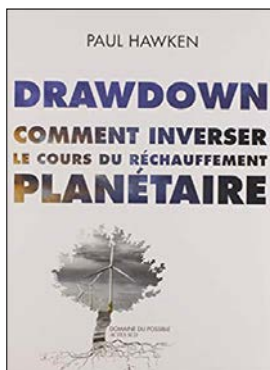
L'imaginaire, ensuite, est au cœur de la recherche dans des disciplines qui révèlent des propriétés de la nature; il nous aide à naviguer dans des théories abstraites, à parier sur les façons dont le monde pourrait être et donc à choisir les thèmes sur lesquels passer du temps.

Quant aux croyances, elles sont source d'inertie, car accepter de nouvelles idées implique d'accepter aussi une nouvelle vision du monde, de sorte que, souvent, les théories portent plus loin que le regard de ceux qui les formulent.

Rompu à ces réalités sociales de la recherche théorique, Roger Penrose louvoie dans ce livre entre consensus et spéculations. Il aborde aussi bien le modèle du Big Bang et de l'inflation que la théorie des twisteurs chère à son cœur, en touchant aussi à de nombreux aspects de la théorie des cordes. Il consacre aussi de bonnes pages à la cosmologie conforme cyclique, l'une des dernières idées qu'il essaie de promouvoir. Dans son style singulier, il expose ses réflexions sur les théories modernes, leur futur, sans éluder leurs aspects et leur vocabulaire techniques.

JEAN-PHILIPPE UZAN

INSTITUT D'ASTROPHYSIQUE DE PARIS



ÉCOLOGIE-CLIMATOLOGIE

DRAWDOWN - COMMENT INVERSER LE COURS DU RÉCHAUFFEMENT PLANÉTAIRE

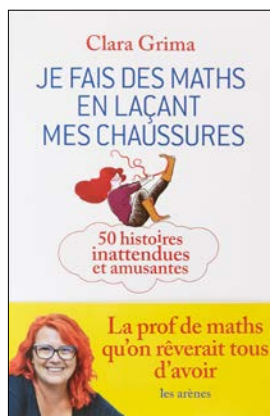
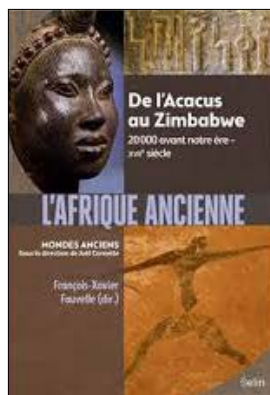
Paul Hawken (dir.)
Actes Sud, 2018
576 pages, 35 euros

De plus en plus de citoyens sont convaincus de la réalité du changement climatique et de ses causes anthropiques. Vu l'urgence, il est bienvenu de présenter des solutions pratiques allant au-delà de l'implantation de «panneaux solaires et d'ampoules de basse consommation». Rédigé par 70 acteurs de la recherche et des politiques publiques, ce livre présente un plan pour inverser en trente ans l'augmentation de la concentration du dioxyde de carbone dans l'atmosphère. Tous ces acteurs sont membres d'un réseau coordonné par Paul Hawken, un spécialiste de l'environnement qui ne mâche pas ses mots: «Il est certes difficile d'assister à l'effondrement toujours plus rapide de nos systèmes environnementaux ou d'être témoin de la désintégration mondiale de la civilisation qui se fracture en partis, en idéologies et en guerres. Ce qui nous attend n'est pas le choix d'un camp ou de l'autre, mais la prise de conscience que nous sommes les gardiens de la planète. Soit nous lutterons, tous ensemble, contre le réchauffement planétaire, soit, selon toute probabilité, notre espèce disparaîtra.»

Quatre-vingts propositions concrètes sur l'énergie, l'alimentation, le bâtiment, l'agronomie, le transport sont passées en revue. Leur contribution à l'ensemble du projet est chiffrée. Certaines des mesures proposées dans cette feuille de route à l'usage des gouvernements, des collectivités et des particuliers sont inattendues: éducation des filles, planning familial... Leur efficacité dans la réduction de la concentration atmosphérique de dioxyde de carbone serait pourtant première!

