

VIROLOGIE

LA STRATÉGIE DU VIRUS EN PIÈCES DÉTACHÉES

Le virus FBNSV, dont le génome est scindé en huit segments, colonise son hôte, une légumineuse, en confiant la lecture de chaque segment à une cellule différente.

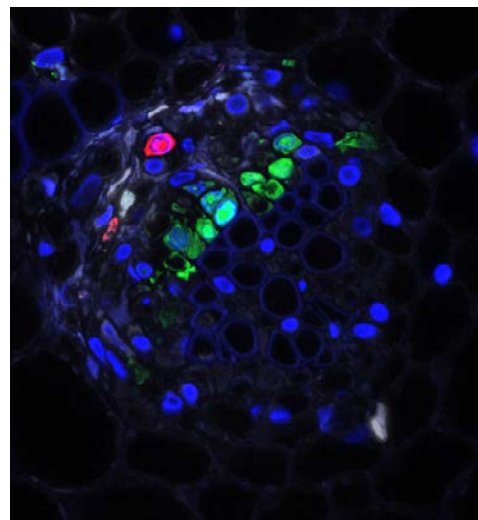
Le puceron s'installa sur la tige de la fève et se mit à aspirer sa sève. Emporté par les mouvements du fluide, le virus FBNSV quitta la trompe de l'animal et s'infiltra dans la plante, qu'il commença immédiatement à coloniser. Oui, mais comment ? Dans une attaque virale classique, chaque particule virale contient tout le matériel génétique du virus et se duplique en trompant une cellule hôte, laquelle se met alors à lire son génome et à produire de nouvelles particules virales.

Mais le virus FBNSV, responsable d'une maladie des légumineuses, a la particularité d'être multipartite : son génome est scindé en plusieurs segments – huit exactement – chacun porté par une particule virale différente, et il a besoin du matériel codé sur ces huit segments pour se propager. Or s'il doit attendre qu'un exemplaire de chaque segment infecte une même cellule de la fève, ses chances sont très faibles. De nombreux virus multipartites sont connus depuis les années 1960, mais personne n'avait résolu cette énigme, jusqu'aux derniers travaux d'Anne Sicard et ses collègues, dans l'équipe de Stéphane Blanc, à l'Inra de Montpellier.

Les biologistes ont d'abord confirmé, à l'aide de marqueurs fluorescents, que les différents segments du génome viral sont rarement présents en même temps dans une même cellule de la plante infectée. Au contraire, les segments semblent s'accumuler dans les cellules de façon totalement indépendante, y compris trois d'entre eux qui codent chacun une fonction essentielle du virus : la réplication de son ADN, son encapsulation dans une coque (capside) et le déplacement de la particule virale.

En d'autres termes, il est peu probable qu'une cellule infectée dispose du matériel viral nécessaire pour produire de nouvelles particules virales. Sauf si, d'une façon ou d'une autre, le matériel codé par un segment et exprimé dans sa cellule hôte circule d'une cellule à l'autre. Pour rechercher un tel phénomène, Stéphane Blanc et ses collègues ont examiné si les cellules capables de répliquer le segment d'encapsulation contenaient à la fois le segment de réplication et la protéine qu'il code (nommée M-Rep), ou seulement la

Marqués chacun à l'aide d'une molécule fluorescente, deux segments différents du génome du virus FBNSV (en vert et en rouge) apparaissent localisés dans des cellules différentes de la plante hôte (en bleu).



17 %

DE TOUTES LES SORTES DE VIRUS CONNUES SONT MULTIPARTITES. CETTE PROPRIÉTÉ LEUR CONFÉRERAIT DONC UN AVANTAGE ÉVOLUTIF, MAIS LEQUEL ? LA QUESTION RESTE OUVERTE...

protéine. Résultat : si le segment de réplication n'était présent que dans environ 40% des cellules, la protéine M-Rep en occupait, elle, près de 85%. La protéine (ou son ARN messager, un intermédiaire de fabrication) était donc capable de quitter la cellule qui l'avait produite (cellule avec segment de réplication) et d'entrer dans une autre.

La force du virus FBNSV réside donc dans la capacité des produits de ses gènes à se déplacer d'une cellule à une autre. Comment ? La question reste entière, mais les chercheurs soupçonnent chaque segment d'avoir sa propre méthode, qu'il s'agit à présent de mettre au jour. Et ce n'est pas leur seule interrogation. Par exemple, comment le virus passe-t-il du puceron à la plante ? En 2018, la même équipe a en effet montré que le nombre de particules virales transmises par un puceron est, pour certains segments du génome, si faible qu'il faudrait qu'une centaine de pucerons infectés inoculent le virus à la même plante pour que tous les segments soient injectés. Or tous les pucerons étant loin d'être infectés, la probabilité qu'une telle avalanche d'attaques se produise est infime... Les virus multipartites sont décidément loin d'avoir révélé tous leurs mystères. ■

MARIE-NEIGE GORDONNIER

A. Sicard *et al.*, *eLife*, article e43599, 2019 ; R. Gallet *et al.*, *J. of Virology*, vol. 92(14), article e00139-18, 2018

33 EST LA SOMME DE TROIS CUBES

À l'exception de ceux dont le reste de la division par 9 est 4 ou 5, tous les nombres entiers positifs peuvent-ils s'écrire comme la somme de trois entiers (positifs ou négatifs) au cube? Faute de démonstration, les mathématiciens cherchent des solutions au cas par cas, surtout pour les entiers inférieurs à 100. Et la tâche n'est pas toujours évidente.

Certaines solutions sont simples, à l'image de $29 = 3^3 + 1^3 + 1^3$, mais dans d'autres cas les solutions impliquent des nombres gigantesques. Grâce à un algorithme optimisé et un supercalculateur, Andrew Booker, de l'université de Bristol, a obtenu une solution pour le nombre 33: il est égal à $8866128975287528^3 + (-8778405442862239)^3 + (-2736111468807040)^3$. Parmi les entiers positifs inférieurs à 100, il ne reste plus qu'un cas à résoudre: 42! ■

S. B.

A. R. Booker, en ligne le 11 mars 2019
<https://arxiv.org/abs/1903.04284>

PIÈGE À ROSÉE AMÉLIORÉ

Une façon de collecter la rosée est d'utiliser des surfaces inclinées. Mais il faut amener les gouttes à se former et glisser le plus vite possible avant que le soleil levant ne les fasse s'évaporer. Daniel Beysens, de l'ESPCI, et ses collègues ont microstructuré des surfaces avec des stries: les gouttes grossissent et glissent alors plus vite que sur une surface lisse.

