

INDUSTRIELA RÉVOLUTION DE
L'IMPRIMANTE 3D**ODORAT**DIX ODEURS PRIMAIRES
POUR TOUT SENTIR**VOIE LACTÉE****9 MILLIARDS
DE PLANETES
HABITABLES !****MÊME MARS A PU
ACCUEILLIR LA VIE****"PRESQUE VIVANTS"
ENQUÊTE AUX
LIMITES DE LA VIE****ORIGINES
LE MYSTÈRE
DES 5 CRÂNES**

CE QUE VOUS ATTENDIEZ :



CE QUE VOUS N'ATTENDIEZ PAS :



MERCURE POTIERS CENTRE - PHOTO © WILLIAM DENIZET

LE CLUB  ACCOR
HOTELS

REJOIGNEZ NOTRE PROGRAMME DE FIDÉLITÉ
MONDIAL SUR ACCORHOTELS.COM



TOUS MERCURE, TOUS DIFFÉRENTS.

À chacun de vos séjours, découvrez l'expérience unique des hôtels Mercure.

RÉSERVEZ AU MEILLEUR PRIX SUR **MERCURE.COM**

**REDÉCOUVREZ
MERCURE**

Mercure
HOTELS

PLUS DE 700 HÔTELS
DANS LE MONDE.

PARIS

NOUVELLE RENAULT MÉGANE, JUSQU'À 1700 KM* D'AUTONOMIE.

TOUT LE MONDE NE PEUT PAS SUIVRE.

Lyon

Turin

Gênes

Rome

NAPLES



Champion des moteurs sur circuit

Modèle présenté avec options. Consommations mixtes min/max (l/100 km): 3,5/5,7. Émissions CO₂ min/max (g/km): 90/130. Consommations et émissions homologuées selon réglementations applicables.
RENAULT QUALITY MADE: la qualité par Renault.

**CHANGEONS DE VIE
CHANGEONS L'AUTOMOBILE**



* Avec le moteur ENERGY dCi 110 **consommation cycle mixte : 3,5 l/100 km. Émissions CO₂ : 90 g/km.** Autonomie basée sur la consommation NEDC x capacité du réservoir (60 l), autonomie maximale de 60 l x 100 km / 3,5 l = 1714,28 km. Les distances et parcours proposés sont des indications théoriques et indicatives pour illustrer les performances du véhicule mentionnées dans sa notice technique. La consommation de carburant et les émissions de CO₂ d'un véhicule sont fonction de son rendement énergétique, du comportement au volant et d'autres facteurs non techniques.

Renault présente **elf**



AUJOURD'HUI HABITABLES, DEMAIN HABITÉES ?

Deux remarquables missions d'exploration spatiale viennent de rendre leurs conclusions en même temps. Les données collectées par le télescope spatial *Kepler* démontrent qu'il existe environ 9 milliards de planètes habitables dans notre galaxie. Celles analysées par le robot *Curiosity* depuis la surface martienne attestent que tous les éléments nécessaires à l'épanouissement de la vie telle que nous la connaissons étaient disponibles autrefois sur notre plus proche voisine.

A elles deux, ces missions nous invitent à repenser la probabilité de l'existence de vies extraterrestres, et à relancer nos efforts pour les

identifier. Elles marqueront une date dans l'histoire des sciences.

Manque de connaissances doublé d'un excès de prétention ? Il n'est pas inutile de nous souvenir que nous avons cru, des siècles et des siècles durant, que notre Terre trônait au centre de l'Univers. Ce ne fut pas rien d'apprendre que c'est elle qui gravite autour du Soleil, et non le contraire. Ce fut une autre chose encore de réaliser que ce même Soleil n'était qu'une étoile ordinaire, modeste à tous égards, orbitant elle aussi en banlieue d'une galaxie comme il en existe des milliards. Puis, plus récemment, une autre encore de découvrir que d'autres planètes

que celles de notre système solaire gravitaient autour d'autres étoiles (les exoplanètes).

Avec le recul qui nous est aujourd'hui permis, on est tenté de penser qu'il fallait être un peu sot pour imaginer que les guirlandes d'étoiles qui nous entourent n'étaient là que pour enchanter nos nuits. Sans doute n'avons-nous pas été beaucoup mieux inspirés plus tard en imaginant qu'à défaut d'occuper une position centrale, notre Terre ne ressemblait à aucune autre. Avec ces nouvelles révélations, est-il encore raisonnable de penser que ces guirlandes d'étoiles ne brillent que pour nos yeux ?

S&V

PLAINPICTURE



UNE ÉMOUVANTE NAISSANCE A EU LIEU

À la fin du jour, une minute de silence nous est imposée. Suivie en direct, cette cérémonie officielle de l'entente arrêtée de la crise de conscience.

[illegible]

FAITS & CHIFFRES
Le Japon est devenu une puissance mondiale au 6552^e anniversaire, sur une cinquième d'année à compter de son début. Le Japon a une population de 125 millions d'habitants. Le Japon a une économie de 194-1945. Le Japon a une culture de 1945-1945. Le Japon a une culture de 1945-1945.



2206 JOURNAL OF CLIMATE

14

L'énorme tempête de Jupiter livre son secret; l'hippocampe chasse sans faire de vagues; ça y est, le monde quantique s'est rapproché de nous, etc.

"Affaire Séralini" : publier n'est pas prouver

En Antarctique, le feu gronde sous la glace; on a découvert le premier crustacé venimeux, etc.

Ile volcanique : une émouvante naissance a eu lieu

Un cœur artificiel complet a été implanté!; des souris ont testé la pilule pour homme, etc.

Pourquoi les AVC frappent de plus en plus tôt

Aspartame : on y voit de moins en moins clair

"J'imagine des sprays hormonaux pour atténuer les peines de cœur"

Le "vaisseau" de Paris a enfin déployé ses voiles; les volcans ne paralyseront plus le trafic aérien, etc.

9 MILLIARDS DE PLANÈTES

A la question "l'Univers est-il propice à l'apparition de la vie ?", la science a enfin la réponse : c'est oui. Il y a même 9 milliards de raisons pour qu'il existe dans notre galaxie une autre Terre. Et cette certitude change tout : ce ne sont plus des planètes habitables qu'il s'agit désormais de trouver, mais des planètes habitées !

3. |EM| FEBRUER 2014

© IFA 2019

48

FONDAMENTAL

À LA UNE

48 VOIE LACTÉE 9 MILLIARDS DE PLANÈTES HABITABLES

ORIGINES DE L'HOMME

LE MYSTÈRE DES 5 CRÂNES

10 ODEURS PRIMAIRES SUFFISENT À TOUT SENTIR



96 **RÉCIT**
CHATS, CHIENS, CHEVAUX, VACHES...
**L'INCROYABLE RETOUR
À LA VIE SAUVAGE**

138 *Contre-sommaire*



Chaise Soshun,
Design par Masanori Umeda
pour Edra

Les arbres, les plantes, les fleurs,
DESIGN PAR NATURE



L'Anémone, Design par Nature.

Et si **les végétaux** étaient le meilleur
moyen de mettre du **design chez vous** ?

Embellissez votre espace, renouvelez votre style et exprimez
vos émotions. **www.designparnature.fr**



Campagne financée avec le concours du Ministère de l'Agriculture,
de l'agroalimentaire et de la forêt et de FranceAgriMer.



Arbres Plantes Fleurs
— Les professionnels du végétal —

Bientôt des conseillers en orientation cérébrale ?

“A chaque métier son cerveau”... Ne pourrait-on pas prendre le problème à l'envers : “A chaque cerveau son métier” ? Et si le cerveau était organisé pour un métier spécifique ? Voilà qui permettrait de cerner le “meilleur” domaine de compétence de chacun le plus tôt possible, et d'aiguiller les personnes vers les bonnes études.

Maxime Marchal (Internet)

SV Si notre dossier s'intitulait “A chaque métier son cerveau”, c'est bien parce que l'imagerie cérébrale montre que c'est l'activité professionnelle qui modifie le cerveau, et non le cerveau qui conditionne le métier que peut exercer un individu. Autrement dit, c'est

en forgeant qu'on devient forgeron et non l'inverse : on ne naît pas avec un cerveau de forgeron. Le cerveau est avant tout une “machine” plastique. C'est-à-dire adaptant sa “configuration” au plus près des besoins cognitifs de l'individu. Ce qui permet à chacun non pas de suivre une voie tracée d'avance, mais au contraire de s'approprier aux mieux les tâches qui se présentent à lui... qu'elles correspondent à ses rêves ou qu'elles se soient imposées au gré d'orientations ne devant rien aux neurosciences. L'idée d'une prédisposition, outre qu'elle n'est qu'une prédisposition (ce n'est pas parce qu'on est prédisposé au diabète qu'on l'aura à tous les coups) n'est



en aucun cas une garantie. L'environnement, la culture, l'histoire personnelle ont aussi leur mot à dire. Même à imaginer qu'une prédisposition cérébrale existe, il faudrait encore pouvoir établir en quoi elle garantit le succès dans tel ou tel métier. Or, si l'on sait repérer les caractéristiques cérébrales apparaissant, par exemple, chez un chauffeur de taxi expérimenté, rien ne dit que ces caractéristiques prédisposent un individu pris

au hasard à devenir chauffeur de taxi. Et quand bien même ce serait le cas. Il “suffirait” alors de scanner le cerveau d'un individu pour lui conseiller de miser sur ses aptitudes innées, plutôt que de s'égarer sur des voies professionnelles pour lesquelles d'autres seraient bien mieux dotés... *Quid* alors de celui né, selon l'imagerie cérébrale, pour être expert-comptable, mais qui rêve d'être danseur étoile ?

Neuf types d'intelligence possibles...

Votre dossier “A chaque métier son cerveau” explique qu'en fonction des activités professionnelles ce ne sont pas les mêmes zones du cerveau qui se développent. Voilà qui semble confirmer la théorie d'Howard Gardner selon laquelle chaque individu peut développer 9 types d'intelligence. Sur les 6 professions que vous décrivez, on retrouve en effet cinq des types d'intelligence décrits

par cette théorie (qui comprennent aussi les intelligences logico-mathématique, interpersonnelle, intrapersonnelle et existentielle) : l'intelligence spatiale (pour les taxis), kinesthésique (pour les sportifs), musicale (pour les musiciens), naturaliste (pour les experts et parfumeurs), et verbo-linguistique (pour les traducteurs).

Vincent Xavier, psychologue du travail (Tours)

SV Le rapprochement que vous proposez paraît tout à fait pertinent. Les modifications cérébrales observées en imagerie dans les six professions présentées dans notre dossier sont toujours au service d'expertises précises... qui font effectivement écho à cinq des formes d'intelligence décrites par le psychologue Howard Gardner. Reste qu'analogie ne vaut pas preuve : à ce jour, l'existence de 9 types d'intelligence distincts manque encore de démonstrations expérimentales.

Merci d'adresser vos courriers à : sev.lecteurs@mondadori.fr

La boutique SCIENCE & VIE

Plus de **400**

Livres

Idées cadeaux

Objets scientifiques ou insolites

WWW.laboutiquescienceetvie.com

lactus labos



➤ Ce cyclone de 25 000 km de diamètre tourne au-dessus de Jupiter depuis 350 ans, alimenté par des courants d'air ascendants et descendants.



PLANÉTOLOGIE

L'ÉNORME TEMPÊTE DE JUPITER LIVRE SON SECRET

Ce sont de simples petits vents. Des courants si ténus que les astronomes les avaient négligés. Une équipe américaine vient pourtant de les modéliser. Bien lui en a pris, car elle a ainsi trouvé la raison de l'étonnante longévité de la plus énorme tempête du système solaire, un cyclone rouge de 25 000 km de diamètre qui sévit sur Jupiter. *"Jusque-là, tous les modèles montraient que la tempête aurait dû se disperser en quelques années... alors qu'on l'observe depuis trois cent cinquante ans!"*, rappelle Philip Marcus, astronome à l'université de Californie, à Berkeley, qui a dirigé les recherches. En cherchant d'où pouvait provenir l'énergie nécessaire pour entretenir ce cyclone,

l'astronome a remarqué qu'elle était tout simplement disponible dans les courants rapides qui l'entourent. Et en modélisant la tempête en trois dimensions, il s'est en effet aperçu que des petits flux de gaz verticaux étaient capables de transférer cette énergie jusqu'à son cœur. *"Ces minuscules vents ne cessent de s'élever jusqu'à sortir de la tempête et atteindre une zone plus froide, située au-dessus d'une région plus chaude, précise le chercheur. Les vents du haut redescendent alors, et ceux du bas remontent, insufflant leur vitesse au cœur de la tempête."* Un mécanisme qui permettrait de conserver intact ce spectacle pendant plus de quatre cents ans encore... **M.F.**

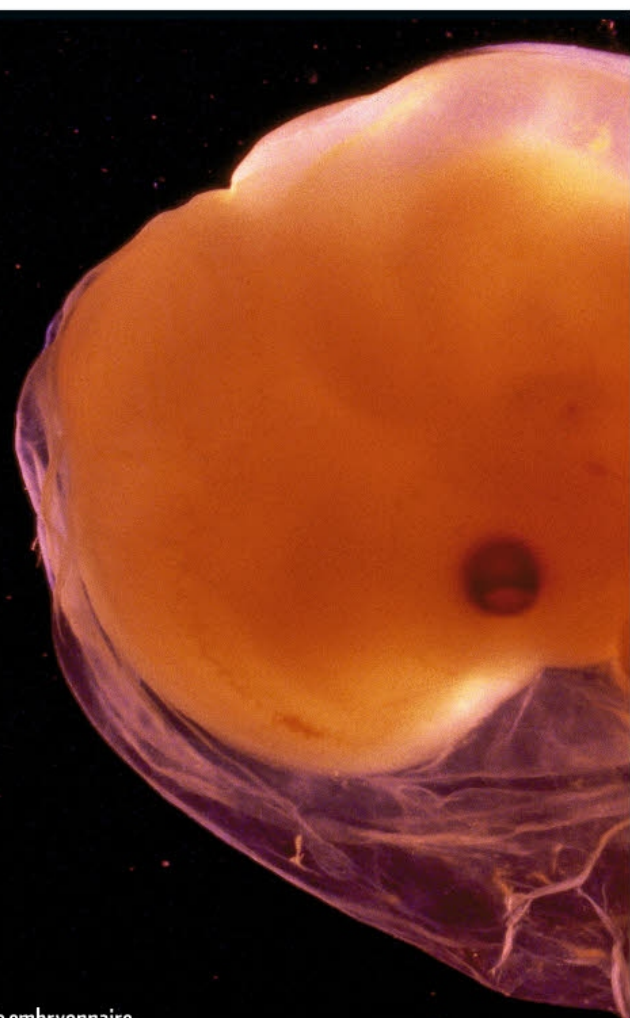
EMBRYOLOGIE

L'EMBRYON SE FORME EN TRIANT SES CELLULES

La sénescence, ce mécanisme par lequel nos cellules vieillissantes ou cancéreuses sont éliminées de notre organisme, serait en fait à l'œuvre dès la vie intra-utérine pour donner sa forme... à l'embryon ! Cette découverte surprenante a été faite simultanément par deux équipes de chercheurs espagnols et israéliens, chez l'homme et la souris. A l'âge adulte, lorsque l'ADN des cellules est endommagé, que ce soit par le vieillissement ou par des mutations entraînant des cancers, les cellules cessent généralement de se diviser. Irréversible, cette mise à l'arrêt s'accompagne d'un changement d'apparence et de la fabrication de nouvelles molécules : c'est ce qu'on appelle la sénescence. Les cellules "retraitées" sont

ensuite éliminées par le système immunitaire. On pensait ce phénomène uniquement lié à la protection de l'organisme... Jusqu'à ce qu'on détecte des cellules sénescents chez l'embryon, notamment au niveau des doigts et du système nerveux. Une découverte qui change la donne. Dans ces deux zones fortement remodelées pendant le développement, leur élimination "sculpte" l'embryon, participant à lui donner sa forme. Des perturbations de ce mécanisme expliqueraient les malformations congénitales souvent observées dans ces régions du fœtus. Cette fonction de modelage n'existe qu'avant la naissance : à l'âge adulte, la sénescence n'intervient plus que dans l'élimination des cellules endommagées. **L.C.**

> Dès le stade embryonnaire, notre organisme élimine les cellules vieillissantes, permettant à certaines parties du corps de se remodeler.



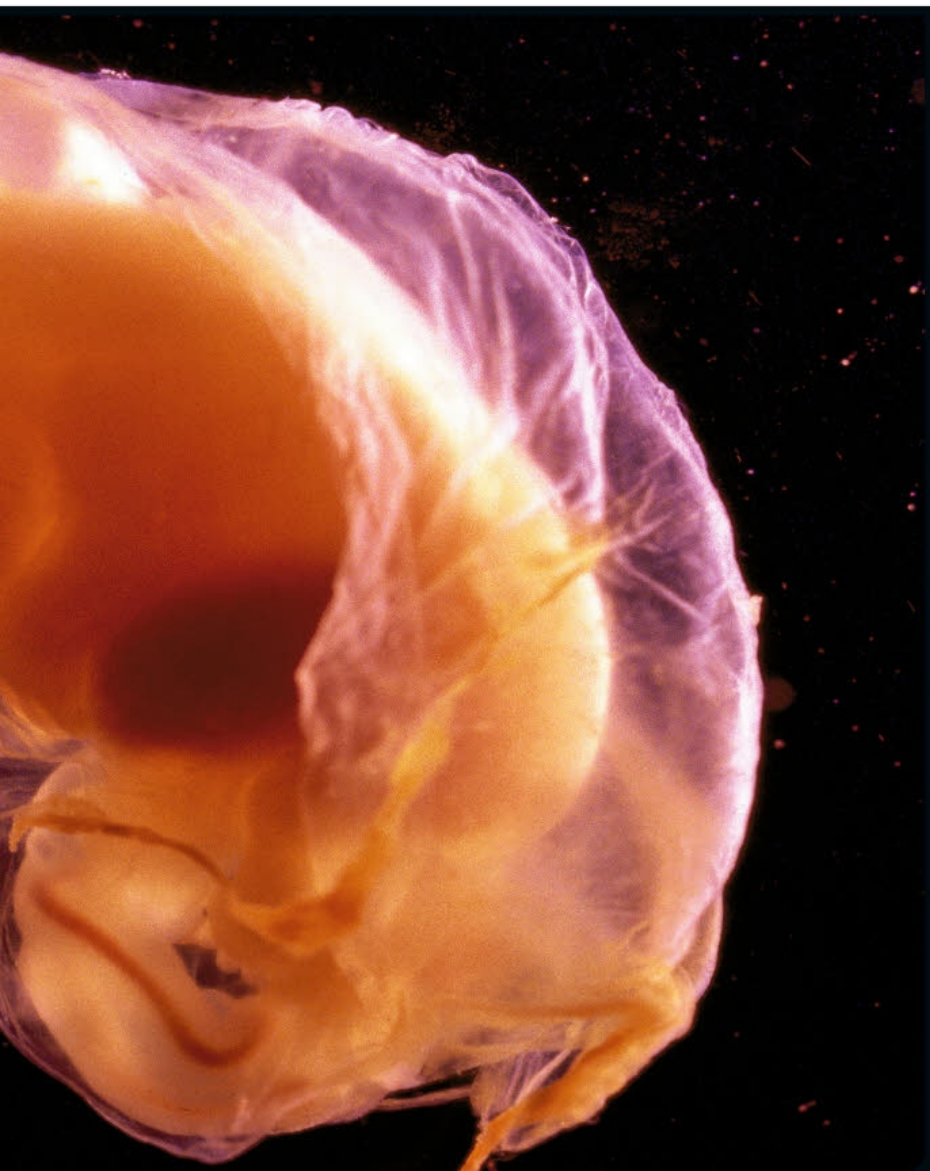
PALÉONTOLOGIE

Neandertal n'a pas attendu Sapiens pour tresser des cordes

Fragiles et putrescibles, les cordages survivent mal au passage du temps — les plus anciens connus remontaient à 30 000 ans. Une équipe franco-américaine vient toutefois de mettre au jour, dans l'Abri du Maras (Ardèche), des fibres végétales de 90 000 ans enroulées sur elles-mêmes. Ce qu'elles n'ont pas pu faire de façon naturelle. C'est le vestige des plus anciennes cordelettes connues, et qui plus est, fabriquées par Neandertal ! Sans l'"aide" de Sapiens, qui n'arrivera que 45 000 ans plus tard... **E.R.**



< Ces microfibrilles sont les vestiges d'une cordelette de 90 000 ans fabriquée par Neandertal.