PIERRE JOUVENTIN

ÉTHOLOGUE ÉMÉRITE AU CNRS



ARCHÉOLOGIE

L'AFRIQUE ANCIENNE

François-Xavier Fauvelle (dir.)

Belin, 2018

680 pages, 49 euros

Le titre de cet ouvrage magistral aurait pu être « Histoire mondiale de l'Afrique ». Dirigés par le célèbre historien de l'Afrique François-Xavier Fauvelle, les auteurs montrent bien que les civilisations africaines furent à divers degrés parties prenantes des premiers systèmes-mondes (des premières mondialisations) qui se sont succédé depuis l'Antiquité.

Trois parties le constituent.

La première couvre la chronologie allant de l'origine de la civilisation de l'Égypte pharaonique jusqu'à l'ouverture de la traite atlantique au XVII^e siècle, en passant par la Nubie, l'Éthiopie, le monde swahili, les États islamisés d'Afrique subsaharienne, le creuset des civilisations forestières du golfe de Guinée, etc. L'aspect historique de cette première partie n'empêche pas de passionnantes réflexions sur la nature profonde de l'écrit dans ce continent ou sur les mécanismes ayant mené à l'ouverture de la traite atlantique.

Thématisée, la seconde partie traite des phénomènes à l'origine de la diversité culturelle depuis 20 000 ans. On y trouvera notamment des chapitres synthétiques sur le pastoralisme, la métallurgie, les chasseurs-cueilleurs... En mettant l'accent sur le temps long des processus, les auteurs de cette seconde partie rééquilibrent le propos en faveur des sociétés orales, quelque peu obliées dans la première partie par la surreprésentation des sociétés avec écriture.

Intitulée « L'atelier de l'historien », la dernière partie interroge et complète les démarches diachroniques propres aux historiens et aux archéologues.

Au final, un remarquable ouvrage – l'un des rares disponibles sur l'histoire du plus grand des continents –, où l'on ne cesse d'être ébloui par la tenue des textes et par la qualité d'illustrations toujours choisies avec tact.

GEOFFROY DE SAULIEU
PALOC, IRD, PARIS

MATHÉMATIQUES

JE FAIS DES MATHS EN LAÇANT MES CHAUSSURES

Clara Grima

Arènes, 2018

315 pages, 20 euros

La vulgarisation scientifique est un art difficile que Clara Grima, enseignante-chercheuse espagnole, maîtrise parfaitement. Elle propose une série de textes courts (quelques pages) et illustrés sur les mathématiques cachées dans notre quotidien.

On apprend ainsi l'existence de 43 200 façons différentes de lacer ses chaussures et lesquelles sont les plus solides ou nécessitent la plus petite longueur de lacet. Plusieurs exemples portent sur les réseaux : réseaux sociaux, Twitter, Facebook, le théorème de Frobenius et le moteur de recherche de Google, les réseaux des personnages de *Game of Thrones* qui permet de découvrir que le personnage le plus important lors des premières saisons n'est pas la célèbre Khaleesi !

Mais Clara Grima donne aussi des applications concrètes : la propagation des épidémies selon un réseau de voisins et pourquoi les vaccins restent utiles. On apprend également comment fonctionne le codage des images par Jpeg, la localisation par GPS ou comment faire passer un canapé le plus grand possible dans un couloir en L. Plus original, on découvre qu'on peut « entendre » la forme d'un tambour, c'est-à-dire que deux tambours de formes différentes ne produisent pas le même son.

Ce livre instructif et agréable à lire, riches de dessins clairs, donne de nombreux exemples de l'intérêt des mathématiques pour comprendre le monde contemporain.