Lorsque l'humidité se condense sur une surface lisse, elle forme d'abord de petites gouttes, qui fusionnent avec leurs voisines pour former de plus grandes gouttes, lesquelles finissent par glisser. Sur leur surface striée, les chercheurs ont observé que les rainures canalisent l'eau, qui forme des filaments reliant des gouttes même éloignées. Quand cela se produit, les petites gouttes se vident dans les plus grosses. Grâce à cette interaction à distance, les grosses gouttes grandissent plus vite, débordent sur plusieurs rainures et se connectent sur de nouveaux filaments, ce qui accélère d'autant leur croissance. Une solution simple, robuste et peu coûteuse. ■

S. B.

P.-B. Bintein *et al.*, *Phys. Rev. Lett.*,
 vol. 122, 098005, 2019

COMMENT LES TERMITIÈRES SE VENTILENT



Dans les termitières (ici en Australie), la concentration de dioxyde de carbone et la température sont finement régulées.

Les termites sont des bâtisseurs hors pair. Dépassant parfois plusieurs mètres de hauteur, les termitières sont des structures où la température, l'humidité et la concentration de gaz, dont le dioxyde de carbone, sont finement régulées. Guy Theraulaz, du Centre de recherches sur la cognition animale, à Toulouse, et ses collègues ont analysé des parois de nids pour mieux comprendre comment s'opère cette régulation.

Les chercheurs ont étudié deux termitières construites par l'espèce *Trinervitermes germinatus*, l'une au Sénégal et l'autre en Guinée. Ils ont d'abord numérisé la structure interne des habitats, à l'aide d'un scanner aux rayons X, puis ils ont examiné les parois plus en détail en analysant des échantillons par microtomographie aux rayons X. Ces parois présentent des pores de tailles comprises entre quelques micromètres et la centaine de micromètres. Les pores de grande taille sont interconnectés, ce qui augmente la perméabilité des parois et donc les échanges gazeux entre l'intérieur du nid et l'extérieur.

Grâce à une simulation en 3D des écoulements d'air dans la termitière, Guy Theraulaz et ses collègues ont confirmé que la porosité des parois joue bien un rôle crucial dans l'évacuation du dioxyde de carbone. Par ailleurs, comme les pores sont remplis d'air et que celui-ci est un bon isolant thermique, les parois assurent aussi la thermorégulation de la termitière. La diffusion de la chaleur du soleil vers l'intérieur de la structure est réduite, ce qui évite la surchauffe et assure le maintien d'une température constante. Autre avantage des pores de grande taille, ils réduisent de 11 à 14% la quantité de matériau nécessaire pour construire la termitière: de quoi bâtir plus vite une structure qui sera aussi plus légère. Autant d'idées pour inspirer les architectes humains? ■

S. B.

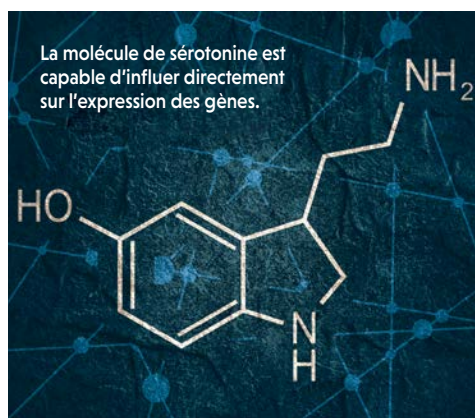
K. Singh *et al.*, *Science Advances*,
 vol. 5, article eaat8520, 2019

BIOLOGIE MOLÉCULAIRE

SÉROTONINE ET ÉPIGÉNÉTIQUE

Dans le noyau d'une cellule, l'ADN se trouve en général sous une forme compactée, la **chromatine**, où la molécule est enroulée autour de protéines, les histones. Lorsque certains groupes chimiques (méthyl, acétyl, etc.) se fixent sur une histone, la conformation de cette dernière change et l'enroulement de l'ADN devient plus lâche (favorisant l'expression des gènes) ou plus serré (les gènes ont moins de chance d'être transcrits). On parle alors de mécanisme épigénétique: l'expression des gènes est régulée par des facteurs externes (environnementaux) et transmise d'une génération de cellules à la suivante, sans qu'une modification de la séquence d'ADN n'intervienne.

L'équipe d'Ian Maze, de l'école de médecine Mount Sinai, à New York, vient de montrer que la sérotonine, une monoamine, intervient aussi dans un mécanisme épigénétique. Cette molécule est surtout connue pour son rôle dans la régulation de l'humeur. Dans ce cas, le neurotransmetteur est émis par un neurone vers un autre où il se fixe à un récepteur en surface, ce qui module l'expression des gènes. Mais les chercheurs ont montré que la sérotonine peut aussi agir directement sur l'expression des gènes, sans passer par les



récepteurs: une enzyme (TGM2) greffe des molécules de sérotonine, présentes dans le milieu cellulaire, directement sur une histone. On parle alors de sérotonylation. Les histones qui ont subi ces modifications interagiraient davantage avec le facteur de transcription TFIID, qui influe sur la chromatine pour promouvoir la transcription des gènes.

Cette découverte pose beaucoup de nouvelles questions. Par exemple, d'autres monoamines, comme l'histamine ou la dopamine, peuvent-elles aussi modifier des histones? Il est possible que ces molécules connues depuis longtemps réservent encore bien des surprises. ■

ALINE GERSTNER

L. Fareilly et al., *Nature*, vol. 567, pp. 535-539, 2019

PRÉHISTOIRE

UNE TRACE DE NÉANDERTAL?

Avant la dernière glaciation, le vent d'est a érigé une dune contre la face orientale du rocher de Gibraltar. Fernando Muñiz, de l'université de Séville, et des collègues y ont retrouvé des traces d'éléphants, de cerfs élaphe, d'aurochs, de bouquetins, de sangliers, de léopards..., bref de toutes les espèces qui hantaient la savane littorale antéglaciaire des environs de Gibraltar. Parmi elles, une trace de pied humain intrigue. Laissée par un individu qui dévala la dune il y a 28 000 ans, elle est mal conservée. Il n'est donc pas possible de mesurer s'il s'agit d'un pied néandertalien ou *sapiens*, mais l'impression générale est celle d'orteils courts et larges. Cela suggère plutôt un marcheur néandertalien, en accord avec l'absence de traces d'*Homo sapiens* anciens dans la région à l'époque ainsi qu'avec les conclusions de Clay Finlayson,



Cette trace de pied d'un humain qui a descendu la dune de sable de Gibraltar pourrait être néandertalienne.

de l'université d'Oxford, selon qui une communauté résiduelle de Néandertaliens a vécu jusqu'il y a 28 000 ans environ à Gibraltar. Pour autant, des datations paneuropéennes suggèrent que les derniers Néandertaliens ont disparu il y a 40 000 ans. Avons-nous découvert la trace du dernier des derniers des Néandertaliens? ■

F. S.

F. Muñiz et al., *Quaternary Science Review*, en ligne le 31 janvier 2019

EN BREF

LE GRAND NUAGE DE MAGELLAN À 1 %

Cette galaxie voisine de la Voie lactée héberge de nombreuses céphéides, des étoiles variables utilisées pour estimer les distances dans l'Univers – ce sont des « chandelles standards ». Mais les incertitudes sur la distance du Grand Nuage de Magellan se répercutent sur la loi relative aux céphéides ainsi que sur l'estimation de la constante de Hubble, qui pose problème en cosmologie. Pierre Kervella, de l'observatoire de Paris, et ses collègues ont utilisé 20 systèmes d'étoiles binaires à éclipses pour mesurer la distance du Grand Nuage de Magellan. Résultat : 162 000 années-lumière, à 1 % près.