PHYSIQUE

LA MÊME FORCE FAIT TOURNER LES JUPES ET LES OURAGANS

C'est la force de Coriolis, celle-là même qui influe sur le sens de rotation des ouragans sur Terre, qui fait voler les jupes des derviches tourneurs ! Martin Müller et deux de ses collègues venus lui rendre visite à l'université de Lorraine, à Metz, contemplaient un spectacle télévisé de cette danse hypnotique pratiquée par des musulmans soufis, lorsqu'un détail attira leur attention : des plis apparaissaient spontanément sur les jupes des danseurs à mesure qu'ils tournoyaient. Leur forme conique disparaissait alors au profit d'une configuration pyramidale. En modélisant plus tard les mouvements de la jupe, les physiciens se sont rendu compte que le responsable de ceux-ci n'était autre que la force de Coriolis : un phénomène qui surgit naturellement lorsqu'un corps se déplace sur un autre en rotation uniforme. Élémentaire... Mais encore fallait-il le remarquer sur la jupe d'un danseur. **B.R.**

DPT OF ANTHROPOLOGY, KENYON COLLEGE - BSIP - CODONG/CORBIS

1mm

C'est l'épaisseur de poussière qui se dépose sur la Lune tous les 1000 ans. C'est peu, mais suffisant pour endommager les appareils qui s'y trouvent, car ce "régolithe", créé par les impacts de météorites, peut atteindre 120 °C une fois chauffé par le soleil. Pour établir ce chiffre, l'Australien Brian O'Brien a exhumé les données inexploitées des missions Apollo collectées entre 1969 et 1976 par un capteur... qu'il avait lui-même mis au point au début de sa carrière. **B.R.**



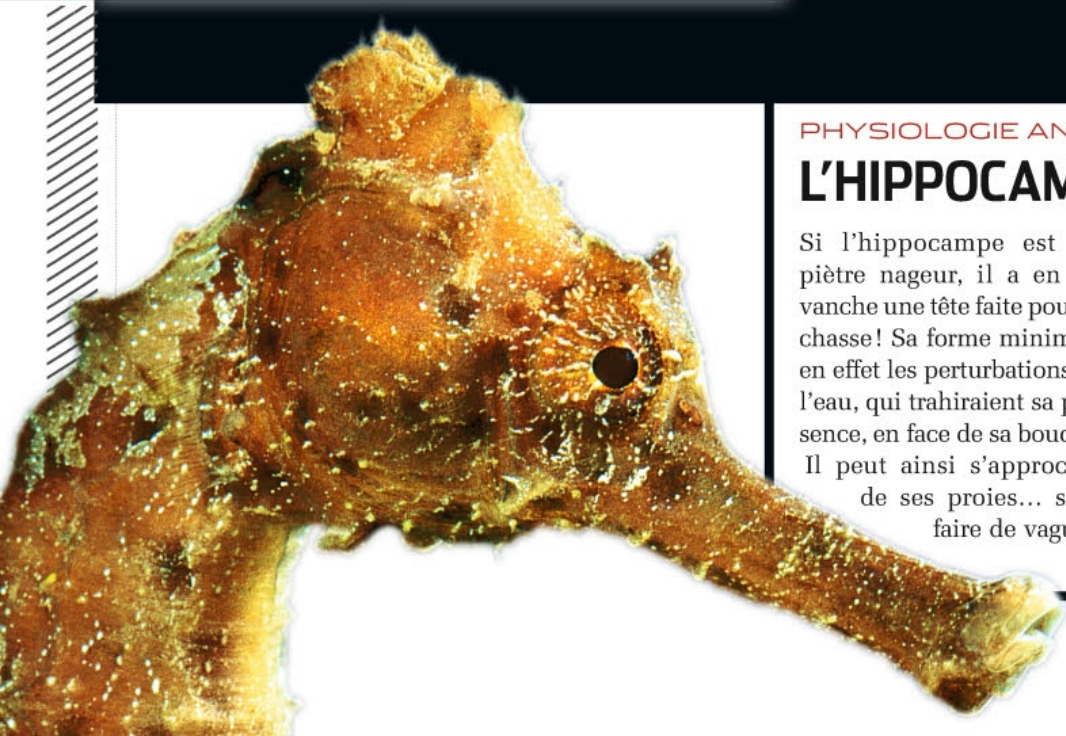
MYCOLOGIE

LES CHAMPIGNONS SE REPRODUISENT EN CRÉANT DU VENT

Les champignons ne sont pas aussi passifs qu'on le pensait, du moins en matière de dissémination : ils sont en effet capables de déclencher des courants d'air pour faciliter la dispersion de leurs spores ! Emilie Dressaire et son équipe du Trinity College (Hartford, Etats-Unis) se sont penchés sur la trajectoire des spores de *Basidiomycete*, des champignons communs comme le pleurote. "Après avoir remarqué que ses spores se dispersent même dans un environnement sans vent, explique la physicienne, nous avons décidé d'étudier l'humidité autour de la partie aérienne

du champignon." Or, c'est bien la libération de vapeur d'eau par transpiration qui refroidit l'air autour du chapeau, générant des courants convectifs suffisamment puissants pour faire s'élever les spores. De quoi les faire voyager, même quand il n'y a pas un souffle de vent. Car une fois en suspension, les courants d'air font le reste : les spores sont tellement légères qu'elles peuvent être transportées sur des milliers de kilomètres ! Une preuve que les champignons sont capables, comme les plantes, de contrôler la dispersion de leurs spores pour coloniser de nouveaux espaces. E.H.

▲ Pour mieux se disséminer, les champignons libèrent de la vapeur d'eau : les courants d'air qu'elle favorise emportent alors leurs spores.



PHYSIOLOGIE ANIMALE

L'HIPPOCAMPE CHASSE SANS

Si l'hippocampe est un piètre nageur, il a en revanche une tête faite pour la chasse ! Sa forme minimise en effet les perturbations de l'eau, qui trahiraient sa présence, en face de sa bouche. Il peut ainsi s'approcher de ses proies... sans faire de vagues.

C'est ce que démontre Brad Gemmell de l'université du Texas, à Austin (Etats-Unis), en s'appuyant sur des vidéos holographiques en 3D, qui lui ont permis de visualiser les perturbations créées dans l'eau par les mouvements de *Hippocampus zosterae* en chasse. Ainsi, si cet hippocampe nain est friand de

LA REINE DES ABEILLES EST UNE AMANTE INDISCRÈTE

Les phéromones de la reine dévoilent la teneur de ses ébats. Des biologistes américains et israéliens ont montré que leur composition varie en effet selon la qualité des accouplements, modifiant le comportement des ouvrières. En effet, si la reine a été bien fécondée, l'avenir de la ruche sera assuré. **E.H.**

VÉNUS TOURNE DANS UN ANNEAU DE POUSSIÈRES

Les satellites *Stereos* ont enfin confirmé son existence : un anneau de poussières très ténu tourne bien autour du Soleil, au niveau de l'orbite de Vénus. La poussière interplanétaire est en effet balayée vers cette zone par des phénomènes de résonance orbitale. **B.R.**

REGARDER DU SPORT, C'EST DÉJÀ EN FAIRE

Des chercheurs australiens ont constaté que regarder une vidéo d'un joggeur, comme si on était à sa place, accélère le rythme cardiaque et respiratoire. Un peu comme si le système nerveux préparait le corps à l'effort. **V.E.**

FAIRE DE VAGUES

copépodes, des petits crustacés pourtant beaucoup plus rapides que lui, il réussit à s'approcher jusqu'à 1 mm de sa proie sans se faire repérer, puis tourne brusquement la tête et l'aspire en 1 milliseconde, sans qu'elle n'ait le temps de réagir. Une technique redoutable qui réussit... 94 fois sur 100! **R.B.**

PHYSIQUE

ÇA Y EST, LE MONDE QUANTIQUE S'EST RAPPROCHÉ DE NOUS

Les propriétés quantiques des atomes se manifestent à notre échelle! En manipulant, grâce à des lasers, des millions d'ions phosphore piégés dans un ruban de silicium, une équipe internationale est parvenue à les maintenir dans un état de superposition – cette spécificité du monde quantique qui autorise les particules à être dans plusieurs endroits à la fois ou dans plusieurs orientations simultanément – durant trente-neuf minutes à température ambiante. *“Normalement, et c'est l'un des grands problèmes de la physique, les propriétés de base de toute la matière, c'est-à-dire les propriétés quantiques, n'apparaissent que durant des durées infimes et dans des milieux refroidis jusqu'à friser le zéro absolu, soit -273,15 °C, rappelle Stephanie Simmons, de l'université d'Oxford, qui a participé à l'expérience. Ici, nous les observons à des échelles de temps et de température qui sont celles du quotidien.”* Le pas franchi n'est en effet pas anodin : lors de précédents essais, les états quantiques se dissolvaient en quelques secondes, ou disparaissaient dès que la température remontait au-dessus de -263 °C. Les chercheurs espèrent déjà tirer profit de ces atomes superposés pour stocker des informations. Mais surtout, ils se félicitent : le monde quantique s'est rapproché de nous. **M.F.**



▲ Des ions piégés dans ce ruban de silicium ont manifesté des propriétés quantiques à température ambiante pendant 39 min!

GETTY - PHICKEY, DPT OF ENGINEERING, TRINITY COLLEGE

"AFFAIRE SÉRALINI" PUBLIER N'EST PAS PROUVER

Par Elsa Abdoun



Il y a un an, le biologiste français Gilles-Eric Séralini faisait la une de tous les journaux après avoir publié dans la revue scientifique *Food and Chemical Toxicology* un article censé démontrer, images chocs de souris déformées par d'énormes tumeurs à l'appui, la cancérogénicité d'un maïs OGM. A l'époque, nous avions émis de sérieuses réserves sur cette étude (voir *S&V* n° 1142, p. 68). Un an plus tard, la revue a finalement fait machine arrière: toujours consultable, elle est désormais accompagnée de la mention "retiré", et ne peut plus être citée dans d'autres articles de chercheurs.

Cette décision, qui entérine le fait que cette étude débouchait sur des conclusions erronées, a valeur d'exemple. Elle pointe la dérive par laquelle le processus de publication scientifique est de plus en plus abusivement utilisé, par des chercheurs, associations ou industriels, pour conférer à leurs opinions un caractère indubitable.

De son côté, Gilles-Eric Séralini explique le retrait de son étude par le fait que la revue s'est dotée, début 2013, d'un éditeur associé, anciennement employé par l'entreprise Monsanto. Laquelle entreprise commercialise le maïs OGM qu'il met en cause... En clair, il serait l'objet d'une censure. De telles situations de conflits d'intérêts nuisent effectivement à la crédibilité de la science, et jettent une suspicion légitime sur ses délibérations; mais dans le cas de l'étude Séralini, une chose est sûre: ses conclusions erronées correspondent parfaitement aux critères de retrait établis par le Comité pour l'éthique des publications, qui sert de guide pour les revues scientifiques dans leur gestion des articles qu'elles publient.

Il ressort ainsi que cette étude – incorrecte – n'aurait jamais dû paraître. Il faut donc se rendre à l'évidence: la publication dans une revue scientifique n'est pas une garantie absolue de véracité. Une information cruciale, pour qui

ne veut pas se voir berné par de tels artifices. Comme ceux employés par Gilles-Eric Séralini.

En effet, le principal argument de ce chercheur face à la remise en question de son étude est d'avoir été publié par une revue à "comité de lecture". En d'autres termes, l'étude, préalablement relue et "validée par des pairs", était au-dessus de tout soupçon. Un argument non valable, qui semble ignorer que l'analyse d'un article est un exercice faillible, sujet aux erreurs humaines. Pour preuve: de nombreuses autres études sont, chaque année, publiées à tort. Plus de la moitié des articles seraient concernés, selon plusieurs chercheurs qui se sont penchés sur la question. Pis, la plupart ne sont même pas retirés une fois l'erreur confirmée, car "*cela reviendrait, pour les journaux, à admettre que leur système de relecture est defectueux*", explique Ivan Oransky, auteur du blog Retraction Watch, qui recense depuis 2010 tous les retraits de publications scientifiques.

Pour les éditeurs de l'étude Séralini, la question de reconnaître ou non leur erreur ne s'est pas posée: les agences de sécurité alimentaire européenne (Efsa), française (Anses) et même allemande (BfR), le Haut Conseil des biotechnologies, six académies nationales ainsi que de très nombreux spécialistes de toxicologie, cancérologie et statistiques l'ont fait pour eux. Il faut dire que l'étude, ultra-médiatisée, a été lue par un très grand nombre de chercheurs, s'exposant dès lors aux critiques. Au final, s'il ne nous a rien appris sur les OGM, le professeur Séralini aura au moins démontré cela: les revues sont truffées de conclusions fausses. De quoi inciter à la prudence...

**COMME CELLE
DE SÉRALINI,
UNE ÉTUDE SUR
DEUX DEVRAIT
ÊTRE RETIRÉE**

S. AQUINO

Pour la vie sur Mars, on ne sait pas encore. Pour les cinq vies du papier, c'est sûr.

La force de tous les papiers, c'est de pouvoir être recyclés
au moins cinq fois en papier. Cela dépend de chacun de nous.
www.recyclons-les-papiers.fr

Tous les papiers ont droit à plusieurs vies.
Trions mieux, pour recycler plus !

Votre magazine agit pour le recyclage
des papiers avec Ecofolio.



< Cette corneille capable de raisonnements complexes mobilise ses neurones de la même façon que les primates.



ORNITHOLOGIE

LES CORNEILLES SONT BIEN MALIGNES COMME DES SINGES

Pourquoi corneilles, geais, pies et autres choucas sont-ils, au sens propre, malins comme des singes ? Parce que chez les corvidés, la partie du cerveau appelée *nidopallium caudolaterale* joue le même rôle que le cortex préfrontal des primates, qui intervient dans les raisonnements complexes. Les neurobiologistes Lena Veit et Andreas Nieder, de l'université de Tübingen (Allemagne), ont étudié le

fonctionnement individuel de 336 neurones situés dans cette partie du cerveau chez deux corneilles soumises à des tests de prise de décision. Après avoir visionné et mémorisé une première image sur un écran tactile, les oiseaux devaient choisir soit la même image, soit une différente pour obtenir une récompense, le choix s'opérant en fonction d'une règle variable, notifiée à chaque test

par un signal visuel ou sonore. Étonnamment, malgré les énormes différences anatomiques entre leur cerveau et celui des singes, la même proportion de neurones est impliquée de la même façon dans la prise de décision. Ce résultat surprenant montre qu'au cours de l'évolution, une solution identique s'est imposée aux singes et aux oiseaux pour maîtriser les raisonnements complexes. **L.C.**

ARCHÉOLOGIE

LE PAYSAN DU NÉOLITHIQUE UTILISAIT DÉJÀ UN CALENDRIER

Vieille d'environ 8 000 ans, cette défense de sanglier découverte sur le site archéologique de Smederevska Palanka, dans l'est de la Serbie, pourrait bien être le plus ancien calendrier de poche. D'après son découvreur, Milorad Stojic, de l'Institut d'archéologie de Belgrade, les encoches sculptées sur chacune de ses faces, 4 d'un côté et 28 de l'autre, pourraient représenter les 4 phases de la lune et les 28 mois lunaires. Il pourrait avoir servi aux hommes du Néolithique pour planifier leurs cultures, mais aussi suivre l'évolution des grossesses. **C.H.**



> Cette défense de sanglier vieille de 8 000 ans porte, gravés, les phases et les mois lunaires.

NEUROSCIENCES

L'absence du père modifierait notre développement cérébral

Déficit d'interaction sociale et augmentation de l'agressivité : telles sont les conséquences comportementales d'une absence du père chez la souris de Californie, une espèce monogame au sein de laquelle les deux parents s'occupent de leur progéniture. D'après les travaux de Francis Bambico, de l'université McGill à Montréal (Canada), ces traits comportementaux sont associés à une modification des synapses dans le cortex préfrontal, une zone qui contribue au contrôle des fonctions cognitives et sociales. **E.L.T.**

CONSULTEZ EN LIGNE 25 ANS DE SCIENCE & VIE !

Avec LES GRANDES ARCHIVES SCIENCE & VIE

Retrouvez
+ de 300 numéros
de Science & Vie depuis 1989



Consultez
+ de 15000
articles

Faites des
recherches efficaces
grâce à un moteur
de recherche
performant



Parcourez les
grands dossiers
conçus par la rédaction

Abonnez-vous aujourd'hui

pour bénéficier d'une
consultation illimitée
pendant 1 an

TARIF
ABONNÉ

12€
au lieu de 36€

TARIF
LECTEUR

36€

www.archives.science-et-vie.com

BULLETIN D'ABONNEMENT

A compléter et à renvoyer dans une enveloppe timbrée accompagné du règlement à
Science & Vie - B341 - 60647 Chantilly cedex

Oui, je m'abonne aux Grandes Archives.

Je suis abonné :

☐ Je règle la somme de 12 €

761 460

J'aurai besoin de mon n° d'abonné pour me connecter.