PIERRE BERTRAND
LABORATOIRE DE MATHÉMATIQUES,
UNIVERSITÉ CLERMONT-AUVERGNE

ET AUSSI



SUPERNOVA

Marco Zito

Belin, 2018

236 pages, 19 euros

Physicien à l'Institut de recherche sur les lois fondamentales de l'Univers du CEA, l'auteur nous raconte comment les astronomes ont, de siècle en siècle, observé et interprété les phénomènes surprenants du ciel nocturne que sont les supernovæ. Il explique ensuite comment, au XX^e siècle, après que les astrophysiciens ont compris comment les éléments sont formés dans les étoiles et les éléments lourds dans les supernovæ, ils ont enfin réussi à modéliser efficacement ces étoiles explosives.

ERECTUS

Xavier Müller

XO, 2018

440 pages, 19,90 euros

Comment réagirions-nous si un virus faisait régresser le vivant contaminé – y compris les humains – à un stade préhistorique ? C'est la question que pose l'auteur de ce roman d'anticipation. Journaliste scientifique, il y répond dans un thriller à la fois haletant et documenté, où les recherches, la découverte du virus, l'effarement, la panique, les décisions sont racontées à toutes les échelles, de l'individu à la planète. À l'exception du virus, les faits scientifiques sur lesquels repose l'histoire sont avérés... et les rouages des décisions de santé publique tout à fait plausibles.

MOGOK, LA VALLÉE DES PIERRES PRÉCIEUSES

Kennedy Ho

Glénat, 2018

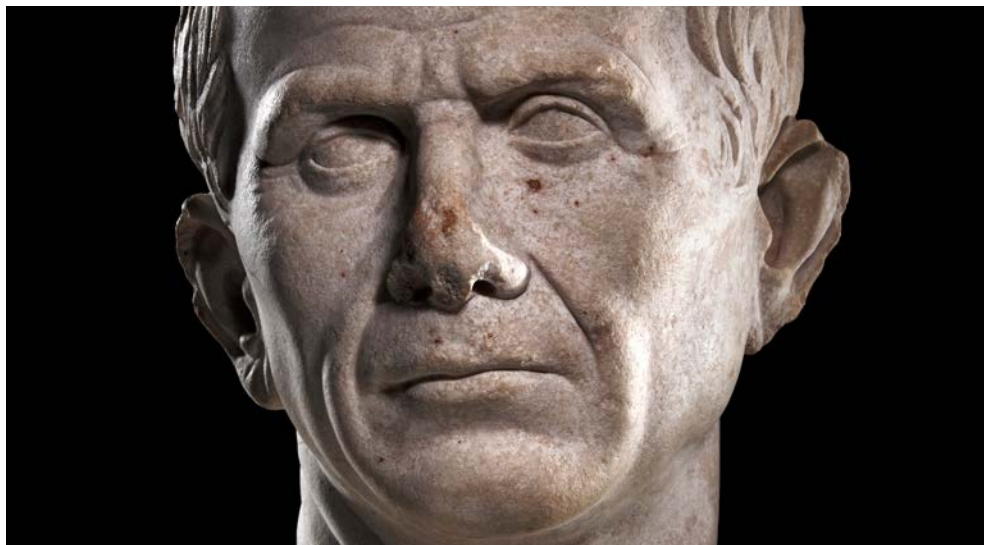
192 pages, 39,50 euros

Les fameux rubis des joyaux mérovingiens provenaient de Birmanie. Là, la vallée de Mogok concentre artisanat minier traditionnel et semi-industriel. Ce reportage scientifique sous forme de beau livre fascine en nous révélant l'industriel et habile artisanat des populations locales. Depuis des milliers d'années, elles fournissent les lapidaires du monde entier, mais aussi la géologie et la science des rubis, péridots et autres saphirs.

GENÈVE

JUSQU'AU 26 MAI 2019
Musée d'art et d'histoire
www.mah-geneve.ch

César et le Rhône



En 46 avant notre ère, Jules César fonda la colonie d'Arles, sur le Rhône, qui a prospéré durant trois siècles. Devenue un port méditerranéen important, relié par le même fleuve à Genève, porte d'entrée vers l'Europe septentrionale, Arles la romaine a laissé de nombreux vestiges et objets. Certaines de ces pièces n'ont été découvertes que très récemment lors de fouilles subaquatiques, tel ce buste (*ci-dessus*) représentant peut-être Jules