LES ORANGS-OUTANS SUIVIS DEPUIS LE CIEL

Les orangs-outans sont en danger critique d'extinction, à cause surtout de la déforestation. Dès lors, pour suivre leurs populations, on répertorie les nids que ces primates construisent dans la canopée. Or cela implique de surveiller de vastes zones difficiles d'accès. Claire Burke, de l'université John-Moores, à Liverpool, et ses collègues ont eu l'idée d'utiliser des drones munis de caméras à infrarouges. Testée dans la forêt tropicale de Sabah, en Malaisie, la technique s'est révélée fiable.

LE MICROBIOME DE L'ISS EST RICHE

Checinska Sielaff, de l'université d'État de Washington, et ses collègues ont réalisé un catalogue des microbes et champignons présents à l'intérieur de la *Station spatiale internationale (ISS)*. Il est important de savoir quelles espèces prolifèrent dans ce milieu, notamment en vue de missions de longue durée, sachant que les astronautes ont un système immunitaire affaibli. Les staphylocoques dorés, potentiellement dangereux, représentent 10 % des bactéries à bord.

TUEUR DE GRENOUILLES

Une espèce invasive de champignon aquatique, *Batrachochytrium dendrobatidis*, serait à l'origine du déclin de 501 espèces d'amphibiens, dont 90 se seraient éteintes au cours des 50 dernières années. C'est ce qu'indique une vaste étude menée par Benjamin Scheele, de l'université nationale australienne, à Canberra. Le champignon provoque une maladie, la chytridiomycose, qui s'attaque à la peau des grenouilles. Les animaux ne régulent alors plus l'eau et les minéraux dans leur organisme, ce qui provoque l'arrêt du cœur.

L'hécatombe a surtout touché l'Amérique latine et l'Australie, où le champignon est arrivé à partir des années 1980. En Asie, d'où il est originaire, il semble moins affecter les populations locales d'amphibiens: elles ont probablement développé une certaine résistance. ■

S. B.

B. C. Scheele *et al.*, *Science*, vol. 363, pp. 1459-1463, 2019

MATHÉMATIQUES

PRIX ABEL: KAREN UHLENBECK

Cette année, l'Académie norvégienne des sciences et des lettres a décerné le prix Abel à Karen Uhlenbeck, professeure émérite de mathématiques de l'université du Texas à Austin, «pour ses travaux pionniers dans le domaine des équations aux dérivées partielles d'origine géométrique, de la théorie de jauge et des systèmes intégrables, et pour l'impact fondamental de ses résultats sur l'analyse, la géométrie et la physique mathématique.»

Comme l'explique le président du comité Abel, Hans Munthe-Kaas, «ses théories ont révolutionné notre compréhension des surfaces minimales, comme celles formées par les bulles de savon, et des problèmes de minimisation plus généraux en dimensions supérieures.» Pour le physicien théoricien Jim Al-Khalili, «ses travaux ont conduit à certaines des avancées les plus spectaculaires en mathématiques de ces 40 dernières années.» Par ailleurs, Karen Uhlenbeck est aujourd'hui très active dans la promotion des femmes en mathématiques et pour l'égalité des sexes en sciences de façon générale. ■

S. B.

<http://www.abelprize.no>

UNE TOMBE ÉTRUSQUE À ALÉRIA



Lors de sa construction, cette tombe étrusque à hypogée consistait en un caveau souterrain (au premier plan) auquel on accédait par un couloir desservi par une volée de marches.

Sous la direction de Laurent Vidal et de Catherine Rigeade, une équipe d'archéologues de l'Inrap fouille à Aléria, en Corse, une structure funéraire souterraine étrusque. Cette tombe à chambre et à dromos (couloir), qui s'ajoute à des dizaines de tombes, achève de démontrer l'intérêt exceptionnel de la nécropole d'Aléria-Lamajone.

Situé le long d'une ancienne route reliant la cité antique à la lagune, ce cimetière étrusco-romain n'est pas le seul d'Aléria, puisque dans les années 1960, Jean et Laurence Jehasse avaient fouillé plus de 200 sépultures dans une autre nécropole, celle d'Aléria-Casabianda. Leur état de conservation avait étonné, comme fascine aujourd'hui celui des tombes d'Aléria-Lamajone. La présence de squelettes, notamment, est une aubaine, car elle va permettre l'étude d'un échantillon de population. Découvrira-t-on la présence ancienne du paludisme dans cette région marécageuse de la Corse?

Toutefois, c'est la tombe à chambre découverte sous un enchevêtrement d'autres sépultures qui passionne le plus les archéologues, puisque aucune découverte similaire n'a été faite depuis les fouilles des Jehasse. La structure funéraire est constituée d'un escalier donnant accès, au bout de six mètres de couloir, à un caveau obturé, qui semble être resté inviolé depuis l'inhumation d'une défunte, sans doute, d'après le miroir en bronze trouvé à côté du squelette.

Pour le moment, les deux mètres carrés fouillés dans le caveau ont livré une vingtaine de vases de facture étrusque, dont les vernis noirs sont parfois surpeints d'ornements ou de personnages rouges. Ainsi ces trois coupes, cet askos annulaire (l'anse est en forme d'anneau) ou encore ces quatre pichets à vin. Une vaisselle qui atteste une fois de plus du rôle central joué par le vin dans les rites sociaux étrusques, qu'il s'agisse du rite dionysiaque (un rite à mystère ayant lieu la nuit) ou des banquets aristocratiques. Ce mobilier conduit à dater la sépulture au IV^e siècle avant notre ère, mais la fouille se poursuit... ■

F. S.

<https://www.inrap.fr>, communiqué du 27 mars 2019

PALÉOCLIMATOLOGIE

DE GRANDES ÈRES GLACIAIRES D'ORIGINE TECTONIQUE?

La formation de très longues chaînes de montagnes tropicales aurait conduit à des refroidissements climatiques durables.