Je ne suis pas abonné :

☐ Je choisis l'abonnement aux archives seules :
je règle la somme de 36 €

761 478

☐ Je choisis l'abonnement au magazine et aux
archives (soit 35 €* l'abonnement + 12 € l'accès aux archives) :
Je règle la somme de 47 €

761 486

NOM : _____

PRÉNOM : _____

ADRESSE : _____

CODE POSTAL : _____ VILLE : _____

TÉL. : _____

E MAIL : _____ @ _____

Adresse mail obligatoire pour recevoir mes identifiants

Je joins mon règlement par :

☐ chèque bancaire ou postal à l'ordre de Science & Vie

☐ _____

Date d'expiration _____ Code crypto _____

(les 3 chiffres au dos de votre CB)

► Dès réception de mon paiement je recevrai mes identifiants pour me connecter ◀

C1157B

*Prix public et prix de vente en kiosque. Offre valable pour un 1^{er} abonnement livré en France métropolitaine jusqu'au 15/03/14 et dans la limite des stocks disponibles. Je peux acquiescer séparément chacun des numéros mensuels de Science & Vie au prix de 4,20 €. Conformément à la loi informatique et libertés du 6 janvier 1978, vous disposez d'un droit d'accès aux données vous concernant. Il vous suffit de nous écrire en indiquant vos coordonnées.
Service Abonnements - Science & Vie - 8 rue François Driy 92543 MONTRouGE Cedex. RCS B 452 791 262 - Capital : 1 717 360 €.

Je m'abonne en ligne sur :

www.maboutiquemagazines.com



✓ Pour pouvoir imiter les adultes, les enfants de 14 mois se sont déjà construits une cartographie cérébrale de leur corps.

NEUROLOGIE

LES BÉBÉS PENSENT LEUR CORPS AVANT DE NOUS IMITER

Les jeunes enfants adorent imiter les adultes : c'est même un mécanisme clé de l'apprentissage. Or, d'après les travaux de chercheurs américains, pour y parvenir, ils réaliseraient d'abord une cartographie cérébrale de leurs membres à partir de ce qu'ils observent chez les adultes. On savait déjà que, lorsqu'un adulte regarde quelqu'un taper dans un ballon avec sa main ou son pied, les zones de son cortex sensori-moteur correspondant à sa propre main ou à son propre pied s'activent, comme s'il avait lui-même frappé dans le ballon. Or, Joni Saby et Peter Marshall, de l'université Temple de Philadelphie

(Etats-Unis), viennent de montrer qu'il en va de même chez les bébés. Alors que des enfants de 14 mois ne savent pas encore nommer les parties de leurs corps, l'électroencéphalogramme de 70 d'entre eux a révélé qu'ils sont déjà capables de les identifier et d'associer à leurs propres membres un mouvement du pied ou de la main chez l'adulte qu'ils observent. *"Nous pensons que ce mécanisme d'activation du cortex joue un rôle important dans la capacité d'imitation des bébés, explique Joni Saby. En effet, pour imiter l'action d'un adulte, l'enfant doit d'abord identifier la partie de son corps qu'il utilise."* C.H.

PSYCHOLOGIE

Avoir une bonne mémoire n'évite pas les faux souvenirs

Les personnes dotées d'une mémoire autobiographique dite "supérieure" se souviennent en détail de ce qu'elles ont vécu, même des décennies plus tard. Ce don – ou fardeau – ne les protège pourtant pas des faux souvenirs : des tests menés par des chercheurs américains ont en effet montré que leur cerveau en fabrique autant que celui de n'importe qui. Personne n'est donc immunisé contre ce travers qui peut prêter à conséquences (justice, psychiatrie...). L.C.



ZOOLOGIE

LE PLUS VIEIL ANIMAL CONNU A VÉCU 507 ANS

Il a été contemporain des explorations de Magellan et des attentats du 11 septembre ! Baptisé Ming (du nom de la dynastie chinoise qui régnait à sa naissance, en 1499), ce mollusque, une praire d'Islande, a vécu 507 ans. Un record dans le monde animal, d'après Paul Butler. En comptant les stries annuelles de sa coquille, ce chercheur de l'université de Bangor (Royaume-Uni) avait d'abord estimé son âge à 407 ans. Mais elle était tellement vieille que les premières stries étaient presque indiscernables. Le nouvel âge a donc été établi par une datation au carbone 14. Combien de temps aurait-elle encore pu vivre si une expédition ne l'avait pas remontée en 2006 ? V.E.



LA MARCHÉ DES SCIENCES

DÉCOUVERTES, INVENTIONS, AVENTURES SAVANTES
AU FIL DE L'HISTOIRE

AURÉLIE LUNEAU

chaque jeudi / 14h-15h

Rendez-vous avec les sciences sur France Culture
du lundi au jeudi 14h-15h

en partenariat avec

SCIENCE & VIE

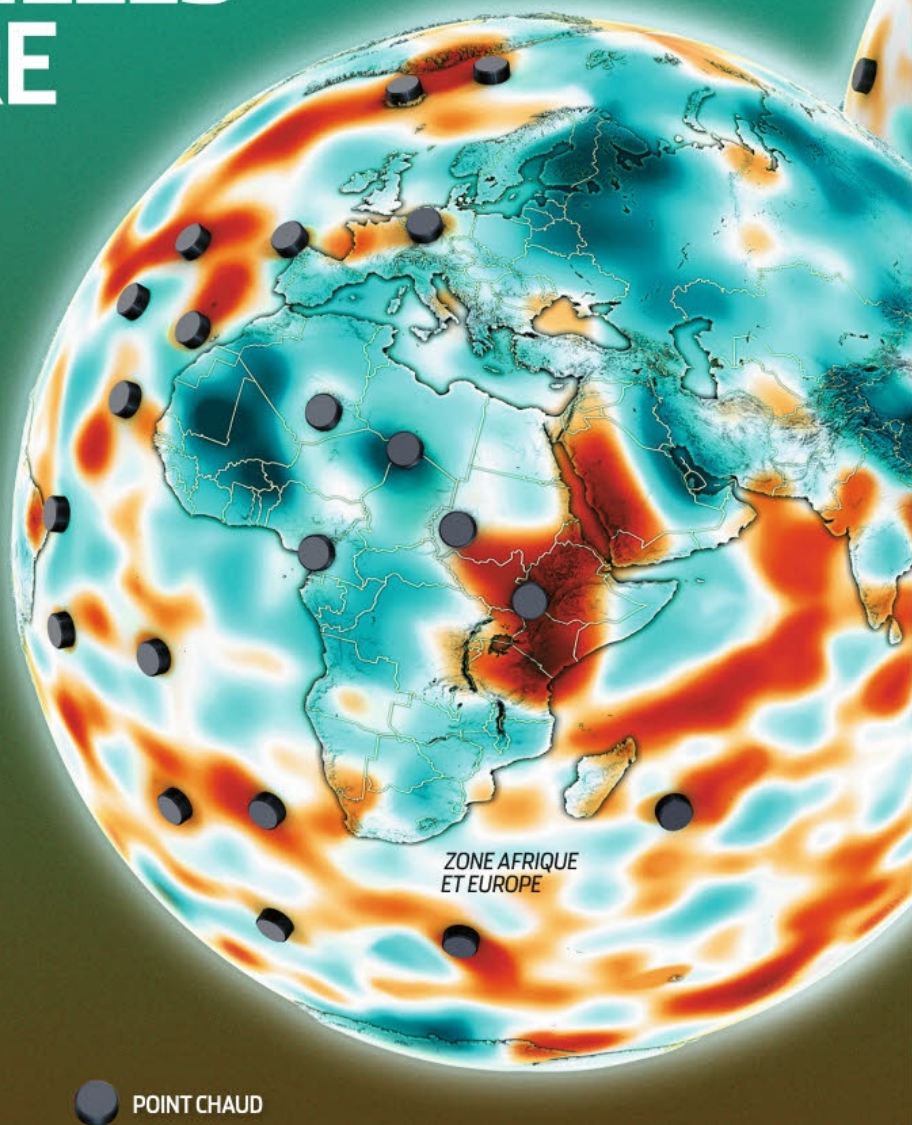
Écoute, réécoute et podcast
sur **franceculture.fr**



SISMOLOGIE

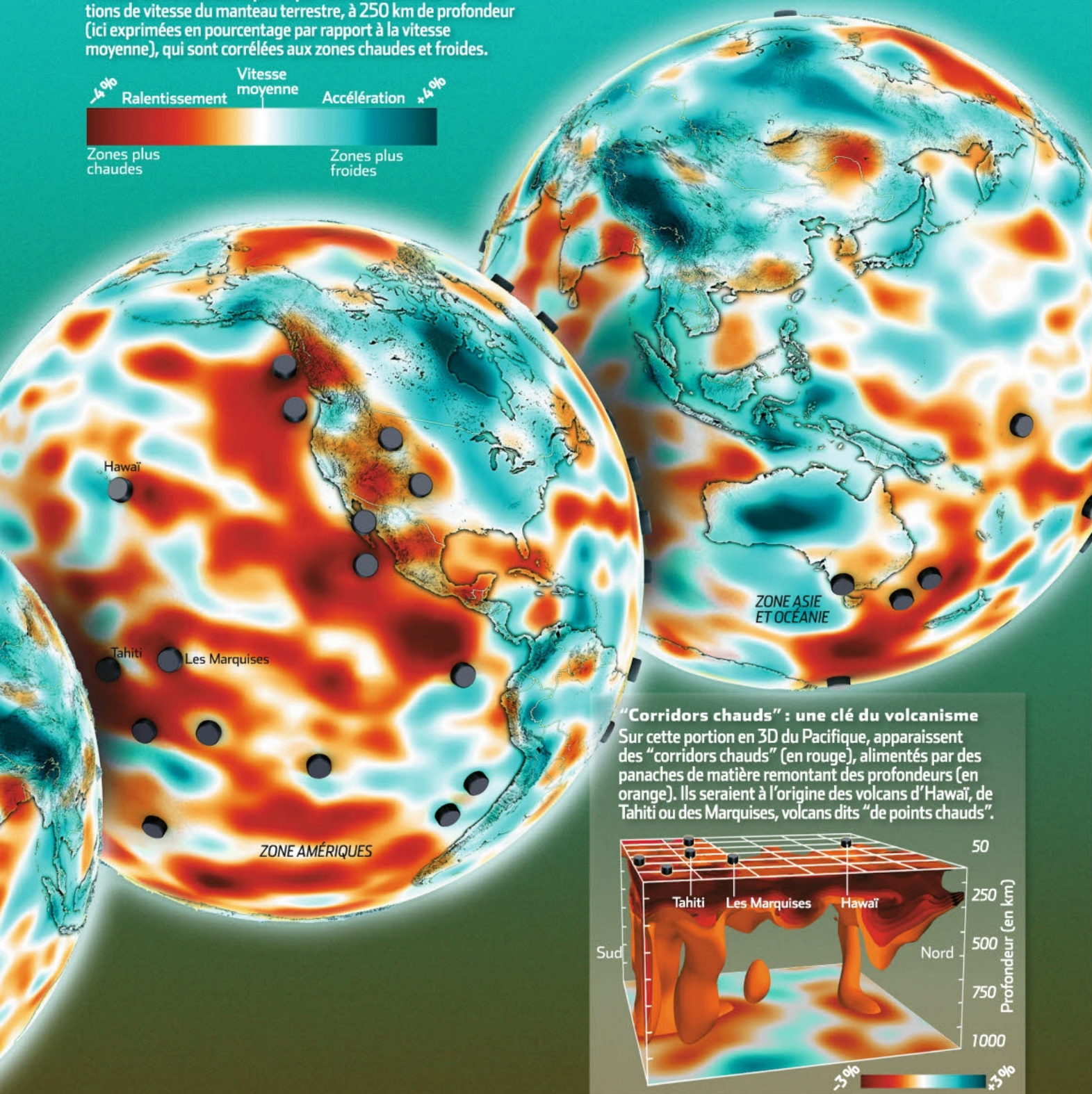
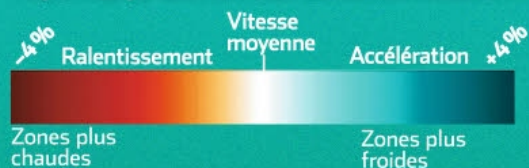
VOICI LA CARTE THERMIQUE DES ENTRAILLES DE LA TERRE

Des chercheurs des universités de Berkeley et du Maryland, et du Collège de France, ont réussi à visualiser, avec une précision inégalée, les mouvements de convection qui animent le manteau terrestre supérieur (entre 100 et 670 km de profondeur). Barbara Romanowicz et son équipe ont réalisé une tomographie sismique du globe : ils ont étudié la propagation des ondes engendrées par 200 séismes dans le monde entier. Comme ces ondes ralentissent dans les zones chaudes et accélèrent dans les zones froides, elles fournissent une “photographie thermique” des entrailles de la planète. Les chercheurs ont ainsi découvert l'existence de longs “corridors chauds” (200 °C de plus que le milieu environnant), vraisemblablement alimentés par des panaches de matière remontant des profondeurs, et ceci... majoritairement en dessous de volcans dits “de points chauds”, comme ceux qui ont donné naissance à Hawaï ou Tahiti. Voilà qui expliquerait l'existence de ces volcans qui intriguent les géophysiciens, car ils se dressent en plein milieu des plaques tectoniques, et non pas à leur frontière, comme les autres volcans, dits “de subduction”. **L.C.**



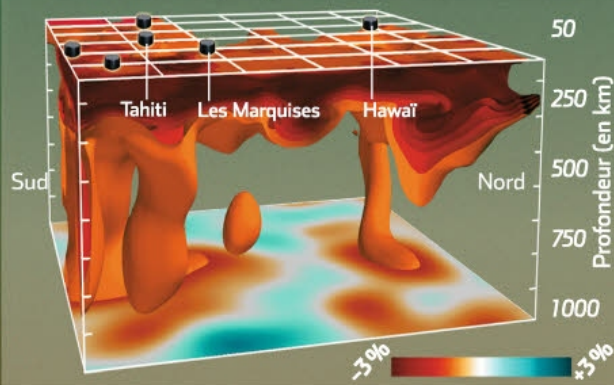
La variation des mouvements du manteau révèle les zones chaudes et froides

L'étude des ondes sismiques a permis de déterminer les variations de vitesse du manteau terrestre, à 250 km de profondeur (ici exprimées en pourcentage par rapport à la vitesse moyenne), qui sont corrélées aux zones chaudes et froides.



"Corridors chauds" : une clé du volcanisme

Sur cette portion en 3D du Pacifique, apparaissent des "corridors chauds" (en rouge), alimentés par des panaches de matière remontant des profondeurs (en orange). Ils seraient à l'origine des volcans d'Hawaï, de Tahiti ou des Marquises, volcans dits "de points chauds".



1300 °C : c'est la température moyenne du manteau terrestre supérieur.

350 km : c'est la profondeur à laquelle s'enfoncent les corridors chauds récemment découverts.

45 volcans de points chauds ont été recensés, majoritairement au niveau des océans.

VOLCANOLOGIE

EN ANTARCTIQUE, LE FEU GRONDE SOUS LA GLACE

Un volcan actif vient d'être détecté sous la calotte antarctique ! Tout a commencé lorsqu'Amanda Lough (université de Washington, États-Unis) s'est penchée sur des petits séismes enregistrés en janvier 2010 et mars 2011. Trop faibles, et générés à une profondeur trop grande (25 à 40 km) pour être dus au mouvement des plaques ou de la glace, ils avaient toutes les caractéristiques des secousses engendrées par le déplacement du magma, les roches fondues à l'origine de la lave et du gaz émis par les volcans. En consultant d'autres études, la sismologue s'est aperçue que le socle rocheux s'élève d'environ 1 kilomètre à l'endroit des secousses : cette

montagne sous la glace serait un volcan formé par une précédente éruption. De plus, la présence de roches volcaniques expliquerait un champ magnétique légèrement plus élevé à cet endroit. Ce nouveau volcan, situé dans l'alignement de la chaîne Executive Committee Range, serait le dernier-né d'un "point chaud", une source de magma située dans le manteau, au-dessus de laquelle se déplace l'Antarctique. Désormais, seul cet édifice sous-glaciaire est actif. *"Il a peu de chances de transpercer la glace, épaisse de 1 à 1,5 km, estime Amanda Lough. Mais il pourrait accélérer la fonte de la base de la calotte glaciaire."* V.E.



430 000

C'est, en Ile-de-France, le nombre de logements menacés en cas de crue centennale, comme celle qu'a connue Paris en 1910. Ce qui équivaut à 8 % de l'habitat. Voilà la conclusion d'une étude réalisée par l'Institut d'aménagement et d'urbanisme en superposant la cartographie des zones à risques avec les fichiers fonciers du ministère des Finances. Les dégâts occasionnés seraient considérables : jusqu'à 20 milliards d'euros. P.L.

ZOOLOGIE

On a découvert le premier crustacé venimeux

Hormis les crabes et leurs pinces, on croyait les crustacés inoffensifs. C'était avant la découverte de *Speleonectes tulumensis* dans des grottes noyées du Yucatan, au Mexique. Ce rémipède est le premier crustacé venimeux connu au monde ! Sur sa tête sans yeux, des appendices semblables à des aiguilles hypodermiques injectent à ses proies un cocktail mortel de neurotoxines et d'enzymes, pour les paralyser et les prédigérer. D.H.



< Des petits séismes ont trahi dans cette région de l'Antarctique, la Terre Mary Bird, la présence d'un volcan actif sous-glaciaire.



< *Speleonectes tulamensis* empoisonne ses proies grâce aux appendices qu'il porte sur la tête.

CONSERVATION DES ESPÈCES

L'ÉLÉPHANT D'AFRIQUE EST PLUS QUE JAMAIS VICTIME DU BRACONNAGE

Ils étaient 1,2 million en 1980, ils ne sont plus que 500 000... A ce rythme, le continent africain pourrait encore perdre 20 % de ses éléphants au cours de la prochaine décennie. En effet, selon un rapport récent de l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN), le braconnage y a pris une ampleur inouïe. Et ce, en dépit des accords internationaux visant à préserver leurs populations, car l'éléphant d'Afrique figure sur la liste des espèces protégées. Selon les derniers comptages, plus de la moitié des spécimens retrouvés morts ont été tués illégalement ! Sans surprise, l'origine de ce fléau reste le commerce de l'ivoire : avec 22 000 éléphants tués en 2013, le trafic a été 2,5 fois supérieur à ses niveaux des années 2000, soutenu par une demande asiatique croissante et l'explosion du cours de l'ivoire... Pour Florian Kirchner, écologue à l'UICN, ces abattages pourraient même entraîner des extinctions locales de l'espèce, en particulier en Afrique centrale. Pour enrayer cette escalade dramatique, les 30 pays concernés par le braconnage et le commerce de l'ivoire ont adopté des mesures afin de coordonner leurs actions de pénalisation et de dissuasion du trafic.

E.H.

> En treize ans, le trafic d'ivoire a été multiplié par 2,5, malgré les accords visant à protéger les éléphants d'Afrique.



ALAMY/PHOTO12 - DR - T.KARUMBA/AFP

ÎLE VOLCANIQUE

UNE ÉMOUVANTE NAISSANCE A EU LIEU



Au large du Japon, une minuscule île a surgi des eaux, à la suite d'une remontée brutale de magma. Suivie en direct, cette naissance témoigne de l'intense activité de la croûte terrestre.

Ce n'est pas la première! Et il y en aura encore beaucoup à émerger ainsi, confettis de terre surgissant tout à coup des eaux. Mais le spectacle est toujours aussi émouvant. Et cette fois, le prodige s'est produit au large du Japon: le 20 novembre dernier, une île a percé la surface de l'eau, dans l'archipel d'Ogasawara, à un millier de kilomètres au sud de Tokyo. Trois semaines plus tard, son diamètre frôlait les 300 m, pour 20 m de haut. Et aux dernières nouvelles, l'île n'en finit pas de grandir...