César et qui a été mis au jour en 2007. L'exposition présente plus de 400 pièces remarquables provenant notamment du Musée départemental Arles antique et du musée du Louvre, ainsi que des collections du musée genevois. Immérgé dans le passé d'Arles et de Genève, le public pourra par exemple admirer, outre le buste présumé de Jules César, de belles statuettes en bronze, des objets du quotidien, une rare roue de chariot, un coffret en bois... ■

GRENOBLE

JUSQU'AU 28 JUILLET 2019
Muséum de Grenoble, La Casemate et le campus
www.lesmondesinconnus.fr

Les mondes inconnus



Décollage immédiat ! Après l'obtention de votre permis pour l'espace, vous embarquez en tant que membre d'équipage de l'Osgus. Il vous faudra alors résoudre des énigmes, poser votre vaisseau et vous assurer que tout ira pour le mieux sur votre nouvelle planète. L'occasion pour le jeune public de découvrir notre galaxie, d'expérimenter et de toucher Mars et la Lune. ■

FRANCE ET AILLEURS

DU 11 AU 17 MARS 2019
Lieux divers
www.semaineducerveau.fr

Semaine du cerveau



Pour sa vingt et unième édition, ce rendez-vous des neurosciences, devenu incontournable, continue d'explorer notre cerveau. Dans toute la France, des spécialistes débattent avec le public sur des thèmes tels que l'addiction, le rôle des astrocytes ou l'intelligence artificielle, à la lumière des dernières découvertes de la science. ■

ET AUSSI

Mercredi 6 mars, 14 h
UFR de droit, université de Poitiers
<https://emf.fr/>
Tél. 05 49 45 30 00

CRÉATIONNISME ET CONSPIRATIONNISME

Thomas C. Durand, ex-chercheur en biologie, écrivain et auteur de la chaîne YouTube « La Tronche en biais », souligne une mécanique de la croyance commune au créationnisme et au conspirationnisme.

Jeudi 14 mars, 12 h 30
Université Paul-Sabatier, Toulouse

IDÉES REÇUES ET VACCINS

Nicolas Fazilleau, chercheur à l'Inserm, explique quels sont les différents types de vaccins, précise leur efficacité et commente les idées reçues qui ont beaucoup circulé récemment.

Vendredi 15 mars, 18 h
Thonon-les-Bains (74)
www.univ-smb.fr/amphis
COMMUNICATION DES PLANTES

Geneviève Chiapusio, de l'université de Franche-Comté, explique ce que l'on sait du langage chimique utilisé par les plantes pour interagir avec leur environnement. Également le jeudi 21 mars à Albertville.

Mardi 19 mars, 20 h 30
Muséum de Nantes
www.museum.nantes.fr
LES VIRUS MARINS

Une conférence sur les virus qui vivent dans les océans et leur place dans l'écosystème, par Anne-Claire Baudoux, chercheuse du CNRS à la station biologique de Roscoff.

Mardi 26 mars, 20 h 30
Les Champs Libres, Rennes
www.espace-sciences.org
ILS ONT MARCHÉ SUR LA LUNE

Philippe Henarejos, journaliste scientifique et auteur du livre éponyme, retrace les principaux aspects des explorations menées lors des six expéditions lunaires.

PARIS

JUSQU'AU 11 AOÛT 2019
Palais de la Découverte
www.palais-decouverte.fr

Poison



Les minéraux, les plantes et les animaux présentent une multitude de substances toxiques. Sans ignorer les deux premières classes, cette exposition se concentre sur les poisons d'origine animale. Son principal intérêt réside dans les terrariums qui montrent au public trente espèces vivantes, parmi les plus vénéneuses ou venimeuses: le célèbre mamba noir et d'autres serpents redoutables, des grenouilles joliment colorées qui exsudent du poison à travers leur peau, des mygales, des scorpions, des punaises... Et l'on apprendra notamment que cinq mammifères sont venimeux et trois oiseaux sont toxiques. ■

PARIS

EXPOSITION PERMANENTE
Aquarium de Paris
www.aquariumdeparis.com

Médusarium

Après trois ans de travaux, le médusarium de l'Aquarium de Paris vient d'être inauguré. Cette installation qui présente des méduses bien vivantes se hisse au rang des quatre ou cinq aquariums dans le monde où l'on peut voir évoluer avec grâce autant d'espèces. Car l'élevage de méduses est complexe et nécessite un savoir-faire particulier – que le personnel de l'Aquarium de Paris est allé perfectionner auprès des grands experts, au Japon.