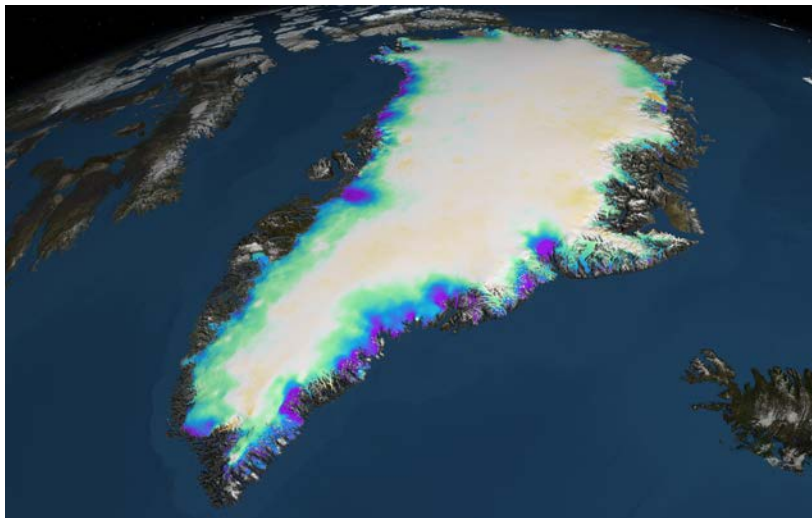
Au cours du Phanérozoïque, c'est-à-dire les 541 derniers millions d'années, trois longues ères glaciaires ont marqué l'histoire géologique de la Terre. Étaient-elles dues à des phénomènes tectoniques? C'est ce que proposent Francis Macdonald, de l'université de Californie à Santa Barbara, et ses collègues: selon eux, les montagnes formées au cours de collisions tectoniques particulières – les collisions arc-continent – auraient entraîné des refroidissements climatiques durables.

Ces longues périodes froides, pendant lesquelles au moins une partie des continents est restée couverte de calottes glaciaires, doivent être distinguées des oscillations glaciaires plus courtes dues aux variations de l'orbite terrestre, dont la dernière, par exemple, a culminé il y a 20 000 ans et pris fin il y a 11 000 ans.

La première des ères glaciaires phanérozoïques a débuté il y a quelque 455 millions d'années pour s'achever 15 millions d'années plus tard. La deuxième couvre la période allant de 335 à 280 millions d'années. La dernière ère de glaciation mondiale, qui a commencé il y a quelque 5 millions d'années, est toujours en cours, puisque l'Antarctique et le Groenland sont couverts de glace, tandis que les latitudes plus basses (Canada, Scandinavie, Patagonie...) s'englacent puis se déglacent tous les 100 000 ans environ.

Les géologues sont depuis longtemps persuadés que la présence sous les tropiques de longues chaînes de montagnes entraîne des refroidissements climatiques. Si la deuxième ère glaciaire a été marquée par l'érosion d'une longue chaîne de montagnes, la «chaîne hercynienne», la présence de nombreuses chaînes et massifs volcaniques sous les tropiques est évidente aujourd'hui: ainsi nombre des 452 volcans entourant le Pacifique (la ceinture de feu) sont sous les tropiques, tout comme les Andes et l'Himalaya.

Le mécanisme de refroidissement identifié par les géologues est le suivant: le ruissellement tropical lessive les roches silicatées qui constituent 97% de la croûte continentale montagneuse, ce qui libère des ions à propriétés alcalines, notamment les très solubles ions calcium et magnésium. Alcalinisé par leur arrivée



L'existence de terres continentales en permanence couvertes de calottes de glace (ci-dessus le Groenland) signifie que notre planète traverse une longue ère glaciaire.

40 000 KILOMÈTRES

C'EST LA LONGUEUR DE LA CEINTURE DE FEU, UNE SÉRIE DE VOLCANS ET DE CHÂÎNES DE MONTAGNES EN GRANDE PARTIE SITUÉES SOUS LES TROPIQUES.

EN CONTRIBUANT À L'ALCALINISATION DES OCÉANS, ELLE JOUE UN GRAND RÔLE CLIMATIQUE.

en mer, l'océan séquestre alors plus de dioxyde de carbone atmosphérique, en formant par exemple du calcaire, ce qui réduit l'effet de serre et refroidit donc durablement le climat.

Toutefois, pour Francis Macdonald et ses collègues, un phénomène tectonique particulier, les collisions arc-continent, amplifie parfois ce mécanisme. Ces collisions entre des archipels volcaniques, formés par subduction intraocéanique, et des plaques continentales créent des «sutures ophiolitiques», des massifs montagneux constitués de roches très basiques particulièrement riches en calcium et magnésium (des ophiolites), qui augmenteraient donc notablement l'alcalinisation des océans.

Pour tester cette idée, les chercheurs ont examiné les enregistrements géologiques des collisions tectoniques du passé et montré que les grandes ères glaciaires ont toutes été précédées par un pic de collisions arc-continent, lequel aurait à chaque fois formé au moins 10 000 kilomètres de sutures ophiolitiques.

Ainsi, la formation sous les tropiques de montagnes riches en calcium et magnésium et leur érosion semblent bien avoir déclenché les longues ères glaciaires, puis y avoir mis fin. ■

F. S.

F. A. Macdonald et al., *Science*, en ligne le 14 mars 2019

EN BREF

DES CHAUVES-SOURIS AGENTS FORESTIERS

Des chercheurs de l'institut Max-Planck d'ornithologie de Radolfzell, en Allemagne, ont estimé le travail de reforestation accompli par les roussettes. Ces chauves-souris errent en effet le soir de palmier en palmier en répandant les graines des fruits consommés. Selon Mariëlle van Toor et ses collègues, une colonie de 150 000 animaux répartit quelque 300 000 graines en une seule nuit, ce qui, au bout d'un an, produit près de 800 hectares de forêt !

HOMO LUZONENSIS, NOUVEAU PHILIPPIN

Florent Détroit, du Muséum national d'histoire naturelle, et des collègues ont recueilli dans une grotte de l'île philippine de Luçon douze os de pied et de main et des dents manifestement humains et datant de plus de 50 000 ans. Mais leurs traits morphométriques ne correspondent pas à ceux des os et dents de toutes les espèces humaines connues, y compris d'*Homo sapiens* et d'*H. floresiensis*, eux aussi présents depuis longtemps en Asie du Sud-Est. Les chercheurs viennent donc d'introduire dans le genre *Homo* une nouvelle espèce, nommée *Homo luzonensis*.