FRAGILE ET INSTABLE

"Cette île en formation est un volcan qui se construit sur l'arc Izu-Bonin, explique Benoît Villemant, de l'Institut des sciences de la Terre, à Paris. Là, la plaque Pacifique plonge sous la plaque Philippine, créant des magmas moins denses qui remontent vers la surface." Quantité de volcans naissent ainsi dans les océans; il est en revanche très rare qu'ils conduisent à l'émergence d'un cône. *"Les fonds marins sont à des milliers de kilomètres de*

la surface, il faut des centaines, voire des millions d'années pour construire une île!", souligne Benoît Villemant. Mais l'édifice nippon, lui, s'est développé sur une coulée de lave datant de 1973, à quelques dizaines de mètres de profondeur. D'où cette rapide apparition.

Deux mois auparavant, une île, de 200 m de long sur 100 de large, avait surgi en mer d'Oman. Mais les forces qui avaient présidé à cette naissance étaient bien différentes: elles provenaient du séisme de magnitude 7,7 qui s'était produit à plusieurs centaines de kilomètres, au Pakistan. Les deux îles ont toutefois un point commun: leur avenir, très incertain. Fragiles et instables, elles peuvent s'effondrer sous l'effet de séismes ou d'éruptions. *"Impossible de savoir si elles vont perdurer, reprend Benoît Villemant. Au sud de la Sicile, l'île Julia a même pour particularité d'émerger puis de disparaître régulièrement."* La dernière-née pourrait donc s'éclipser sous les flots... aussi vite qu'elle est apparue. **R.B.**

> L'île qui a émergé en novembre dernier, à 1 000 km au sud de Tokyo, n'a pas encore été baptisée. Elle peut grandir et s'installer, mais aussi s'effondrer sur elle-même et couler.

FAITS & CHIFFRES

Le Japon s'est empressé d'ajouter cette **nouvelle île** aux **6 852** déjà recensées, car elle risque d'étendre légèrement son territoire. Le pays a connu **4 ou 5 apparitions similaires** depuis la guerre du Pacifique (1941-1945). La dernière datait de **1986**, et a été balayée par les vagues en **49 jours**.

AFP



ÉCOLOGIE

LA BIODIVERSITÉ PEUT S'ÉVALUER PLUS EFFICACEMENT

Les écosystèmes les plus riches ne sont pas ceux où il y a le plus d'espèces. C'est ce que montre Rick Stuart-Smith (université de Tasmanie, Australie), grâce à une nouvelle manière d'évaluer la biodiversité. Traditionnellement, on estime un écosystème peuplé par un poisson, un oiseau et une limace aussi riche qu'un autre habité par trois espèces de poissons ! Pour en avoir une vision plus fine, le chercheur a pris en compte non pas le nombre, mais la diversité "fonctionnelle" de chaque espèce, c'est-à-dire les caractéristiques qui définissent leur rôle dans l'écosystème. Il

a appliqué sa méthode à 1844 récifs rocheux et coralliens à travers le monde, contenant 2473 espèces de poissons. Dans les Galápagos, où le nombre d'espèces est faible, la diversité fonctionnelle est élevée car chaque type de poisson possède des caractéristiques différentes et un rôle unique dans la préservation des îles. A l'opposé, dans des zones tropicales plus riches en espèces, celles-ci ont des caractéristiques et des rôles redondants. Les chercheurs espèrent que ces travaux permettront d'améliorer l'efficacité des mesures de sauvegarde des écosystèmes fragiles. **S.F.**



BIOGÉOCHIMIE

L'EUCALYPTUS EST UN PARFAIT

Et si l'eucalyptus devenait le nouvel allié du chercheur d'or ? D'après une étude de Melvyn Lintern, de la Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation, en Australie, la présence d'or dans

ses feuilles pourrait indiquer l'existence d'un gisement souterrain. En effet, en analysant des arbres qui poussent au-dessus de deux gisements non exploités, le chercheur a découvert que leurs feuilles stockent l'or sous forme de micropépites, et même qu'elles transpirent quelques milliardièmes de gramme



LES REQUINS REVIENNENT METTRE BAS LA OÙ ILS SONT NÉS

Aux Bahamas, en suivant pendant vingt ans des requins-citron, des chercheurs ont montré que les mères, comme les tortues, regagnent leur plage natale pour donner naissance à leurs petits. Ceux-ci attendront ensuite de cinq à huit ans avant de prendre le large, et se reproduiront vers l'âge de 15 ans. **F.G.**

UNE NOUVELLE CALAMITÉ POUR LES CHAUVES- SOURIS

Collisions, modifications de la pression... : en 2012, au moins 600 000 chauves-souris sont mortes, aux Etats-Unis, à cause des éoliennes. Un fléau qui vient s'ajouter aux maladies et aux changements climatiques qui les perturbaient déjà. **F.G.**

ACIDIFIÉ, L'OCEAN REND LES POISSONS ANXIEUX

Conséquence inattendue de l'acidification des océans due à la hausse du taux de CO₂ dans l'atmosphère : les poissons deviendraient anxieux. Dans des aquariums aussi acides que leur milieu naturel pourrait le devenir en 2100, les jeunes poissons rechignent à nager dans les eaux lumineuses, préférant la sécurité de l'ombre. **F.G.**

CHERCHEUR D'OR

d'or soluble. Ces phénomènes ont été reproduits avec des eucalyptus cultivés sous serre dans un sol enrichi en or : la preuve que le minerai n'est pas déposé par le vent ou la pluie, mais provient bien du sol, dans lequel ces arbres plongent leurs racines jusqu'à 40 m de profondeur. **V.E.**

« Plus que leur nombre, c'est le rôle et la fonction qu'exercent, ici aux Galápagos, les espèces qui témoignent de la richesse d'un écosystème. »

AGRONOMIE

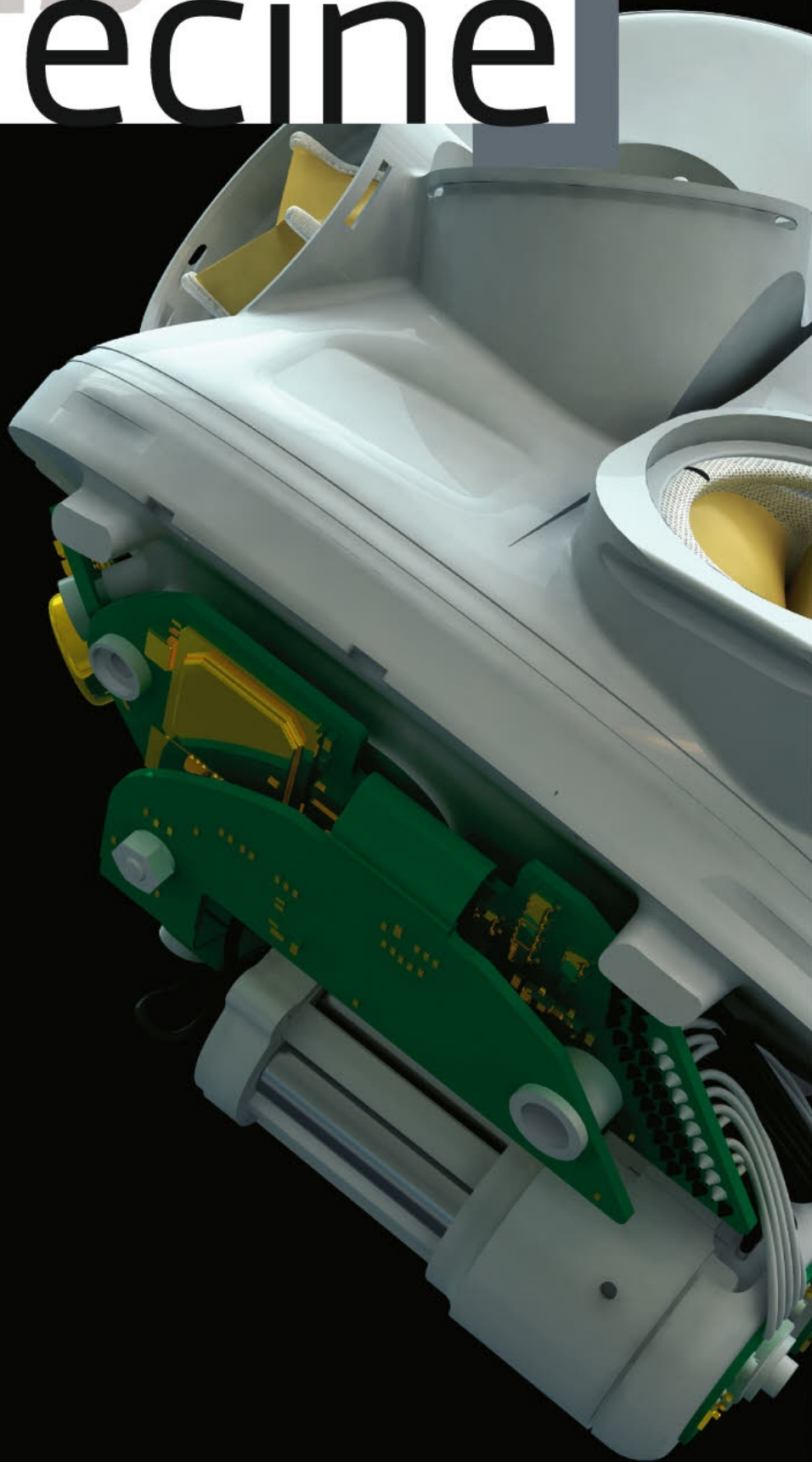
LES NITRATES CONTAMINENT LES SOLS PENDANT... 80 ANS

Une équipe franco-canadienne a montré que l'azote des engrais artificiels persiste beaucoup plus longtemps qu'on ne le pensait dans le sol. On savait en effet que les nitrates qui dérivent de ces fertilisants contaminent les eaux, dégradant l'environnement et la santé. Mais dans quelle proportion sont-ils réellement absorbés par les cultures ? Quelle quantité reste dans les sols ? Passe dans les eaux ? Et en combien de temps ? Pour répondre à ces questions, Mathieu Sebilo (université Pierre-et-Marie-Curie, Paris) a étudié sur plusieurs décennies le parcours d'un engrais marqué à l'azote 15, plus lourd que l'azote habituel, dispersé en 1982 à travers deux lysimètres dans la région de Châlons-en-Champagne. Ces parcelles de terre équipées de systèmes de prélèvements permettent en effet un suivi précis des cultures. Résultat : en trente ans, les plantes ont absorbé de 61 à 65 % de l'azote de l'engrais. Mais entre 12 et 15 % demeurent encore piégés dans la matière organique du sol. Chaque année, une petite partie, transformée en nitrates, passe dans l'eau. Ainsi, en trois décennies, de 8 à 12 % de l'engrais marqué utilisé en 1982 se sont retrouvés dans l'eau. Et cela va continuer pendant au moins cinquante ans ! Pour espérer limiter la pollution par les nitrates, il faut donc tenir compte non seulement des pratiques actuelles, mais aussi de celles du passé...



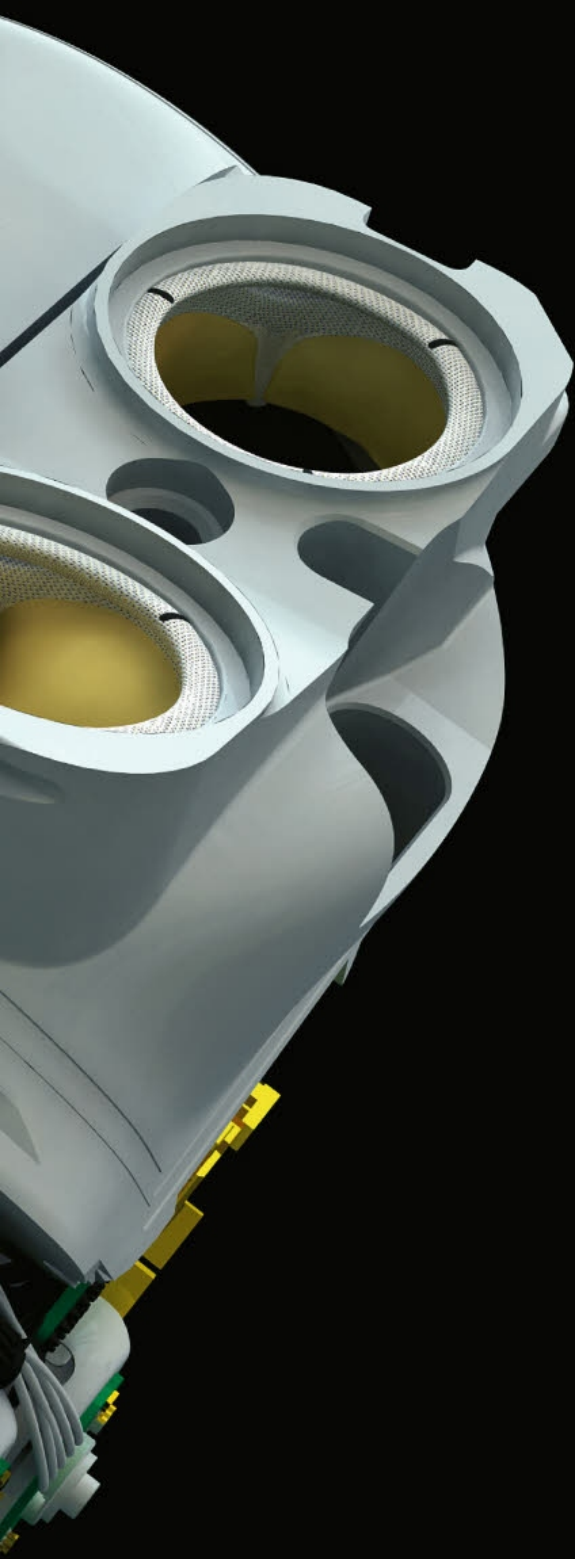
« L'azote des engrais n'est pas entièrement absorbé par ces betteraves : environ 15 % va s'infiltrer dans les sols. »

actus médecine



> Ce cœur artificiel a été conçu pour battre 45 millions de fois par an ! D'une masse de 900 grammes (trois fois plus qu'un vrai cœur), il adapte en temps réel le rythme de ses pompes aux efforts physiques du patient.

> C'est le Pr Alain Carpentier, à l'origine dans les années 1960 des toutes premières valves artificielles fabriquées avec des tissus biologiques, qui est l'inventeur de ce premier cœur artificiel.



CARDIOLOGIE

UN CŒUR ARTIFICIEL COMPLET A ÉTÉ IMPLANTÉ!

C'est une première mondiale. Le 18 décembre, à l'hôpital Georges-Pompidou, à Paris, un cœur artificiel durable a été implanté sur un patient en phase terminale, âgé de 75 ans... et il a battu! Jusqu'ici, plusieurs prothèses cardiaques partielles avaient été mises au point, mais aucune n'était complète et durable. *"Il serait prématuré d'en tirer des conclusions car il s'agit d'une seule implantation et d'un délai post-chirurgical encore très court"*, commente avec prudence Marcello Convit, directeur de Carmat, la société française qui travaille sur le projet depuis 25 ans (voir *SV* n° 1132). Reste que la révolution est là. Conçu pour durer au moins 5 ans, ce cœur utilise des matériaux biocompatibles (péricarde de

bovin), ce qui élimine tout traitement antirejet, et une pile lui garantit une autonomie de plusieurs heures. *"C'est un projet superbe! Il faudra vérifier sa durabilité et son autonomie, mais pour la première fois, une équipe a abouti à la réalisation d'un cœur total"*, commente Jean-François Obadia, spécialiste en chirurgie cardiaque au CHU de Lyon. Dans les prochaines semaines, d'autres opérations pourraient avoir lieu à Nantes et au Plessis-Robinson. Un formidable espoir pour les 100 000 victimes dans le monde d'insuffisance cardiaque grave et pour lesquelles la seule chance de survie était la greffe d'un cœur sain ou la pose d'une prothèse temporaire, en attente d'un don d'organe. **M.V.**



BIOLOGIE CELLULAIRE

DES REINS SERONT BIENTÔT CULTIVÉS EN LABORATOIRE

Des chercheurs du Salk Institute, en Californie, ont fabriqué des bourgeons urétéraux, une partie essentielle du rein, grâce à des cellules souches humaines. Il s'agit d'une double prouesse, car s'il est très délicat de transformer des cellules souches en cellules de rein, il est encore plus difficile de les organiser en tissus. En effet, la structure du rein et

les nombreux types de cellules qui le composent en font l'un des organes les plus complexes. Yun Xia et ses collègues ont procédé en deux temps. En utilisant des molécules connues pour leur rôle dans la croissance des reins, ils ont transformé des cellules souches en cellules du bourgeon urétéral (il engendre l'uretère et les autres conduits collecteurs

d'urine). Puis, les scientifiques ont cultivé ces cellules éparées en compagnie d'autres cellules rénales, dans les trois dimensions de l'espace. Résultat : des bourgeons urétéraux complets se sont assemblés ! Ceux-ci pourront être utilisés pour tester les effets de nouveaux médicaments ou étudier l'évolution des maladies rénales. **L.C.**

CANCER DU SEIN : ON Y SURVIT PLUS EN FRANCE

Cinq années après le diagnostic, le taux de survie au cancer du sein est estimé à 86,1 % en France. Soit au-dessus de la moyenne européenne (81,8 %) et au-dessus de l'Allemagne (83,6 %) ou du Royaume-Uni (79,2 %), selon l'étude Eurocare.

LES AUTISTES VOIENT LES LETTRES EN COULEURS

D'après une étude basée sur des questionnaires, 20 % des personnes autistes seraient synesthètes : certaines lettres ou certains sons leur évoquent des couleurs. C'est trois fois plus que dans la population générale.

MAL DES MONTAGNES : LES SUJETS À RISQUE SERONT DÉTECTÉS

En altitude, le manque d'oxygène provoque des malaises pouvant entraîner la mort. Jusqu'à présent, on attendait les premiers signes pour agir. Dorénavant, par une simple mesure du travail du cœur et de l'oxygène dans le sang, on pourra prévoir les personnes à risque. Et ainsi leur proposer une adaptation plus douce. **A.L.**

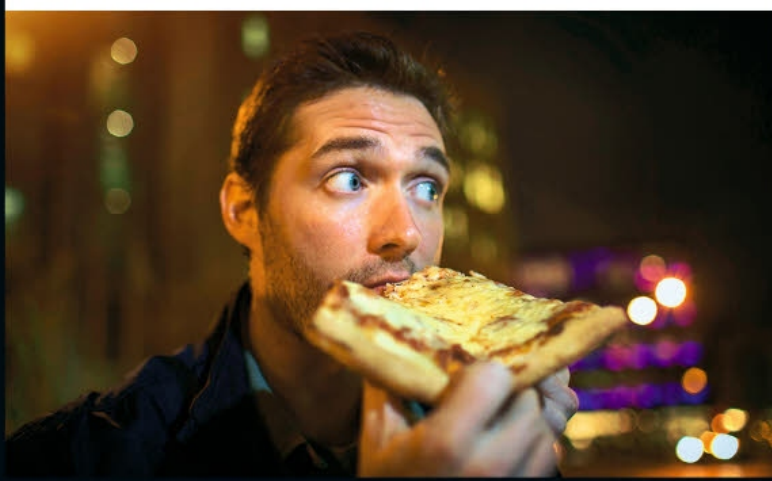
▲ C'est la première fois que des cellules souches donnent naissance à des bourgeons urétraux complets : ils pourraient permettre, notamment, de tester de nouveaux médicaments.