Ainsi, vingt-quatre bassins de présentation montrent une vingtaine d'espèces de méduses (choisies par roulement parmi la cinquantaine qui sont élevées au laboratoire, lequel est équipé d'une centaine de bassins). Le visiteur



peut ainsi assister au spectacle magique des pulsations de ces organismes si beaux et si fragiles, tout en se familiarisant avec le cycle de vie, la biologie et l'écologie de ces cnidaires. Et cela sans craindre leurs piqûres, plus ou moins redoutables selon les espèces! ■

CHARLEROI (BELGIQUE)

JUSQU'AU 6 SEPTEMBRE 2019
Centre de culture scientifique
www.ulb.ac.be/ccs-nouveau/



Amesurons-nous!

C'est un voyage dans le temps et dans l'espace que nous offre cette exposition. Coudée, boisseau, muid, litron... autant de termes fleuris pour donner les mesures d'une époque révolue. La normalisation et l'étalonnage donnent lieu à des expérimentations (pour les plus jeunes), mais surtout offrent une réflexion plus large sur l'utilité de mesurer pour mieux communiquer. Un voyage d'initiation à la découverte de la métrologie et du rôle indispensable qu'elle joue dans la société. ■

SORTIES DE TERRAIN

Samedi 2 mars, 14 h 30
Saint-Herblain (44)
Tél. 02 40 50 13 44
www.bretagne-vivante.org

BRYOPHYTES, FOUGÈRES, LICHENS

Il n'y a pas que les conifères et les plantes à fleurs dans la vie ! Cette sortie est l'occasion de faire connaissance avec des végétaux plus discrets, et néanmoins fascinants.

Samedi 2 mars, 20 h
Saint-Sulpice (Lot)
Tél. 05 65 22 28 12

MYSTÈRES AU CRÉPUSCULE

Une excursion pour découvrir, dans les Causses du Quercy, le monde envoûtant de la nuit et les animaux plus ou moins connus qui l'animent.

Samedi 16 mars, 19 h 45
Huriel (Allier)

Tél. 04 70 28 21 83
nuitdelachouette.lpo.fr

NUIT DE LA CHOUETTE

Comme dans le reste du pays, on célèbre ce mois-ci la chouette et ses cousins. Cette sortie de terrain est précédée d'une conférence sur les rapaces nocturnes.

Dimanche 24 mars, 9 h 30
Alpes-de-Haute-Provence
Tél. 06 20 28 29 65

www.cen-paca.org

TERRASSES GLACIAIRES

Balade géologique dédiée aux terrasses qui longent la Moyenne Durance.

Vendredi 29 mars, 19 h
Les Mayons (Var)

Tél. 04 42 20 03 83
www.cen-paca.org

À L'ÉCOUTE DES GRENOUILLES

Les grenouilles présentes en Provence font d'abord l'objet d'un diaporama en salle avant d'être recherchées sur le terrain, dans la plaine des Maures qui en abrite sept espèces.

Dimanche 31 mars, 9 h 30
Forêt de Nanteau-Poligny (Seine-et-Marne)
Tél. 01 64 22 61 17

www.anvl.fr

LICHÉNLOGIE

Une journée d'excursion dédiée aux lichens.



LA CHRONIQUE DE
GILLES DOWEK

EN MARS, MÉFIEZ-VOUS DE LA PARITÉ

Le « bit de parité » est une méthode simple de détection d'erreur dans un message. Un principe utilisé dans d'autres situations, mais qui n'est pas infallible !



À l'instar du bit de parité, les deux derniers chiffres du numéro de Sécurité sociale constituent une clé de contrôle pour détecter une erreur.