UNE NAIN BLANCHE AYANT UNE PLANÈTE

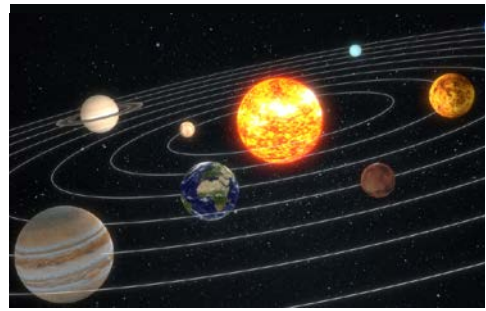
Les astronomes ont identifié à ce jour quelque 3 000 étoiles dotées d'une ou de plusieurs planètes, mais parmi elles ne figurait aucune naine blanche (type d'étoile en fin de vie). Cela vient de changer. Christopher Manser, de l'université de Warwick, au Royaume-Uni, et des collègues ont étudié le spectre lumineux d'un disque de gaz et de débris entourant la naine blanche SDSS J122859.93+104032.9, et constaté que ses émissions varient périodiquement. Selon eux, le phénomène est dû au passage périodique d'un petit corps planétaire devant la naine blanche.

ASTROPHYSIQUE

SÉDIMENTS CONTRE CHAOS

À cause du comportement chaotique à long terme du Système solaire, il est difficile de retracer l'orbite des planètes loin dans le passé. En 1989, Jacques Laskar, de l'observatoire de Paris, avait en effet estimé que les erreurs propagées par la modélisation étaient multipliées par 10 tous les 10 millions d'années, ce qui réduisait à néant toute prédiction au-delà d'environ 60 millions d'années. Paul Olsen, de l'université Columbia, et ses collègues, dont Jacques Laskar, viennent de montrer qu'en utilisant les archives sédimentaires de la Terre, il est possible d'extraire des caractéristiques anciennes de son orbite, et à terme de celles des autres planètes. De quoi repousser l'horizon de prédictibilité jusqu'à près de 200 millions d'années.

Les chercheurs ont utilisé deux carottes de sédiments du continent nord-américain à partir desquelles ils ont déduit les conditions climatiques ayant régné sur Terre il y a 200 à 225 millions d'années. Or l'orbite de la Terre détermine en partie ces conditions. Perturbée par les autres planètes, cette orbite elliptique est aussi animée de mouvements quasi périodiques : la précession du périhélie (la très lente rotation de l'axe de l'ellipse) et d'autres variations (inclinaison, excentricité). Ces cycles sont décrits par des paramètres, dits de Milanković. Mais



La mécanique céleste ne permet pas de déterminer l'évolution du Système solaire au-delà d'un horizon de 60 millions d'années. Mais la paléoclimatologie peut aider...

comment déterminer l'évolution passée de ces paramètres, étant donné la nature chaotique du Système solaire ?

Grâce à l'analyse des sédiments, Paul Olsen et ses collègues ont montré en particulier qu'un paramètre, lié à la précession du périhélie de la Terre et de Mars, oscillait il y a 220 millions d'années avec une période de 1,75 million d'années, alors que la période actuelle d'oscillation est de 2,36 millions d'années.

La méthode est prometteuse, selon les chercheurs. Avec un registre géologique plus riche, expliquent-ils, il sera possible de déterminer l'orbite de toutes les planètes telluriques et de Jupiter sur une période qui s'étend au-delà de la limite des 60 millions d'années. ■

LAMBERT BARAUT-GUINET

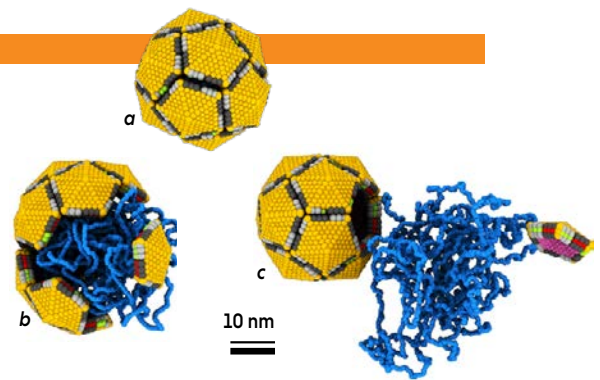
P. E. Olsen et al., *PNAS*, en ligne le 4 mars 2019

VIROLOGIE

LE DÉPLOIEMENT DE L'ECHOVIRUS

Les virus infectent les cellules cibles en y insérant leur génome, ce qui nécessite notamment l'expulsion de leur ADN ou ARN hors de leur capsid, c'est-à-dire de leur coque protéique. Ce mécanisme est encore mal compris chez de nombreux virus, notamment chez les *Enterovirus*, un groupe de pathogènes pour les humains qui inclut, par exemple, les agents de la poliomyélite (poliovirus) ou de certaines maladies rubéoliformes (echovirus).

David Butcha et ses collègues, de l'université Masaryk, à Brno, en République tchèque, ont étudié des particules virales de l'echovirus 18 et de l'echovirus 30 au cours de la libération de leur génome grâce à la cryomicroscopie électronique, technique qui permet d'obtenir des clichés avec une résolution proche de 0,1 nanomètre (10^{-10} mètre). Les images montrent

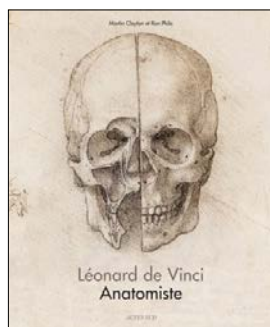
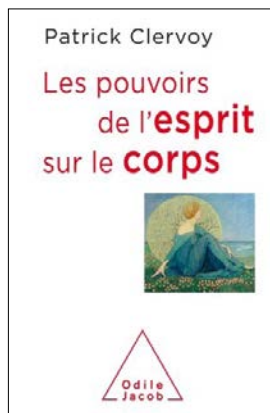


La capsid (en jaune) d'un echovirus 18 est d'abord fermée (a), puis s'ouvre (b). L'ARN (en bleu) est alors expulsé en moins d'une microseconde (c).

que trois unités constitutives de la capsid se détachent du reste de la structure. Elles forment une ouverture de 12 à 30 nanomètres de diamètre qui laisse sortir le matériel génétique. En moins d'une microseconde, la totalité du matériel génétique est expulsée du virus. ■

MARTIN TIANO

D. Butcha et al., *Nature Communications*, vol. 10, article 1138, 2019



MÉDECINE

LES POUVOIRS DE L'ESPRIT SUR LE CORPS

Patrick Clervoy

Odile Jacob, 2018

352 pages, 21,90 euros

« **L**a force de l'esprit peut-elle changer la maladie, non seulement dans sa perception subjective, mais aussi l'amener, de façon objective, jusqu'à la guérison ? » Telle est la question au cœur de la réflexion et de la pratique médicale de ce psychiatre au Val-de-Grâce. Il nous interpelle à travers de nombreux exemples où la narration de situations troublantes remet en cause une vision purement rationnelle et exclusive de la souffrance physique et mentale et de sa prise en charge thérapeutique. De l'hystérie de Charcot au vitalisme de Lasègue, de l'efficacité du placebo aux miracles de Lourdes en passant par la méthode Coué et aux prophéties autoréalisatrices, l'auteur nous rappelle que de nombreuses approches ont tenté de répondre à cette énigme... et que chacun de nous peut un jour être confronté à ce que Galilée décrivait comme « quelque chose de bien réel dans le champ de l'impossible ».