SALK INSTITUTE FOR BIOLOGICAL STUDIES - PLAINPICTURE - GARO/PHANIE

NUTRITION

LA SATIÉTÉ EST RÉGULÉE PAR NOTRE HORLOGE BIOLOGIQUE

Des nerfs de l'estomac signalent s'il est l'heure de manger : c'est ce qu'a découvert, chez la souris, l'équipe de Stephen Kentish (université d'Adelaïde, Australie). Ces nerfs renseignent le cerveau sur le remplissage de l'estomac, et contrôlent ainsi la satiété. Mais leur sensibilité varie au cours de la journée. Chez la souris, animal nocturne, ils sont moins sensibles la nuit : il faut beaucoup de nourriture pour déclencher la satiété, lorsque l'animal est actif et a besoin d'énergie. Le jour, période de repos, la satiété est déclenchée assez rapidement. Pour l'homme, la sensibilité des nerfs serait inversée, plus marquée le jour que la nuit. Cette sensibilité contrôlerait l'horloge de la prise alimentaire selon les besoins en énergie, mais elle pourrait être dérégulée chez les personnes qui travaillent la nuit. Cela expliquerait pourquoi elles souffrent plus souvent d'obésité et de diabète. **V.E.**



SALK INSTITUTE FOR BIOLOGICAL STUDIES - PLAINPICTURE - GARO/PHANIE

DERMATOLOGIE

L'EAU DE JAVEL RÉVÈLE DES VERTUS INSOUÇONNÉES

L'eau de Javel n'est pas qu'un désinfectant. Très diluée (0,005 %), elle permet de soulager l'eczéma... ou de ralentir le vieillissement de la peau, d'après une étude de Thomas Leung (université Stanford, Etats-Unis). Grâce à 30 minutes quotidiennes dans un bain de Javel, des souris âgées ou soumises à des radiations ont retrouvé une peau de bébé : leurs épidermes amincis par l'âge avaient retrouvé une certaine épaisseur, et les lésions dues aux rayons étaient évitées. L'eau de Javel, en plus d'être antibactérienne, agit comme un anti-inflammatoire et favorise la multiplication des cellules. Elle pourrait être utilisée pour améliorer la cicatrisation chez les personnes âgées et les patients en radiothérapie. Mais attendez un peu avant d'en ajouter à votre crème antirides ! **V.E.**



POURQUOI LES AVC FRAPPENT DE PLUS EN PLUS TÔT

L'accident vasculaire cérébral ne touche plus seulement le troisième âge. A l'origine de ce phénomène mondial: les pathologies liées au mode de vie moderne. Explications.

Alors que les accidents vasculaires cérébraux (AVC) sont considérés comme une maladie du troisième âge, il semblerait qu'ils épargnent de moins en moins les plus jeunes. Pour mémoire, les AVC surviennent quand un vaisseau sanguin du cerveau est bouché par un caillot ou par l'athérosclérose, ou bien se rompt sous une pression artérielle excessive. La zone cérébrale desservie par ce vaisseau se retrouve alors privée d'oxygène, ce qui engendre des dégâts (paralysie, perte de la parole) parfois permanents, ou la mort.

Or, un constat secoue les neurologues: selon une étude française publiée en novembre, les AVC sont en hausse chez les moins de 55 ans. Le registre des hospitalisations pour AVC à Dijon, tenu depuis trente ans, montre que chez les moins de 55 ans, leur fréquence pour 100 000 habitants était de 8 cas annuels entre

1985 et 1993, de 10 entre 1994 et 2002 et a grimpé à 18 cas entre 2003 et 2011. Et cette progression concerne aussi les jeunes: tous les ans, le nombre d'AVC croît de 2,5 % chez les 25/34 ans. Des résultats d'autant plus préoccupants qu'ils font écho à deux autres études internationales. Dans le monde, selon les calculs de chercheurs néo-zélandais, les AVC chez les moins de 65 ans ont augmenté de 25 % ces vingt dernières années.

PRISE EN CHARGE EFFICACE

Comment expliquer cette avancée de l'âge du premier AVC? D'après le Pr François Chollet, chef de service de neurologie vasculaire à l'hôpital Purpan (Toulouse): "C'est une donnée inattendue. En l'état actuel des connaissances, nous n'avons que des pistes: si elle peut s'expliquer en partie par un meilleur diagnostic, grâce à



REPÈRES

150 000 personnes sont frappées d'AVC chaque année en France. **Première cause** de mortalité pour les femmes et **troisième** pour les hommes, c'est la première cause de handicap acquis en France, où **500 000** personnes vivent avec des **déficits** moteurs ou mentaux dus à un AVC.

la performance des techniques d'imagerie actuelles, c'est du côté des modes de vie qu'on va sans doute trouver les responsables". Ainsi, la sédentarité, la "malbouffe", la hausse du cholestérol dans le sang sont parmi les principaux facteurs pointés du doigt. La plus grande étude mondiale jamais réalisée sur les AVC, baptisée Interstroke, a identifié les dix facteurs de risques à qui l'on peut attribuer 90 % des AVC. Mis à part les dysfonctions cardiaques et l'hypertension, ils sont tous liés à des habitudes de vie peu saines.

Heureusement, le fait que les AVC frappent plus tôt n'entraîne pas forcément des conséquences plus graves. Les Français bénéficient d'une très bonne prise en charge médicale, qui fait que le taux de mortalité dans l'Hexagone est parmi les plus bas au monde (27 pour 100 000 par an, d'après Interstroke).

F.G.

L. HANNING/RÉA - M. KONTENTE



CLÉ N° 1

Les modes de vie se dégradent

Dans le monde, la première cause d'AVC est l'hypertension artérielle, qui multiplie le risque d'accident par 2,6. La plupart des autres facteurs de risque sont fortement liés aux habitudes de vie : outre le tabagisme et l'excès d'alcool, une alimentation trop riche en viande, en sel et en graisses, un niveau insuffisant d'activité physique, l'exposition au stress et la dépression sont pointés du doigt. Autant de facteurs associés au mode de vie contemporain.

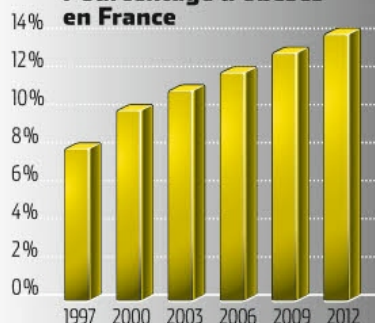
Hausse de la fréquence des AVC en cas de sédentarité ou de stress



SOURCE : LE LANCET, 2010

CLÉ N° 2

Pourcentage d'obèses en France



L'obésité ne cesse de progresser

Depuis 15 ans, la population française a pris 3,6 kg en moyenne, et 0,7 cm de tour de taille. Le nombre d'obèses a beaucoup augmenté en particulier chez les femmes, les jeunes et les plus défavorisés, frisant les 7 millions en 2012. Or, chez ces personnes, la fréquence des AVC est accrue de 65 %, selon une étude menée dans 22 pays.

SOURCE : OSEPI, 2012

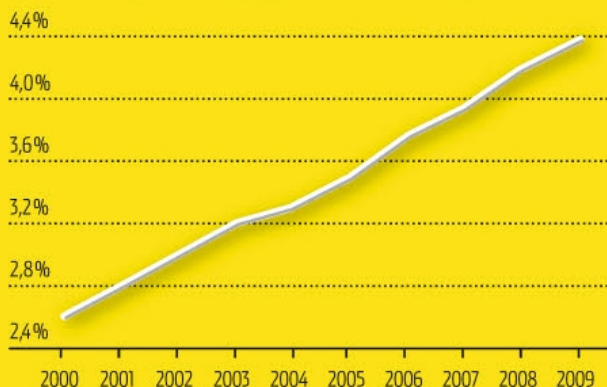
▲ En trente ans, la fréquence des AVC chez les moins de 55 ans a plus que doublé en France...

CLÉ N° 3

Le diabète est devenu une véritable épidémie

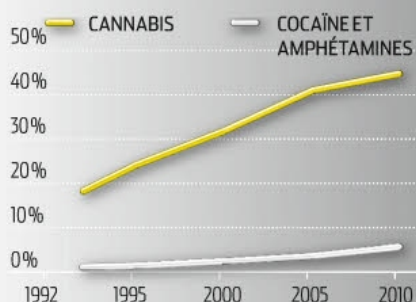
En France, d'après l'Assurance maladie, les personnes traitées pour un diabète ont presque doublé en dix ans, atteignant aujourd'hui les 3 millions de cas. Les épidémiologistes n'hésitent pas à parler d'épidémie, qui est fortement liée à la progression du surpoids et de l'obésité. On estime que le diabète expose à un risque doublé – voire triplé – d'accident vasculaire cérébral, risque qui est encore doublé chez les diabétiques qui fument.

Pourcentage de la population traitée pour diabète



SOURCE : BEH INVS, 2010

Personnes ayant déjà consommé de la drogue

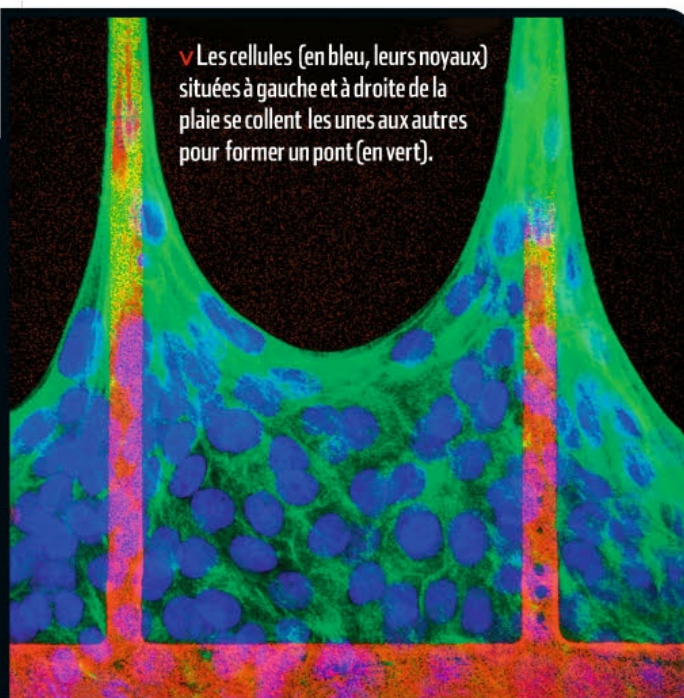


CLÉ N° 4

Un nouveau lien entre drogues et AVC est apparu

Une hypothèse nouvelle se fait jour : un certain nombre d'AVC surviendraient lors de l'ingestion de drogues comme le cannabis, la cocaïne et les amphétamines. Sans qu'un lien direct n'ait encore été prouvé, les estimations du risque encouru sont importantes (de + 76 % pour le cannabis à + 495 % pour les amphétamines). Des neurologues français explorent cette piste, car le nombre de personnes ayant expérimenté des drogues progresse constamment depuis vingt ans.

SOURCE : OFDT, 2010



▼ Les cellules (en bleu, leurs noyaux) situées à gauche et à droite de la plaie se collent les unes aux autres pour former un pont (en vert).

DERMATOLOGIE

EN CICATRISANT, LA PEAU MONTRE SON INGÉNUIOSITÉ

Lorsque la peau est endommagée, les cellules de l'épiderme (ou kératinocytes) situées aux abords de la blessure l'envahissent pour la combler progressivement. Une équipe internationale a découvert que durant cette migration, les kératinocytes établissent des ponts multicellulaires – sorte de ponts suspendus – afin de passer les zones sur lesquelles ils ne peuvent adhérer. Pour se déplacer, les cellules doivent en effet pouvoir prendre appui sur le support sous-jacent. Or au niveau de la blessure, celui-ci n'est plus homogène. Les scientifiques ont recréé un environnement similaire en utilisant des boîtes de culture à la surface desquelles alternent des

bandes sur lesquelles les kératinocytes peuvent adhérer et des zones non adhérentes. En filmant le comportement des cellules au microscope, ils ont observé la formation, au-dessus des zones "impraticables", de ponts suspendus constitués de kératinocytes solidement attachés les uns aux autres. Arrimés aux cellules qui progressent sur les bandes adhérentes, ils sont tractés à mesure qu'elles migrent, recouvrant les régions non adhérentes à la manière d'une bâche couissant entre des rails. Cette découverte pourrait permettre d'améliorer les épidermes artificiels en créant des armatures qui faciliteront la migration des cellules et donc la cicatrisation. **L.C.**

ONCOLOGIE

Un effet négatif de la chimio renforce son efficacité

La chimiothérapie fragilise la muqueuse intestinale, qui laisse alors passer des bactéries. Or, selon des chercheurs français, cet effet pourrait être bénéfique. Chez la souris, les infections bactériennes dues au cyclophosphamide (anticancéreux) déclenchent une réaction immunitaire qui renforce l'effet de la chimiothérapie. À l'inverse, un traitement antibiotique préalable induit une résistance des tumeurs au cyclophosphamide. La flore intestinale pourrait ainsi être modifiée à des fins thérapeutiques. **O.C.**



CONTRACEPTION

DES SOURIS ONT TESTÉ LA PILULE POUR HOMME

Carl White et ses collègues de Monash University (Australie) ont réussi à rendre infertiles des souris mâles, de manière réversible et sans effet secondaire majeur. Chez ces souris, deux protéines ont été supprimées de manière génétique. Résultat, les spermatozoïdes font du surplace lors de l'éjaculation. Impossible pour eux de rejoindre l'ovule pour le féconder. Les chercheurs espèrent maintenant trouver des molécules pour miner cette action chez l'homme. Un tel traitement, qui ne joue pas sur les hormones mâles et n'affecte pas la fabrication des spermatozoïdes a plus de chance d'être dénué d'effets sur le comportement ou la libido. C'est du moins ce qui a été observé chez le rongeur. **V.E.**

01net

3.50€
seulement



- Un jeudi sur deux chez votre marchand de journaux.
- Disponible aussi sur votre tablette.



LE MAGAZINE DE LA HIGH-TECH PLAISIR



SCIENCE & VIE

N° 1126
JUILLET 2011

ASPARTAME

ON Y VOIT DE MOINS EN MOINS CLAIR

Il y a trois ans, nous dénoncions les défaillances de l'évaluation des risques sanitaires de l'aspartame. L'agence de sécurité alimentaire européenne a lancé une nouvelle analyse. Résultat : la situation est encore plus confuse.

En 2011, deux études suggéraient que l'aspartame présentait un risque pour la santé (cancer et accouchements prématurés), mettant au jour des doutes beaucoup plus profonds et anciens sur l'innocuité de cet édulcorant présent dans la plupart des produits allégés. Elles contraignaient l'agence de sécurité alimentaire européenne (Efsa) à lancer une nouvelle évaluation des risques. Le 10 décembre dernier, celle-ci rendait ses conclusions : l'aspartame ne présente pas de danger aux doses auxquelles elle est consommée. Une affirmation qui aurait été rassurante... si les faiblesses du fonctionnement de l'agence ne la décrédibilisaient pas encore une fois.

"DES ÉTUDES SOLIDES"

Cette évaluation présentait pourtant quelques nouveautés intéressantes. Tout d'abord, l'agence avait jusqu'à présent pris pour argent comptant les conclusions des études menées par des industriels, pourtant suspectées d'être erronées. Cette fois, elle les a analysées. "Ce sont des études solides", affirme Georges Kass, responsable de cette réévaluation. Et elles sont disponibles sur Internet depuis 2012. Malheureusement, alors que l'association Réseau environnement santé (RES) avait milité pour



leur mise à disposition, personne n'en a pour l'instant proposé de contre-analyse. "C'est un travail titanesque", justifie André Cicoella, toxicologue et porte-parole du RES.

Il faudra donc croire l'Efsa sur parole, alors que ses conclusions sont régulièrement accusées d'être favorables à l'industrie. Une enquête de l'ONG Corporate Europe Observatory dévoilée en octobre dernier affirmait de plus que 59 % des experts de l'Efsa seraient en conflits d'intérêt. Tandis que la première version du rapport de l'agence contenait des paragraphes entiers directement transposés d'une étude financée par un grand producteur d'aspartame !

▲ Malgré des études suggérant le lien entre aspartame et cancers, l'Efsa vient de conclure à l'innocuité de cet édulcorant présent dans de nombreux produits allégés.

Enfin, l'agence européenne avait pour la première fois invité associations, institutions et particuliers à amender une première version de son rapport, dévoilée en janvier 2013. Une initiative louable... sauf que son analyse en est sortie parfaitement inchangée ! C'est d'autant plus regrettable que l'agence de sécurité sanitaire française (Anses) lui conseillait alors d'être plus prudente dans ses conclusions. Selon cette dernière, les doutes sont suffisants pour abaisser les niveaux de consommation maximum admissibles. Mais l'Efsa a préféré conserver ceux établis par l'agence américaine (FDA) il y a plus de trente ans... et entretenir la suspicion.

E.A. A. CELEBART/REA

JE PROPOSE UN SPRAY HORMONAL POUR SOIGNER LES PEINES DE CŒUR

SON IDÉE



DIRK SCHEELE, doctorant au laboratoire Neuromodulation de l'émotion de l'université de Bonn (Allemagne)

Science & Vie : *Quel type d'hormone pourrait agir sur les peines de cœur ?*

Dirk Scheele : L'ocytocine, qui est produite dans le cerveau par l'hypothalamus. Cette hormone a de nombreux effets : chez les animaux, elle est liée à l'attachement social et à la formation de couples monogames ; chez l'humain, elle est présente en plus grande quantité chez les personnes en couple. Avec mes collègues, nous avons administré de l'ocytocine par spray nasal à des hommes en couple depuis au moins six mois. Puis, nous avons observé leur cerveau à l'IRMf, avant et pendant qu'ils regardaient une photo de leur compagne. Nous avons alors remarqué que l'ocytocine amplifiait l'activation des aires cérébrales du plaisir et de la récompense en présence de la personne aimée.

S&V : *Vous en avez alors déduit que l'ocytocine est une drogue...*

D.S. : Non, ce n'est pas une drogue. Mais cette hormone

augmente l'activité des circuits neuronaux qui sont, eux, impliqués dans les phénomènes d'addiction. Si l'amour est une drogue, comme d'autres chercheurs l'ont récemment proposé, alors l'ocytocine nous y rend encore plus dépendants.