Il arrive qu'un canal de communication soit imparfait et que le message reçu par le destinataire soit un peu différent de celui envoyé par l'émetteur. Une façon de corriger de telles erreurs consiste à tripler chaque lettre et à envoyer, par exemple, le message «pppooouuurrrlllaaassccciieennncceee». Ainsi, quand une lettre est altérée lors de la transmission et que le message devient «pppooauurrrlllaaassccciieennncceee», il est facile de reconstituer le message original, car le triplet «ooo» est probablement une altération du triplet «ooo», qui exprime la lettre «o». Le message n'est durablement altéré, ou rendu indéchiffrable, que si deux lettres du même triplet sont simultanément altérées, par exemple si «ooo» est altéré en «oaa» ou en «oab».

Cette technique implique de tripler la taille des messages à transmettre. Une solution moins coûteuse consiste à simplement doubler chaque lettre: «ppooourrrllaassccciieennncceee». Dans ce cas, il est impossible de corriger les erreurs, mais il est possible de les détecter: si, par

exemple, le message reçu est «ppoaaurrrllaassccciieennncceee», nous ne savons pas quelle était la deuxième lettre du message original, mais nous voyons qu'elle a été altérée et nous pouvons la redemander à l'expéditeur. À nouveau, le message n'est durablement altéré que si deux lettres du même couple sont altérées, si «oo» par exemple est altéré en «aa».

L'idée elle-même existe depuis la nuit des temps

Mais même cette seconde méthode augmente trop la taille des messages. Une méthode plus économique consiste à associer un nombre de 0 à 25 à chaque lettre de l'alphabet, à ajouter les nombres correspondant à chaque lettre du message, à prendre le reste de la division de

ce nombre par 26 et à associer une lettre à ce nombre.

Par exemple, avec le message «pourlascience», nous obtenons $15 + 14 + 20 + 17 + 11 + 0 + 18 + 2 + 8 + 4 + 13 + 2 + 4 = 128$, dont le reste de la division par 26 est 24, qui correspond à la lettre «y». Nous exprimons alors ce message en ajoutant cette unique lettre – dite «de parité» – à la fin: «pourlasciencey». Pour vérifier que le message n'a pas été altéré, le destinataire n'a qu'à ôter cette dernière lettre, faire lui-même le même calcul et vérifier qu'il obtient, lui aussi, la lettre «y». Si ce n'est pas le cas, par exemple s'il reçoit le message «paurlasciencey», il détectera l'erreur. Ajouter ainsi une seule lettre à un message de 13 lettres n'augmente sa longueur que de 8% et permet de détecter une erreur, sauf quand deux altérations simultanées se compensent. Cette méthode est souvent utilisée dans un système binaire (avec un alphabet de deux lettres) – d'où le nom de «lettre de parité» ou «bit de parité».

Cette notion de «code correcteur d'erreur», c'est-à-dire l'introduction d'une redondance dans un message afin de détecter d'éventuelles erreurs de transmission, est souvent attribuée à Claude Shannon, qui l'a théorisée en 1948. Mais l'idée elle-même existe depuis la nuit des temps. Par exemple, dans l'expression des dates, nous pourrions écrire «le 1^{er} mai 2019», mais nous écrivons souvent «le mercredi 1^{er} mai 2019», où le jour de la semaine «mercredi» est redondant. Mais si le message est altéré en «le mercredi 2 mai 2019», «le mercredi 1^{er} juin 2019» ou «le mercredi 1^{er} mai 2020», ce jour de la semaine nous permet de détecter l'erreur, car ces dates correspondent respectivement à un jeudi, un samedi et un vendredi.

Mais il est un cas où cette méthode ne marche pas: le 25 mars 2019 est un lundi et le 25 février 2019 aussi, car le mois de février dure 28 jours, qui est un multiple de 7. Si nous nous trompons en notant un rendez-vous en mars, l'erreur ne sera pas détectée: en mars, méfiez-vous de la parité. ■

GILLES DOWEK est chercheur à l'Inria et membre du conseil scientifique de la Société informatique de France.