Certes, les connaissances scientifiques (sur le fonctionnement des synapses cérébrales, le rôle du système nerveux sympathique, la plasticité du cerveau, etc.) et les moyens d'étude les plus récents en neurophysiologie permettent d'expliquer partiellement ces étranges chemins de la guérison. Pour autant, cet abord physiopathogénique est incapable de répondre rationnellement à la réalité troublante de cette force psychique capable de conditionner le devenir physique. Sans dénigrer l'efficacité de la médecine moderne, l'auteur nous invite ainsi à considérer que la guérison est profondément liée à la « pensée positive », où l'imaginaire, la foi et une espérance raisonnée jouent un rôle déterminant vers le mieux-être. Car la guérison est avant tout une réconciliation entre soi et son état de santé.

BERNARD SCHMITT
CERNH, LORIENT

ART ET SCIENCE

LÉONARD DE VINCI ANATOMISTE

Martin Clayton et Ron Philo

Actes Sud, 2019

256 pages, 39 euros

Il faudra attendre la fin du **xviii^e** siècle pour que l'on s'intéresse au traité d'anatomie de Léonard de Vinci. Or s'il avait été publié du vivant de Léonard (1452-1519), ce traité aurait révolutionné l'anatomie bien avant Vésale (1514-1564) et son œuvre majeure *La Fabrique du corps humain* ! Chez Léonard, le regard du scientifique est toujours intimement lié à celui de l'artiste : beauté plastique et exactitude anatomique ne font qu'un dans ses dessins, où l'observation du modèle vivant s'allie à la connaissance apportée par la pratique de la dissection. Et lorsqu'il ne dispose pas de matériel humain, les animaux prennent le relais et il réalise ses célèbres « fantaisies anatomiques ». Il ne faut alors pas s'étonner de voir le squelette de l'homme se mêler, par exemple, à celui du cheval, car, du vivant de Léonard, on considérait les anatomies des mammifères comme presque équivalentes entre elles. Son art lui permet une stylisation incomparable, qui apporte la clarté nécessaire à ces illustrations didactiques, ainsi que des mises en page inventives démultipliant les angles de vue.

Quant à l'expression des émotions, les dessins préparatoires de *La Cène* renvoient à la façon dont Léonard a abordé cette question dans son travail d'anatomiste. Ainsi, dans une des premières ébauches consacrées à son traité, Léonard écrit qu'il commencera par analyser les corps de l'homme et de la femme ; ensuite, les membres du corps et son développement selon les âges ; puis les veines, les nerfs, les muscles et les os, pour enfin conclure avec les quatre mouvements de l'âme, universels selon l'artiste : la joie, la douleur, la colère et la férocité.

Magnifique par la qualité des images qui reproduisent les dessins anatomiques et les célèbres notes en écriture spéculaire caractéristique de Léonard, cet ouvrage s'impose aussi par la clarté et la précision de ses textes.

MARIE-JOSÉE BUGGÈ
ÉCOLE GEORGES MÉLIÈS, ORLY

TECHNOLOGIE

NOMADE DES MERS

Corentin de Chatelperron

Arte Éditions, 2018

240 pages, 29,90 euros

Cet ouvrage tient du journal de bord intelligent d'un MacGyver écoresponsable donnant ses recettes à la frontière de la science et de la technologie. L'auteur, l'ingénieur français Corentin de Chatelperron, a parcouru les océans sur un catamaran, en quête des plus utiles *low techs*. Il définit ces basses technologies comme des systèmes simples, peu coûteux, accessibles et durables. Son épopée maritime l'emporte vers onze pays, où chacune de ses escales lui permet de découvrir et de présenter un système. L'auteur ne se limite à aucun domaine pour observer tous azimuts les inventions humaines. Cela va du biodiesel des Seychelles au dessalinisateur d'Afrique, en passant par le pédalier multifonction de Saint-Lô.

Par exemple, il se préoccupe des mers de déchets plastiques, révélées récemment, en écoutant les solutions des Brésiliens de Rio de Janeiro. Parmi leurs différentes actions, on notera le très simple et pourtant ingénieux découpe-bouteille pour fabriquer du fil plastique. À l'autre bout du globe, l'île de Phuket dévoile au navigateur une nourriture originale. La Thaïlande est en effet le premier producteur d'insectes d'élevage du monde, perspective séduisante pour l'alimentation du futur. Outre un goût souvent délicieux, il faut savoir que les insectes sont les animaux les plus riches en protéines, à élevage très économique et non polluant.

Pas besoin donc d'être un bricoleur de génie pour mettre en pratique les « trucs » proposés dans ce livre : il suffit juste de faire preuve de volonté écologique pour améliorer notre bon usage de la planète où nous vivons.

STÉPHEN ROSTAIN

CNRS, LABORATOIRE ARCHÉOLOGIE DES AMÉRIQUES

PHYSIQUE

À LA RECHERCHE DES NEUTRINOS

Antoine Kouchner
et Stéphane Lavignac

Dunod, 2018

240 pages, 22 euros

« Oserais-je dire que les physiciens expérimentateurs n'auront pas l'ingéniosité suffisante pour fabriquer les neutrinos? », aurait dit le célèbre astrophysicien Arthur Eddington dans les années 1930, au beau milieu d'une controverse portant sur l'existence même de cette particule élémentaire. Malgré cette défiance, les physiciens ont persisté dans leurs expériences, en arrivant à détecter puis à produire les neutrinos. Deux spécialistes de ce domaine expérimental ont le mérite de consacrer un bel essai aux étonnantes découvertes liées au neutrino.

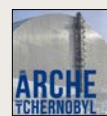
L'idée même de cette particule naît en effet de l'imagination fertile du physicien autrichien Wolfgang Pauli, qui la propose comme « solution désespérée » pour résoudre une question épineuse qui hantait les physiciens il y a un siècle. Il conçoit ainsi l'existence d'une particule qui, produite dans certains processus radioactifs, est presque indétectable. Depuis, les expérimentateurs ont déployé des trésors d'imagination pour détecter et étudier les neutrinos. Dans cet ouvrage, les auteurs nous montrent les multiples facettes de cette particule, produite copieusement dans le Soleil, dans des explosions d'étoiles ainsi que par les rayons cosmiques.