S&V : *En quoi cette découverte est-elle une bonne nouvelle ?*

D.S. : Cela veut dire qu'une partie de la douleur associée à une rupture amoureuse ou au décès de l'être aimé pourrait en réalité être due à l'équivalent d'un syndrome de sevrage. Autrement dit, la chute brutale d'ocytocine favoriserait une sensation physique de manque, comme si on arrêta de prendre une drogue. Une douleur physiologique qui pourrait être atténuée par un traitement compensatoire. Mais cela reste à démontrer lors d'essais cliniques. Et il faut garder à l'esprit que l'ocytocine ne résoudra pas tout. La rupture met en jeu un autre phénomène, contre lequel l'ocytocine ne peut rien :

L'ocytocine, "l'hormone de l'amour", que l'on retrouve à de fortes concentrations dans le cerveau des amoureux, semble favoriser un phénomène d'addiction à l'être aimé. En cas de rupture, la chute brutale de sa production pourrait donc être en partie responsable de la douleur ressentie, en provoquant l'équivalent d'un syndrome de sevrage à une drogue. Un traitement hormonal compensatoire pourrait-il aider à mieux traverser cette épreuve ?

l'attachement rationnel à l'être aimé, qui est indépendant du "manque" physique.

S&V : *L'ocytocine pourrait-elle aussi prévenir les ruptures ?*

D.S. : Tout à fait. Durant notre étude, les hommes se déclaraient plus attirés par leur petite amie lorsqu'ils avaient reçu de l'ocytocine. Un effet qu'on ne retrouvait pas vis-à-vis des autres femmes de leur entourage ou de jolies inconnues... même à l'IRMf. La prise d'ocytocine pourrait donc aussi encourager l'attachement et la fidélité.

S&V : *D'aucuns seraient tentés de l'administrer à l'insu de leur partenaire...*

D.S. : Ce serait un jeu dangereux. L'ocytocine semble en effet amplifier toutes les émotions, qu'elles soient positives ou négatives. Si le couple ne va pas bien, administrer de l'ocytocine à son partenaire pourrait aggraver la situation...

Propos recueillis par E.A.

D. KLAMMER/FOTO-UNION

[VRAI OU FAUX?]

SCIENCE & VIE

Questions Réponses

Nul ne peut **choisir** le **sexe** de son enfant ?



Le **chien** remue la queue quand il est **content** ?

Les **virus** sont forcément **dangereux** ?



L'HOMME, LA NATURE, LA SCIENCE

100 IDÉES REÇUES

Il n'y a rien de plus **grand** que **l'infini** ?



Un **voilier** ne peut pas dépasser la vitesse du **vent** ?



Les **vitamines** donnent de **l'énergie** ?



La **foudre** tombe du **ciel** ?

En vente actuellement

actus technos



FONDATION LOUIS VUITTON

> En plein bois de Boulogne, l'ouvrage de F. Gehry pour la Fondation Louis-Vuitton a réussi son pari : limiter la prise au vent de 12 immenses "voiles" ... toutes en verre.



ARCHITECTURE

LE “VAISSEAU” DE PARIS A ENFIN DÉPLOYÉ SES VOILES

Comme un “vaisseau flottant”, c’est ainsi que l’architecte américano-canadien Franck Gehry a imaginé la Fondation Louis Vuitton, nouveau lieu d’expositions d’art qui ouvrira à l’automne 2014 dans le bois de Boulogne, à Paris. Mais sans doute n’imaginait-il pas l’ampleur des défis techniques à relever pour ses bâtisseurs. Car, avec ses

12 grandes “voiles” en verre (de 500 à 3 000 m²) qui flottent tout autour de l’édifice et pèsent 4 500 tonnes, il fallait avant tout limiter la prise au vent. Pour cela, des essais en soufflerie sur une maquette au 1/125 ont été réalisés afin de dimensionner les structures. L’autre grand défi a été de marier les différents ouvrages entre eux : l’interne – en acier et

béton –, la charpente intermédiaire – en acier carbone et bois – et la verrière externe. “*L’interaction de ces structures a été diabolique du fait notamment de leur extrême complexité et de la variété des matériaux utilisés*”, relate Louis-Marie Dauzat de la société Quadrature Ingénierie. “*Au total, il a fallu plus de 2 millions d’heures d’étude pour*

concevoir ce bâtiment, soit plus que pour un paquebot géant”, précise-t-il. Pour rester au plus près fidèle au dessin de l’architecte, les 3 430 panneaux de verre courbes et les 19 000 panneaux en béton fibré à ultra-hautes performances Ductal (en blanc) ont été réalisés sur mesure. Après six années, les travaux s’achèvent ce mois-ci.

L.B.

AVIATION

LES VOLCANS NE PARALYSERONT PLUS LE TRAFIC

Eyjafjalajökull, vous vous souvenez? En 2010, l'éruption de ce volcan islandais avait cloué au sol 100 000 appareils pendant six jours. En cause: les cendres volcaniques – jusqu'alors indétectables –, qui risquaient d'endommager les réacteurs des avions. Pour éviter ce type de paralysie, un système a été mis au point par l'Institut norvégien pour la recherche aérienne: il va permettre aux avions de détecter ces infimes particules à une centaine de kilomètres de distance. Assez loin pour pouvoir adapter leur plan de vol! Son efficacité a été testée avec succès en octobre dernier. Ce dispositif exploite la loi de Planck, qui lie la température d'un corps à son rayonnement: un nuage de cendres étant plus chaud qu'un cumulonim-

bus, par exemple, il n'émet pas les mêmes ondes, ce qui permet de le repérer. Captées à l'aide de deux caméras thermiques à infrarouge fixées sur l'avion, les données sont transmises en temps réel à l'ordinateur de bord ainsi qu'au centre de contrôle aérien. Des cartes de dispersion des cendres sont ainsi établies. Encore au stade de développement, le système intéresse déjà de nombreuses compagnies aériennes. Easy Jet envisage de l'intégrer dès 2015 sur une dizaine d'appareils. **S.B.**

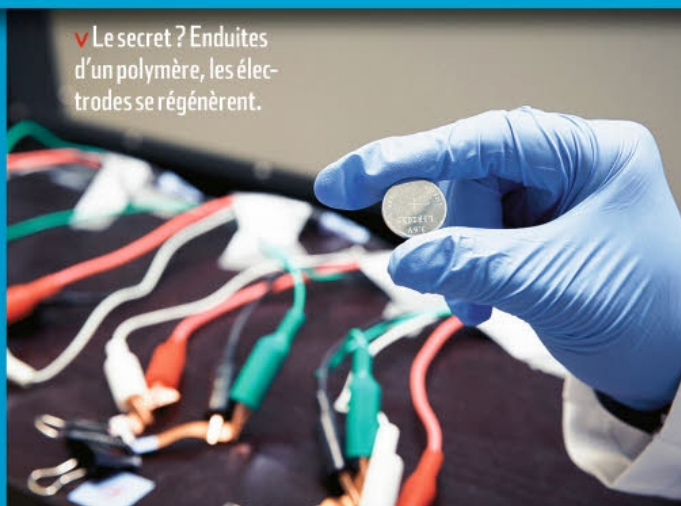


➤ Fixé sur l'avion, un dispositif permet de détecter les plus infimes particules de cendre se trouvant à 100 km de distance (à dr., dispersées pour le test), laissant ainsi le temps de changer de plan de vol.

ÉLECTRONIQUE

Un pas décisif a été franchi vers des batteries inusables

A chaque cycle de charge/décharge, les électrodes des batteries des appareils nomades ont tendance à gonfler jusqu'à 300 % puis à rétrécir, ce qui fragilise les composants. Des ingénieurs de l'université Stanford ont enduit ces électrodes d'une couche de polymère spécifique. Résultat: lorsqu'une fissure apparaît, elle se régénère en quelques heures! Ainsi, leur prototype a subi une centaine de cycles sans se détériorer. Un premier pas vers des batteries inusables... **J.J.**



✓ Le secret? Enduites d'un polymère, les électrodes se régénèrent.

A. DOUMENJON/EXM - B. PLUMMEL/SLAC - AMAZON



ROBOTIQUE

UN DRONE VEUT RÉVOLUTIONNER LA LIVRAISON DE COLIS À DOMICILE

Livrer des colis en 30 minutes par les airs, tel est le défi que veut relever le Prime Air, dont Amazon vient de présenter un prototype. Mû par huit hélices électriques et un GPS, ce petit drone pourrait à l'avenir transporter un paquet pouvant peser jusqu'à 2,3 kg et, ce, dans un rayon de 16 km. Plus écologique qu'une fourgonnette, ce projet se heurte pourtant à de nombreuses difficultés. Réglementaires, d'abord : les Etats-Unis, comme la France, interdisent depuis près de deux ans l'usage de ces appareils au-dessus des routes et des agglomérations, où le moindre incident pourrait s'avérer dangereux. Pratiques, ensuite : le rayon d'action autour des centres de tri d'Amazon représente une couverture infime de la population. Amazon promet toutefois que tout sera mis en œuvre, accords gouvernementaux comme relais géographiques, pour que son Prime Air entre en service entre 2018 et 2023. Verdict d'ici quelques années...

Y.S.

504 104 tonnes

c'est la quantité de nanomatériaux fabriquée ou importée en France en 2012 par les industriels. Ce chiffre résulte d'une déclaration désormais obligatoire. On trouve des nanoparticules partout (alimentation, vêtements, bâtiments...) sans que l'on en connaisse les possibles effets néfastes sur l'homme. Parmi ces matériaux, le plus utilisé est le noir de carbone avec 274 000 tonnes. Il est présent dans les suies, dans certains parfums et sert, notamment, de pigment dans les encres.

S.F.



▲ Le drone d'Amazon peut transporter un paquet de 2,3 kg dans un rayon de 16 kilomètres.

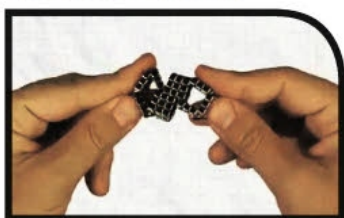


Essayez vite ces incroyables cubes magnétiques...

Et vous ne pourrez plus vous en passer! Avec des aimants des terres rares, extrêmement magnétiques, faites et défaites inlassablement de nouvelles formes. Vos mains vous étonneront!

Cubes incroyables magnétiques Bezü Blocks 29.90€

125 CUBES AIMANTÉS, ORIGINE TERRES RARES.
DIM. D'UN CUBE : 3x3x3 MM.



BEZÜ
blockz



LodyOne
Interactive Rock Guitar Game

Recommandé
par la rédaction



Vidéo explicative
sur notre site web!

Jouez de la guitare électrique comme un pro!

Totalement bluffant, le LodyOne, un petit appareil intelligent issu de plusieurs années de recherche française, vous permet de créer vos propres solos de guitare à partir de 8 touches seulement, 18 fonds musicaux stockés dans sa mémoire et un ingénieux programme informatique.

Guitare Lodyone - 49.90€

HAUT-PARLEUR MONO INTÉGRÉ. SORTIE AUDIO MINI-JACK POUR CONNEXION CHAÎNE HI-FI.
2 PILES AAA INCLUSES. DIM. : 10,6x5,7x2,7 CM.

Visuels non contractuels

ÉDITIONS SCIENCE & VIE

75€
53

Prix public: 79,50€

RÉDUCTION
SPÉCIALE -5%

FRAIS D'ENVOI
COLISSIMO 72H
OFFERTS



PARTENARIAT
SCIENCE & VIE

4 kg

+ de 400 illustrations
format gigantesque!

Offrez-vous le livre du siècle!

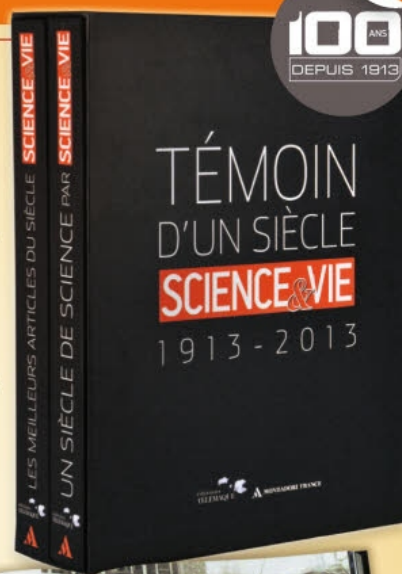
Découvrez vite ce coffret de 2 livres reprenant le meilleur de Science & Vie. Remontant le temps, cet ouvrage témoigne d'un siècle où tout a changé, dans tous les domaines des sciences et dans toutes les dimensions de la vie. Les deux volumes rassemblent 1 000 illustrations, photographies et documents, dans une édition luxueuse, pour laquelle toute la rédaction s'est mobilisée.

Coffret 2 livres Témoin d'un siècle Volume 1

«Un siècle de science»

Volume 2 «Les meilleurs articles du siècle»

DIM. 22,5 x 28,5 CM.
2 LIVRES DE
500 PAGES COULEUR
CHACUN.
COÉDITION
TÉLEMAQUE ET
SCIENCE & VIE.



Un livre spectaculaire

De l'origine des dinosaures, il y a 230 millions d'années jusqu'à leur extinction à la fin du crétacé : évolution, époque, habitat, taille, poids, alimentation, prédateurs... sur plus de 170 créatures préhistoriques.

Dinosaures

FORMAT : 355x430 MM. 224 PAGES, RELIÉES SOUS JAQUETTE,
450 PHOTOS COULEURS. COÉDITIONS TÉLEMAQUE ET SCIENCE & VIE.

89€
seulement!

FRAIS D'ENVOI
COLISSIMO 72H
OFFERTS

LE MEILLEUR DE
SCIENCE & VIE

Avec le soutien
de l'École
polytechnique
et de sa Fondation

VOIE LACTÉE

9 MILLIARDS DE PLANÈTES

A la question "l'Univers est-il propice à l'apparition de la vie ?", la science a enfin la réponse : c'est oui. Il y a même 9 milliards de raisons pour qu'il existe dans notre galaxie une autre Terre. Et cette certitude change tout : ce ne sont plus des planètes habitables qu'il s'agit désormais de trouver, mais des planètes habitées !

D. CLAPP/GETTY - A. PASSAGE/FOTOSTOCK



HABITABLES !

DOSSIER RÉALISÉ PAR MATHILDE
FONTEZ ET MATHIEU GROUSSON

■ ***ON SAIT ENFIN COMBIEN D'AUTRES***



TERRES SE CACHENT DANS LA VOIE LACTÉE...

Le 4 novembre 2013, les astronomes Erik Petigura, Geoffrey Marcy, de l'université de Californie, à Berkeley, et Andrew Howard, de l'université de Hawaï, annonçaient leurs résultats. Les données du télescope *Kepler*, qui a quatre années durant traqué les exoplanètes autour de 150 000 étoiles, révèlent que 22 % des soleils possèdent une planète de la taille de la Terre, à une distance leur permettant d'abriter de l'eau liquide. Elles sont donc 9 milliards dans notre galaxie.

... ET QU'IL Y A 3,5 MILLIARDS D'ANNÉES,



LA PLANÈTE MARS ÉTAIT HABITABLE

Le 9 décembre 2013, les membres de la mission Mars Science Laboratory publiaient leurs conclusions. Il n'y a plus de doute : la forme des cailloux, l'organisation des sédiments, la composition des roches... toutes les données envoyées par le robot Curiosity qui roule sur la planète rouge depuis un an et demi indiquent que l'environnement martien a un jour été favorable à l'évolution de la vie, voire son apparition.

Les 3 conditions pour qu'une planète soit "habitable"

Aucun exobiologiste ne peut dire quels sont les critères généraux d'apparition de la vie... parce qu'ils ne disposent que d'un seul exemple : la vie terrestre. Ils se cantonnent donc à lister les conditions sans lesquelles aucune biologie n'aurait pu se développer sur la planète bleue. Elles sont au nombre de trois.

1 Une bonne planète

Même si d'aucuns imaginent que des organismes pourraient habiter dans des nuages de gazeuses, la majorité des spécialistes s'accorde : il faut une planète rocheuse dotée d'une atmosphère pour garantir la stabilité en température nécessaire à la vie.

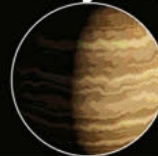
Tellurique sans atmosphère



Tellurique habitable



Géante gazeuse



Voilà. C'est définitif. On sait enfin : la Terre n'est plus seule. Elle n'est plus l'unique havre de paix de la galaxie. Deux grandes nouvelles viennent de tomber simultanément, offertes par les deux plus ambitieuses missions spatiales de ces vingt dernières années : il existe une planète habitable de plus dans le système solaire, et il en existe neuf milliards d'autres dans notre galaxie. Le rover Curiosity a apporté la preuve que Mars a été dans le passé un lieu idéal pour que la vie se développe et s'épanouisse. Le télescope spatial *Kepler* vient, lui, de démontrer que neuf milliards de planètes semblables à la Terre, des rocheuses dotées d'une atmosphère et qui pourraient avoir de l'eau liquide à leur surface, gravitent autour des soleils de la Voie lactée. En un mot, deux sondes viennent de ré-

pondre à deux grandes questions : oui, les Martiens ont pu exister ; et oui, les extraterrestres ont des milliards de refuges. La Terre n'est pas la seule planète hospitalière. *"C'est un moment très spécial dans l'histoire des sciences, le travail le plus important auquel j'ai ja-*

QUELLE HISTOIRE AVANT QUE LA SCIENCE PUISSE L'AFFIRMER : LA TERRE N'EST PAS UNIQUE

mais participé", réagit Geoffrey Marcy, l'un des grands spécialistes mondiaux des exoplanètes.

Car il faut s'en souvenir, les astronomes reviennent de loin. *"Y a-t-il oui ou non d'autres lieux que la Terre capables d'abriter la vie ? Cela a toujours été la grande question, rappelle Sara Seager, astrophysicienne au Massachusetts Institute of Technology (MIT).*

Avant même de voir les exoplanètes, on cherchait à savoir s'il pouvait exister d'autres Terre et, surtout, si elles étaient fréquentes..." Seulement à la fin des années 1990, la découverte d'une profusion de Jupiter chauffées à blanc tout près de leur étoile a commencé à faire

douter les chercheurs. Se pourrait-il que la Terre soit une exception parmi des milliards de géantes gazeuses aux conditions infernales ?

Jusqu'à ce que les scientifiques reprennent confiance ces dernières années, en découvrant des dizaines de "presque Terre" : des astres dix fois plus massifs que le nôtre, qu'ils ont appelés "super-Terre" (*S&V* n° 1139, p. 50). *"Il*

2 Une bonne distance

On ne connaît qu'un seul solvant capable de dissocier les molécules dans les cellules, de véhiculer les nutriments ou d'évacuer les déchets : l'eau liquide. Il faut donc que la planète gravite à la bonne distance de son étoile pour qu'il y fasse entre 0 et 100 degrés.



3 Une bonne étoile

Un organisme peut s'adapter aux variations de luminosité de son étoile... mais il lui faut du temps. Les astres variables et très éruptifs sont donc exclus, tout comme les supermassifs, qui ne vivent que quelques centaines de millions d'années.