Le livre suit cette histoire passionnante jalonnée de découvertes qui ont été récompensées par trois prix Nobel. On apprend ainsi comment fonctionnent les détecteurs de neutrinos, tels *Super-Kamiokande*, au Japon, ou *IceCube*, au pôle Sud. Les auteurs décrivent avec clarté et précision les expériences et leurs résultats et ne rechignent pas à entrer dans certains détails quelque peu techniques. Le lecteur curieux pourra ainsi partager pendant un moment la route de ces particules, inlassables voyageurs et messagers de l'infiniment petit et de l'infiniment grand.

MARCO ZITO

CEA-IRFU, GIF-SUR-YVETTE

ET AUSSI



UNE ARCHE POUR TCHERNOBYL

Patrick Coupechoux (dir.)

Cherche Midi, 2019

180 pages, 28 euros

Novarka, la « Nouvelle Arche » en ukrainien, est le dispositif de confinement du réacteur accidenté de Tchernobyl. Ce livre couvre tous les aspects scientifiques, techniques et humains de sa construction. Cette superbe structure faisant trois fois le poids de la tour Eiffel a été construite par une équipe mêlant les nationalités, avec une importante contribution française. Ce livre magnifique montre pourquoi cette œuvre technique et architecturale majeure, conçue pour confiner son atmosphère intérieure en toutes circonstances pendant cent ans, constitue la base indispensable du démantèlement de la dangereuse ruine nucléaire de Tchernobyl.

LA GUERRE DES FOURMIS

Franck Courchamp et Mathieu Ughetti

Les Équateurs, 2019

100 pages, 15 euros

Présentes sur Terre depuis plus de 100 millions d'années, les fourmis dépassent les humains en biomasse. Afin de détailler les nombreux faits fascinants les concernant, les auteurs de cette petite bande dessinée mettent plaisamment en scène deux amies, dont une se moque du sujet de recherche de son amie entomologiste : les fourmis. Nous suivons alors le cours d'une après-midi amicale, durant laquelle les défenses de l'une face à la moquerie de l'autre nous permettent d'apprendre beaucoup sur qui domine vraiment la Terre.

LES HOMMES DE LA LUNE

Alain Cirou et Jean-Philippe Balasse

Seuil, 2019

224 pages, 34,90 euros

L'objectif de ce beau livre est de nous replonger dans les années 1960 et les missions *Apollo* en regardant des photographies des « hommes de la Lune » et de ce qui les entourait. Outre les astronautes Neil Armstrong, Mike Collins et Buzz Aldrin ainsi que les acteurs importants du programme *Apollo*, les hommes de la Lune sont aussi des personnages aujourd'hui connus, qui étaient à l'époque des enfants et des jeunes, et qui se souviennent avec émotion du 21 juillet 1969.

PARIS

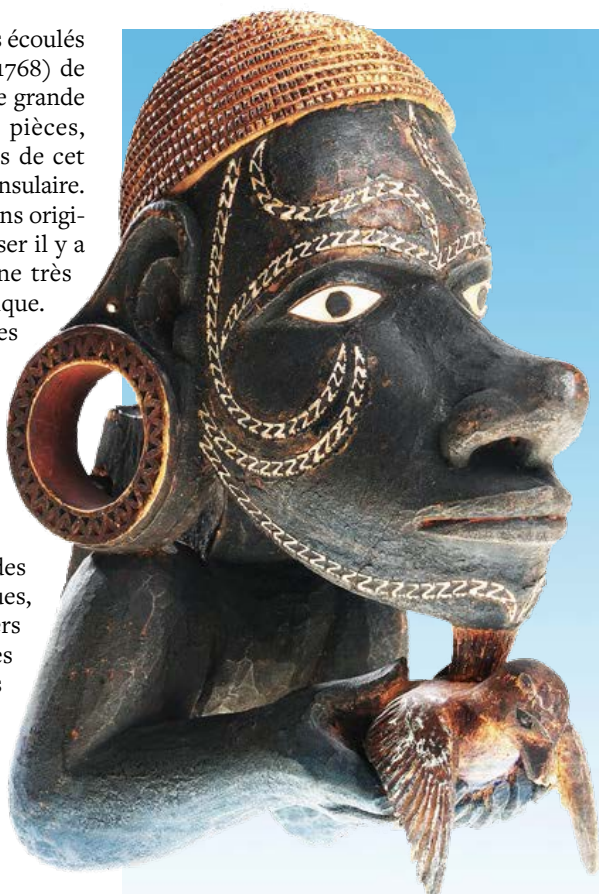
DU 12 MARS AU 7 JUILLET 2019

Musée du quai Branly
www.quaibranly.fr

Océanie

Comme pour célébrer les 250 ans écoulés depuis le premier voyage (en 1768) de l'explorateur James Cook, cette grande exposition présente quelque 200 pièces, anciennes ou contemporaines, issues de cet immense territoire qu'est le Pacifique insulaire. Avec ses 25000 îles que des populations originaires d'Asie ont commencé à coloniser il y a 40000 ans, ce territoire présente une très grande diversité culturelle et linguistique. Mais il se caractérise aussi par quelques traits communs, qui sont ici mis en exergue au fil des œuvres présentées. Il en est ainsi, par exemple, de l'art de la navigation et du milieu marin ou aquatique, dont les peuples océaniques tirent une bonne partie de leurs ressources et de leur imaginaire.

Le visiteur pourra ainsi admirer des pirogues ou des ornements de pirogues, des statuettes, des coiffes, des boucliers et autres objets de valeur, ainsi que des œuvres d'artistes contemporains – des pièces souvent très belles qui témoignent de l'histoire des peuples d'Océanie, de leurs croyances, des échanges qu'ils ont eus avec les Européens et des défis auxquels ils sont confrontés aujourd'hui. ■



PARIS

JUSQU'AU 18 AOÛT 2019

Aquarium tropical du Palais de la Porte dorée
www.aquarium-tropical.fr

Aqua, l'eau de haut en bas



Des satellites pour surveiller l'état des océans et des eaux continentales, et aider à gérer les ressources en eau; l'eau dans la nature, son rôle dans le vivant et dans les sociétés humaines; le circuit de l'eau potable à Paris: tels sont les grands thèmes de cette exposition «trois en une», consacrée à une ressource précieuse et fragile. ■

LIÈGE (BELGIQUE)

JUSQU'AU 2 JUIN 2019

Maison de la Science
www.maisondelascience.ulg.ac.be

Bla bla bla: un monde de communication



Munis d'une tablette iPad, les visiteurs se familiarisent avec l'univers de la communication, celui de la nature comme celui de la technologie. Une plongée dans les moyens de communication utilisés par le monde vivant – des microorganismes aux animaux ou aux plantes –, les humains et leurs machines. ■

ET AUSSI

Jeudi 2 mai, 18 h
Campus Joseph-Aiguier,
Marseille
provence-corse.cnrs.fr
**LE DEMI-DEGRÉ
QUI CHANGE TOUT**

Un réchauffement global de 1,5 °C n'a pas du tout les mêmes conséquences qu'une hausse de 2 °C. Le climatologue Joël Guiot explique pourquoi.

Lundi 13 mai, 14 h
Palais universitaire,
Strasbourg
jardin-sciences.unistra.fr
ERIDU LA SUMÉRIENNE

Anne-Caroline Rendu-Loisel parle de la cité du dieu Enki, dans le sud de l'Iraq, où les fouilles ont repris.

Mardi 14 mai, 20 h 30
Les Champs Libres, Rennes
www.espace-sciences.org
**L'HÉMOGLOBINE
DE L'ARÉNICOLE**

Franck Zal, biologiste et fondateur de la société Hemarina, explique l'intérêt médical d'une molécule transporteuse d'oxygène extraite d'un petit ver de sable.

Jeudi 16 mai, 12 h 30
Université Paul-Sabatier,
Toulouse
www.univ-tlse3.fr
AGRICULTURE URBAINE

Camille Dumat, de l'INP-Ensat et du Certop, parle des atouts de l'agriculture urbaine, mais pointe aussi ses limites.

Du 23 au 26 mai
Place Saint-Sulpice, Paris
www.cijm.org/salon
**CULTURE ET JEUX
MATHÉMATIQUES**

Comme les précédents, le 20^e salon Culture & jeux mathématiques propose animations, conférences, forum des métiers des maths, jeux, tournois...

Mardi 28 mai, 17 h
Acad. des sciences, Paris
academie-sciences.fr
**PLANÈTES
EXTRASOLAIRES**

L'astrophysicienne Anne-Marie Lagrange raconte ses recherches sur les exoplanètes, puis répond aux questions du public.

AGGLOMÉRATION CREIL-SUD-OISE

DU 27 AVRIL AU 15 JUIN 2019
Lieux divers à Creil et ses environs
www.creilsudoise.fr/usimages

Usimages



Cette biennale de la photographie industrielle, qui en est à sa troisième édition, permet de voir douze expositions gratuites se tenant dans diverses communes de l'Agglomération Creil-Sud-Oise, dans le nord de l'Île-de-France. Sont présentés des travaux de divers photographes internationaux, réalisés entre les années 1940 et aujourd'hui, qui constituent autant de regards sur le monde de l'entreprise, son histoire, sa sociologie, l'impact des nouvelles technologies... Par exemple, le photographe polonais Mariusz Forecki capte l'évolution des entreprises de son pays vers le libéralisme, tandis que le Slovène Matjaž Krivic raconte la route du lithium, composant principal des batteries qui équipent les véhicules électriques ou les robots. ■

PARIS

DU 16 AVRIL AU 21 JUILLET 2019
BnF François-Mitterrand
www.bnf.fr

Le monde en sphères

Ceux qui soutiennent que la Terre est plate jugeront probablement que cette exposition participe d'une vaste campagne de désinformation menée par quelque groupe minoritaire et ultrapuissant. Les autres ne boudront pas leur plaisir en venant admirer près de 200 œuvres tirées des collections de la BnF et d'autres prestigieux établissements comme le musée du Louvre ou celui des Arts et métiers.

Globes, sphères armillaires, gravures, manuscrits enluminés, affiches, œuvres d'art moderne et autres splendides documents accompagnent le visiteur pour lui raconter cette



histoire de science et d'humanité qui débute au VI^e siècle avant notre ère et va jusqu'à aujourd'hui. Autrement dit, de l'époque où s'est imposé le modèle d'un globe terrestre au centre d'un univers formé de sphères concentriques, portant les étoiles et les planètes, jusqu'aux photographies de la Terre prises depuis l'espace, en passant par l'astronomie islamique, la révolution copernicienne et les lois de Newton. ■

GIRONDE

DU 14 AU 18 MAI 2019
Saint-Médard-en-Jalles
www.saint-medard-en-jalles.fr



La Lune, l'aventure continue

Cinquantenaire de la mission *Apollo 11* oblige, cette nouvelle édition du festival de l'air et de l'espace, Big Bang, est dévolue à notre satellite naturel et à son exploration, passée comme future. Au programme : des expositions, des animations, des spectacles vivants, des conférences et tables rondes avec des scientifiques, des spationautes ou des témoins des missions *Apollo*, un salon de l'emploi en aéronautique... «69, année lunatique» sera bien célébrée! ■

SORTIES DE TERRAIN

Dimanche 5 mai, 9 h
Fournes-Cabardès (Aude)
Tél. 04 68 49 12 12
www.lpo.fr

CHANTEURS DE LA MONTAGNE NOIRE

Une matinée de randonnée dans la Montagne noire à l'écoute des chants aviens et printaniers.

Jeudi 16 mai, 14 h 30
Chaillac (Indre)
Tél. 02 54 28 12 13
parc-naturel-brenne.fr
CHAILLAC, LA COMMUNE DES CAILLOUX

Une excursion géologique pour voir des échantillons de minéral et comprendre comment s'est créée la vallée de l'Anglin.

Samedi 18 mai, 10 h
Montereau-Fault-Yonne (77)
Tél. 01 64 22 61 17
www.anvl.fr

À LA DÉCOUVERTE DES ORCHIDÉES

Une sortie à la journée pour admirer et mieux connaître ces remarquables fleurs.

Dimanche 19 mai
Saint-Martin-de-Crau (13)
Tél. 04 42 20 03 83
www.cen-paca.org

INVENTAIRE DU COUSSOUL D'ASE

Le coussoul d'Ase, dans la Crau, est un site naturel de 64 hectares aux milieux variés. Cette journée est proposée pour participer à l'inventaire de sa faune et de sa flore.

Samedi 25 mai, 9 h
La Coutronne, Auriol (Var et Bouches-du-Rhône)
Tél. 04 42 20 03 83
www.cen-paca.org

VALLON DU CROS ET PLAN DES VACHES

Randonnée à la journée à la découverte de la faune et de la flore d'un haut vallon de la Sainte-Baume et de pelouses sommitales.

Vendredi 31 mai, 10 h
Lingé (Indre)
Tél. 02 54 28 12 13
parc-naturel-brenne.fr
PAPILLONS DE BRENNÉ

L'animation, dont la tenue dépend de la météo, vise à observer des espèces particulières de papillons.