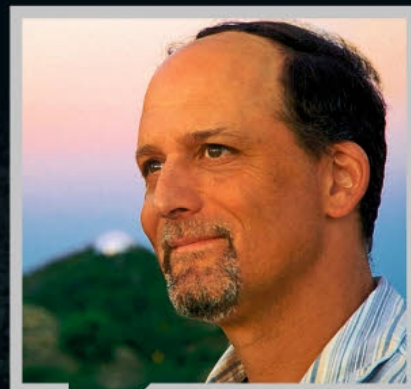
n'y avait aucune raison qu'il y ait un trou dans le bestiaire : qu'il y ait beaucoup de géantes, beaucoup de super-Terre et aucune Terre, précise François Fressin, spécialiste du sujet à l'université Harvard. *Mais il fallait en être sûr !*

De son côté, la quête de l'habitabilité de Mars connaissait, elle aussi, son lot de rebondissements depuis... le XIX^e siècle, lorsque les astronomes, observant ce qu'ils croyaient être des canaux à sa surface, se sont mis à croire à l'existence d'une vie intelligente sur la jumelle de la Terre. Mais en 1976, les sondes *Viking* ont douché leurs espoirs en révélant une planète trois fois stérile : Mars a un sol oxydant, elle est dépourvue de la moindre molécule d'eau et croule sous une pluie de radiations mortelles. *"Viking a porté un coup d'arrêt aux missions d'exploration de l'habitabilité de Mars"*, rappelle Francis

Rocard, responsable des programmes d'exploration du système solaire au Centre national des études spatiales (Cnes). Mais c'était avant que l'espoir renaisse au début des années 2000 quand les orbiteurs *Mars Express* et *Mars Reconnaissance Orbiter* ont révélé la présence d'argiles qui n'avaient pu se former qu'en présence d'eau liquide.

UN VÉRITABLE DÉFI TECHNOLOGIQUE

Requiqués par la profusion de super-Terre et ces indices de la présence passée d'eau liquide sur Mars, les astrophysiciens ont senti que la réponse à la grande question était à leur portée. Restait à déployer les grands moyens : d'une part, retourner sur Mars avec une sonde qui, cette fois, serait capable de véritables analyses et, d'autre part, détecter des milliers de planètes pour en tirer des statistiques sur →



GEOFFREY MARCY

ASTRONOME, UNIVERSITÉ D'ÉTAT DE CALIFORNIE, BERKELEY (ÉTATS-UNIS)

Nous sommes en train de vivre un grand moment dans l'histoire des sciences

→ celles qui pourraient bénéficier de conditions favorables à la vie (voir infographie), pour pouvoir ensuite entrer dans le cercle si convoité des planètes habitables... Rien que cela. Pour relever ces défis, un robot géologue, bourré de dizaines de kilos d'instruments, s'est envolé vers Mars, tandis que prenait place en orbite autour du Soleil un télescope spatial ultraprécis, capable de surveiller 150 000 étoiles comme du lait sur le feu et de distinguer l'ombre de planètes. Deux bijoux de technologie. Deux premières.

DES MOIS D'ANALYSES ET DE CALCULS

Avant *Kepler*, personne ne croyait même possible qu'un télescope puisse être assez précis pour surveiller des milliers d'étoiles en permanence. Pour convaincre de sa faisabilité, William Borucki, l'ingénieur de la Nasa à l'origine de la mission, a dû retaper l'un des vieux télescopes de l'Observatoire de l'université de Californie: *"Nous avons dû le reconstruire entièrement! Le dôme ne tournait plus, il n'y avait pas de plancher... même pas de quoi brancher un ordinateur! Mais nous y sommes parvenus avec les technologies, toutes récentes à l'époque, de caméras CCD."*

De même, avant Curiosity, aucun rover n'avait pu être posé avec précision sur un site que les scientifiques estimaient, grâce aux études menées en orbite, prometteur. Aucun rover non plus n'avait été qualifié pour parcourir plusieurs dizaines de kilomètres au cours de sa mission. Enfin, aucun n'avait eu le pouvoir de prélever des échantillons et de les préparer avant de les analyser...

Et voilà les deux instruments, le robot hyperactif et le patient télescope qui, en même temps, auront eu le dernier mot, comme s'ils s'étaient concertés. Arrivé au terme de sa mission au mois de mai dernier, *Kepler* a fourni assez de données pour qu'une équipe américaine publie pour la première fois le nombre de jumelles de la Terre. Et elles sont nombreuses, ces petites planètes qui orbitent juste à la bonne distance →

CURIOSITY

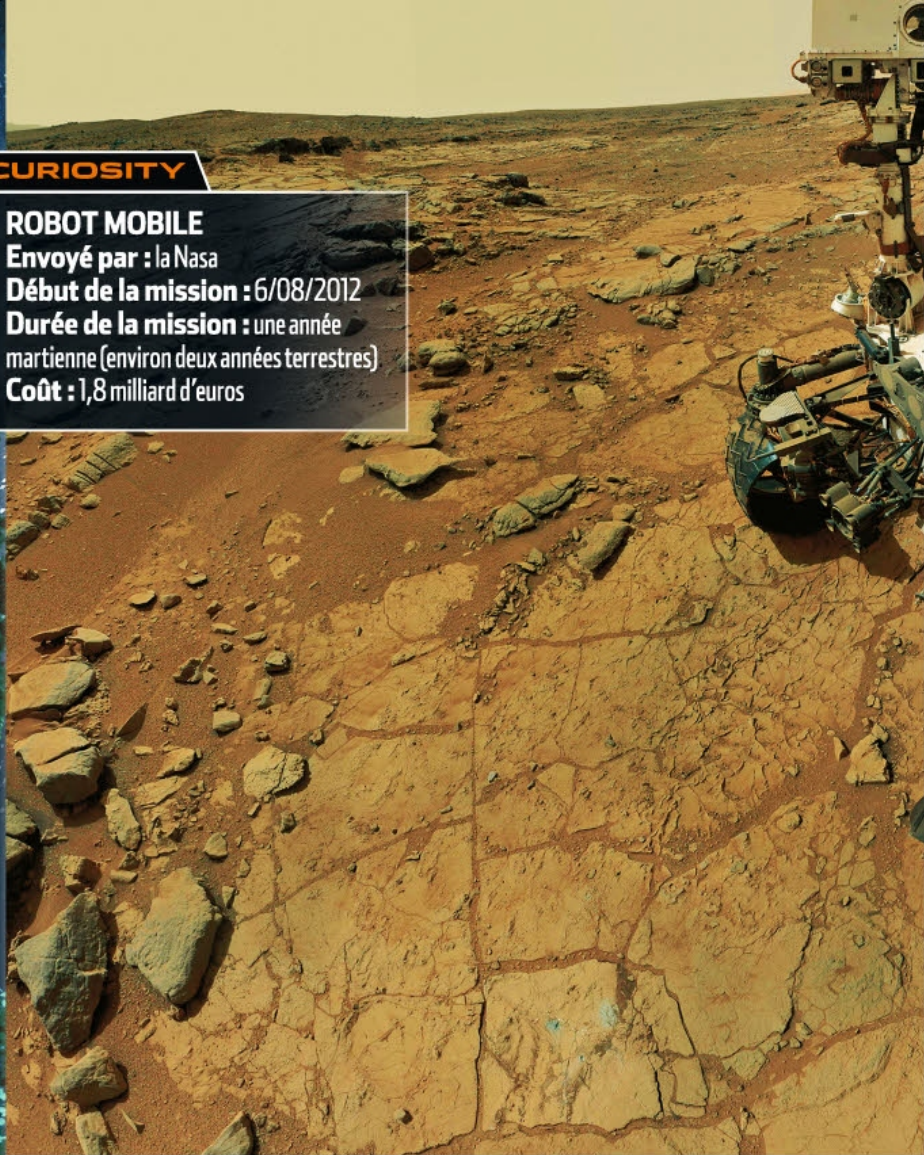
ROBOT MOBILE

Envoyé par : la Nasa

Début de la mission : 6/08/2012

Durée de la mission : une année martienne (environ deux années terrestres)

Coût : 1,8 milliard d'euros

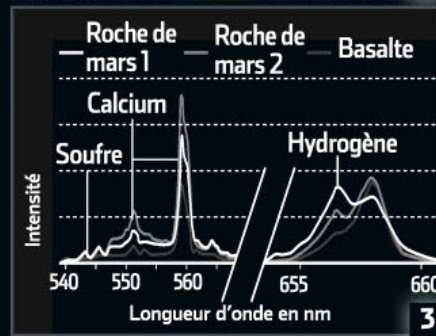
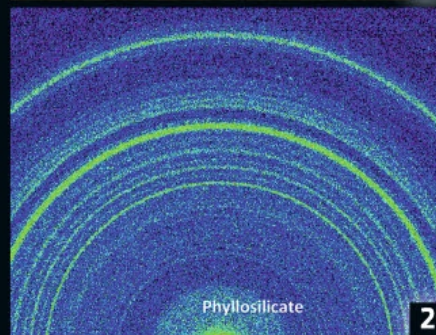
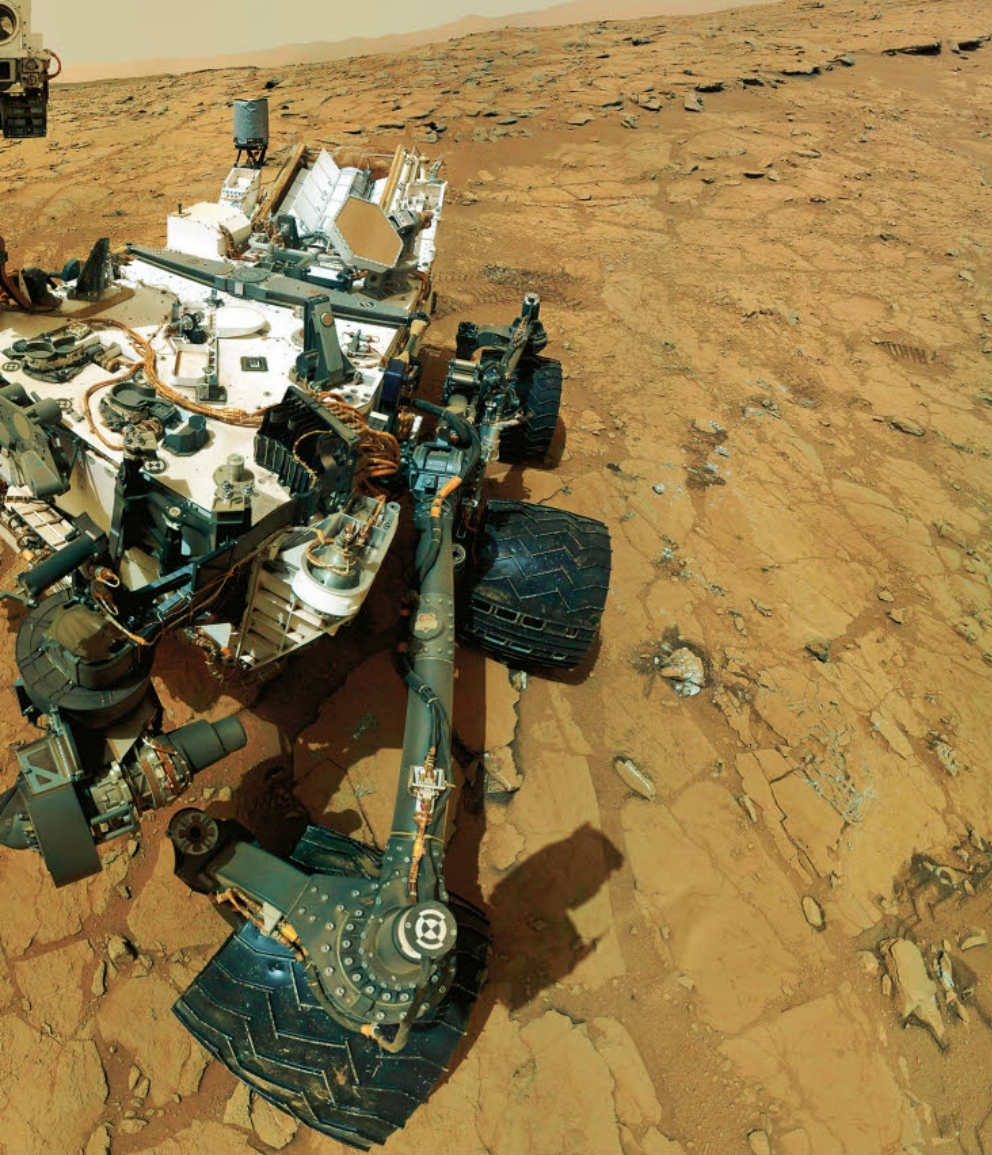


CURIOSITY A PROUVÉ QUE

Les preuves ont commencé à tomber à peine la sonde avait-elle posé ses roues sur le sol rouge. Dès la fin août 2012, 27 jours après "l'amarsissage" de Curiosity (mis en orbite le 26 novembre 2011), ses caméras ont révélé des cailloux si lisses et si arrondis que les spécialistes du Jet Propulsion Laboratory, à Pasadena (États-Unis), ne pouvaient avoir de doutes: ils avaient sous les yeux un ancien lit de rivière. Et pas un vulgaire ruisseau intermittent, comme ceux découverts par d'autres missions. Non, les images sont formelles: il s'agit cette fois des traces d'un torrent

violent, dont la hauteur d'eau atteignait plusieurs dizaines de centimètres et qui aurait pu s'écouler pendant des dizaines de millions d'années. *"C'est la première preuve d'un écoulement pérenne d'eau sur Mars"*, se réjouit Michel Cabane, du Laboratoire atmosphères, milieux, observations spatiales à Paris et Guyancourt.

Lorsque le rover parvient à Yellowknife Bay, une dépression sur le plancher du cratère Gale, tout s'accélère: le site est couvert de sédiments. *"Cela a été un véritable ravissement"*, se rappelle Nicolas Mangold, du Laboratoire de planétologie et géodynamique



▲ Les échantillons prélevés par Curiosity sont formels : il y a 3,5 milliards d'années, des bactéries ont pu s'épanouir à Yellowknife Bay. Ses forages ont mis en évidence des sédiments (1) qui témoignent de la présence d'un lac ; leur analyse par diffraction de rayons X (2) montre que cette eau n'était pas acide ; et la présence de certains éléments chimiques (3) prouve que des sources d'énergie étaient disponibles.

MARS A PU ABRITER LA VIE

de Nantes. Rapidement, les instruments à bord de Curiosity – notamment le ChemCam, capable de déterminer à distance la composition des roches en tirant dessus au laser puis en analysant la lumière émise – mettent en évidence la présence des six éléments chimiques nécessaires à la vie : carbone, hydrogène, azote, oxygène, phosphore et soufre. Les images en haute définition dévoilent quant à elles des sédiments particulièrement fins dans les strates les plus basses, “preuve qu’il s’agit du limon cimenté

du fond d’un lac”, explique le chercheur. Il y a 3,5 milliards d’années, Yellowknife était un lac d’eau douce d’une cinquantaine de kilomètres de longueur pour 5 kilomètres de largeur, alimenté par des rivières descendant des reliefs.

Une possible vie bactérienne

L’analyse des échantillons de deux forages révèle ensuite la minéralogie du site : feldspaths, pyroxènes, olivine, sulfures de fer, sulfates de calcium, minéraux argileux... Ce qui traduit la présence d’une eau pas

trop chaude, peu salée et non acide. Une eau qui, en prime, contenait des espèces chimiques ayant pu servir de source d’énergie à des bactéries.

Tout concorde : eau fraîche et pérenne, milieu non acide, source d’énergie... Comme le résume Nicolas Mangold, “cet environnement lacustre constituait un milieu dans lequel des bactéries auraient très bien pu s’épanouir”. Il y a

3,5 milliards d’années, Mars était donc habitable. “Les conditions étaient idéales pour assembler des acides aminés afin de former des protéines, conclut Pierre Thomas, au Laboratoire de géologie de l’Ecole normale supérieure de Lyon. C’est une excellente nouvelle !” La preuve est définitive : dans notre système solaire, et a fortiori dans l’Univers, une autre planète que la Terre a pu servir de refuge à la vie !

→ de leur soleil pour bénéficier d'un climat propice au développement de la vie. Incroyablement nombreuses. Après trois ans de calculs afin de purger les données de *Kepler* de tous leurs biais, les chercheurs les évaluent à 9 milliards dans la Voie lactée! *"Ce chiffre est un événement, réagit François Fressin. C'est la première estimation sérieuse. Avant, il ne s'agissait que d'extrapolations fantaisistes."* Et il est à la hauteur des espoirs... Il existerait assez de terres habitables pour qu'il soit permis de rêver de trouver la vie (voir article suivant). *"Il nous dit que les petites planètes sont très communes!"*, s'enthousiasme Natalie Batalha, membre de la mission Kepler à la Nasa.

DEUX PREUVES... INDUBITABLES!

De leur côté, les membres de la mission Curiosity viennent enfin, après des mois d'analyse des données transmises par le robot, de publier leurs conclusions: tous les indices, depuis la forme des cailloux jusqu'à la composition des roches, prouvent que le sol de Mars était, il y a 3,5 milliards d'années, habitable. Michel Cabane, du Laboratoire atmosphères, milieux, observations spatiales à Paris et Guyancourt, va même plus loin: *"Cet environnement était non seulement compatible avec la préservation et l'évolution de la vie, mais aussi avec son apparition."*

Voici donc la réponse à la grande question doublement entérinée: *"Nous confirmons qu'il existe dans le système solaire un autre environnement qui a pu accueillir la vie"*, affirme Doug Ming, l'un des membres de la mission Curiosity. Suivi par Geoffrey Marcy, qui déclare de son côté *"qu'il existe dans la Voie lactée d'autres planètes pouvant accueillir la vie"*.

Tel Galilée découvrant le monde lunaire, tel Christophe Colomb posant le pied sur une nouvelle terre, les astronomes explorateurs d'aujourd'hui ont découvert qu'il existe d'autres mondes hospitaliers. La quête des mondes habitables s'achève... Celle des mondes habités peut commencer.

KEPLER

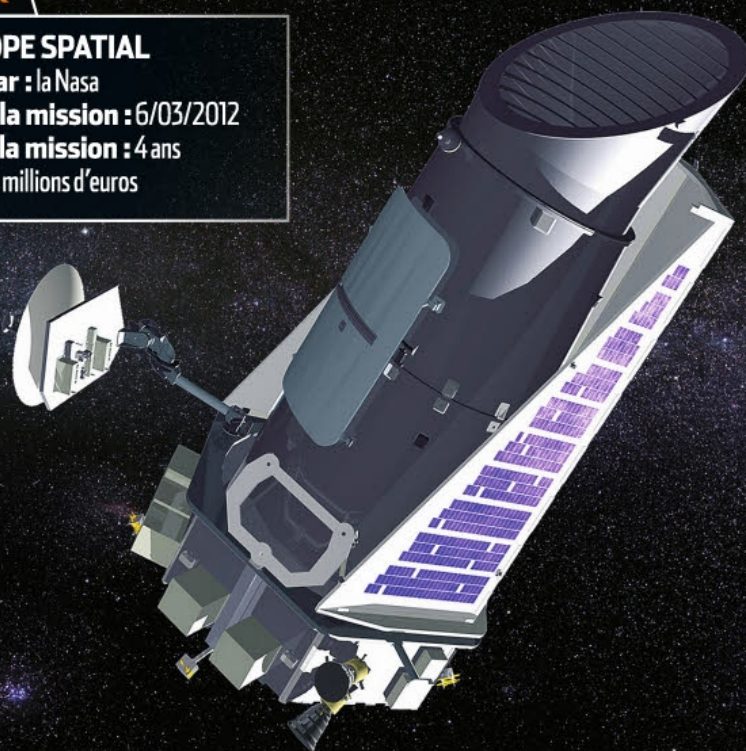
TÉLESCOPE SPATIAL

Envoyé par : la Nasa

Début de la mission : 6/03/2012

Durée de la mission : 4 ans

Coût : 450 millions d'euros



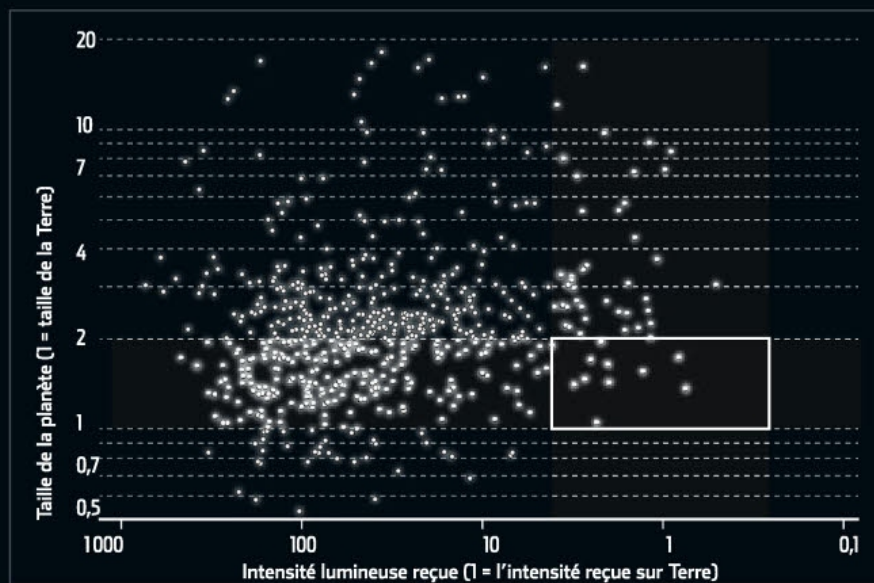
KEPLER A DÉMONTRÉ QU'IL

"C'est la première vraie plongée dans les données de Kepler, le premier chiffre qui ne soit pas spéculatif", s'enthousiasme Natalie Batalha, l'une des responsables de la mission à la Nasa. Toute la difficulté consistait à trouver un échantillon de planètes assez grand, assez varié... bref, assez représentatif pour pouvoir être extrapolé.

Erik Petigura, Geoffrey Marcy (université de Californie à Berkeley) et Andrew Howard (université de Hawaï) ont commencé par trier les données collectées par le télescope spatial pendant quatre ans: il a recueilli la lumière de 150 000 étoiles en ciblant une petite portion du ciel, entre les constellations du Cygne et de la Lyre. Ils ont

d'abord éliminé toutes les étoiles qui n'étaient pas de type solaire – il en restait 42 557. Puis, à l'aide du logiciel Terra, ils ont traqué les planètes. *"Lorsqu'une planète passe devant son étoile, elle atténue un tout petit peu sa lumière, détaille Geoffrey Marcy. Ce sont ces transits que nous avons cherchés. Ils indiquent que l'étoile a un compagnon, et donnent une valeur à la taille de ce compagnon."*

Les chercheurs ont abouti à une liste de 16 227 modifications suspectes de la lumière des étoiles, laissant penser que quelque chose leur est passé devant. Un premier résultat affiné en éliminant celles qui n'étaient pas périodiques, et devaient être de simples variations de la lumi-



▲ En analysant la lumière de 150 000 étoiles, *Kepler* a trouvé 603 planètes gravitant autour d'un soleil. Parmi elles, 10 ont la taille de rocheuses (rectangle), sont dotées d'une atmosphère et se situent à une distance idéale de leur étoile : elles reçoivent la quantité de lumière nécessaire à un climat tempéré et à la présence à leur surface d'eau liquide. Une fois extrapolées et corrigées de leurs biais, ces données démontrent qu'un soleil sur cinq possède une terre habitable qui lui tourne autour. Ce qui fait un total de 9 milliards.

Y A 9 MILLIARDS DE TERRES DANS LA GALAXIE

nosité des soleils. Il n'en restait plus que 836. "Nous avons alors dû déterminer s'il s'agissait de planètes ou d'étoiles doubles", précise Geoffrey Marcy. Intéressés par les petites planètes, les astronomes ont rejeté tous les corps de plus de 20 fois le rayon de la Terre... Enfin, leur échantillon était prêt : 603 planètes au total, dont 10 habitables (voir ci-dessus).

Un soleil sur cinq abrite sa propre Terre

Mais il fallait encore procéder à une multitude de vérifications. Ils ont alors pointé le télescope Keck I (10 m de diamètre), situé à Hawaï, sur les étoiles sélectionnées pour vérifier

leur taille. "Kepler donne une mesure très précise du rapport entre le rayon de la planète et celui de l'étoile... mais pour connaître vraiment le rayon de la planète, il fallait d'abord mesurer celui de l'étoile à l'aide d'un gros télescope terrestre", explique Erik Petigura. Les astronomes ont aussi calculé le nombre de planètes que *Kepler* aurait ratées simplement parce qu'elles sont trop inclinées. Et en prenant exemple sur les physiciens des particules, qui testent leurs détecteurs avec de fausses données, ils ont même injecté des planètes fictives dans leur logiciel pour vérifier la sensibilité réelle de *Kepler* et extrapoler précisément ses

mesures. "Cela a été l'une des plus grandes difficultés, raconte le chercheur. Nous avons dû en tester 40 000 pour nous faire une idée." Le calcul a duré trois ans. Et il a donné ce chiffre : 22 % des étoiles solaires ont une autre Terre qui leur tourne autour !

Certes, ce chiffre est encore imprécis : les marges d'erreurs indiquent qu'il pourrait se situer entre 14 % et 30 %. Il est donc encore débattu : les frontières de la zone habitable sont loin d'avoir été tracées de manière définitive. Il sera sans doute affiné dans les années qui viennent. "Pour analyser à fond les données de *Kepler*, on en a encore

pour dix ans !", estime Christophe Lovis, à l'Observatoire de Genève.

Il n'empêche, voici l'ordre de grandeur tant attendu. Et il peut être décliné à l'infini : un soleil sur cinq abrite une exoterre qui pourrait receler de l'eau liquide à sa surface. Et sachant que la Voie lactée compte 200 milliards d'étoiles, dont 20 % de soleils, ce sont 9 milliards de jumelles de notre planète bleue qui gravitent dans notre galaxie... La plus proche des rocheuses habitables ne serait éloignée que de 12 années-lumière, et son étoile serait visible à l'œil nu depuis la Terre. Bref, la vie pourrait être là, partout.

ET MAINTENANT, CAP SUR LA VIE EXTRATERRESTRE

9 milliards de planètes habitables, mais combien d'habitées? Des sables de Mars aux confins de la Voie lactée, la traque est lancée...

Trouver des planètes habitables, c'est fait. Le robot Curiosity et le télescope *Kepler* viennent de prouver que la Terre n'est pas le seul monde hospitalier de la Voie lactée. Reste maintenant à trouver des planètes habitées, ou qui l'ont été... Les astronomes n'attendaient que ça : passer à l'étape suivante. Cela fait des années qu'ils peaufinent leur programme pour chasser l'extra-terrestre. Ils ont patiemment affûté le mode opératoire, débattu des difficultés. Ils ont dessiné les plans, développé les technologies... *"Les résultats de Curiosity montrent qu'il est nécessaire de ramener des échantillons martiens sur Terre pour analyse!"*, défend David Vaniman, l'un des membres de la mission au Planetary Science Institute à Los Alamos (Etats-Unis). *"Avec la profusion d'autres Terre que nous avons tirée des données de Kepler, la prochaine étape est claire : nous devons étudier la composition des atmosphères exoplanétaires en détail pour chercher des signes de vie"*, assure de son côté Geoffrey Marcy, chasseur d'exoplanètes à l'université de Californie, à Berkeley.

SONDER LES ATMOSPHÈRES

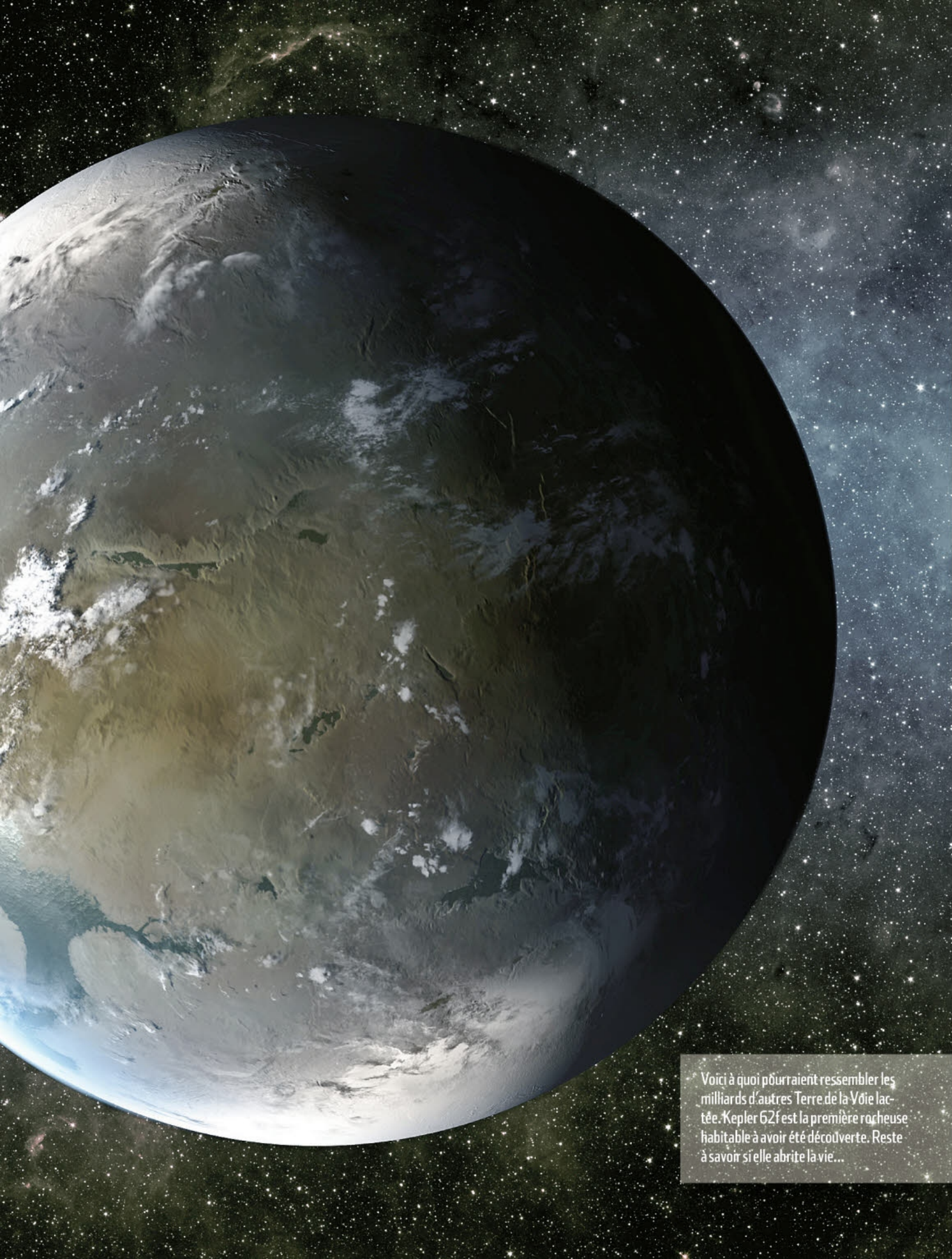
L'heure est à l'effervescence. Des missions sont déjà lancées. Certaines reviennent à la vie après avoir passé vingt ans à prendre la poussière dans des cartons. D'autres émergent de l'imagination débridée des spécialistes : forer sur les planètes lointaines ; ramener

des échantillons de sol ; sonder les atmosphères exoplanétaires... La chasse aux traces de vie extraterrestre, quelles qu'elles soient, est en train de se lancer.

Au sein du système solaire d'abord. Et c'est Curiosity – encore lui – qui ouvre le bal. Car il pourrait bien être capable de détecter des molécules organiques, dont certaines pourraient

**ON CHERCHE UNE
TERRE QUI RESSEMBLE
À LA NÔTRE, UN PETIT
POINT BLEU PÂLE...**

être le signe indubitable d'une activité biologique passée ou présente sur Mars. Il en a même déjà collecté quelques-unes et les analyses sont en cours pour déterminer s'il s'agit bien de composés martiens ou si elles ont été déposées par des météorites, voire amenées depuis la Terre... Mais les spécialistes craignent que, pour exhumer des molécules organiques d'origine biologique, il faille forer au-delà des quelque 6 centimètres autorisés par le robot. En effet, des radiations délétères en provenance de l'espace criblent en permanence le sol martien. Aussi, en 2018, l'Agence spatiale européenne (Esa) enverra-t-elle un autre robot sur la planète rouge dans le cadre d'une mission nommée ExoMars. Et celui-ci sera capable de creuser jusqu'à 2 mètres de profondeur. Ensuite, dès le début →



Voici à quoi pourraient ressembler les milliards d'autres Terre de la Voie lactée. Kepler 62f est la première rocheuse habitable à avoir été découverte. Reste à savoir si elle abrite la vie...

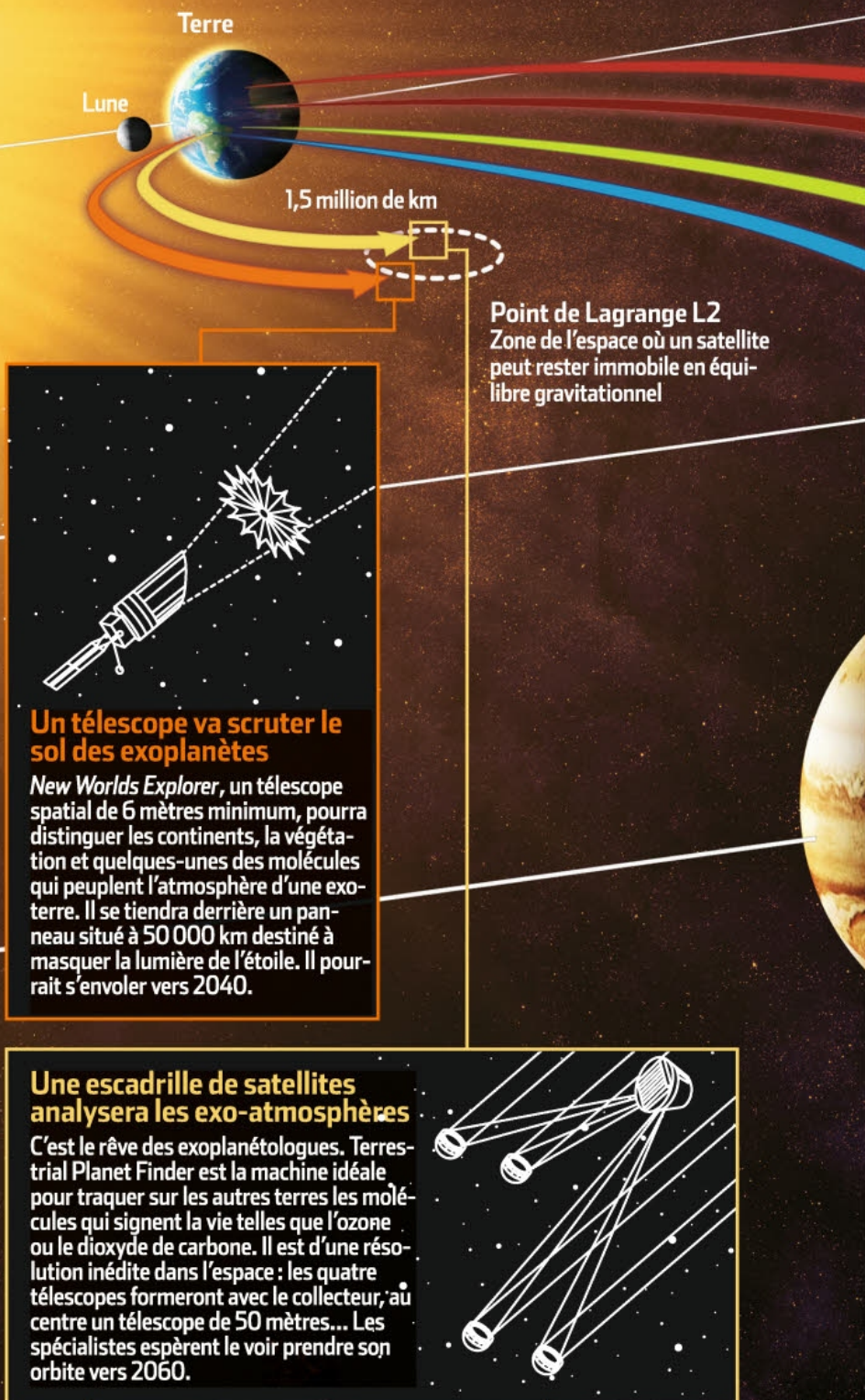
→ de la prochaine décennie, un rover nommé Mars 2020, collectera, pour la Nasa, des échantillons de sol martien qu'il mettra à l'abri jusqu'à ce qu'une autre sonde, peut-être d'ici à 2030, ne les ramène dans les laboratoires terrestres, seuls endroits où ils pourront être analysés avec la précision nécessaire pour conclure à la vie...

A moins que d'ici là, le concept du généticien Greg Venter ne se concrétise. En collaboration avec la Nasa, l'Américain est en effet en train de mettre au point une machine qui pourrait analyser *in situ* des échantillons biologiques, en séquencer l'ADN et transférer automatiquement toutes les informations nécessaires à leur reconstruction sur Terre! Plus besoin de retours d'échantillons risqués et coûteux, les exobiologistes pourraient travailler à distance... même si, comme le note Pierre Thomas, au Laboratoire de géologie de l'Ecole normale supérieure de Lyon, "*chercher de l'ADN extraterrestre, c'est croire que ce qu'utilise la vie terrestre – l'ADN, donc – est la seule possibilité*".

DES LUNES PLEINES DE PROMESSES

Ou à moins, encore, que d'ici là, les astronomes se focalisent sur d'autres contrées habitables, préférant aux roches rouges de Mars, les glaces des lunes Encelade et Europe, qui gravitent autour des géantes Saturne et Jupiter et qui, sous leur surface inhospitalière, cachent de gigantesques océans d'eau liquide. "*Europe est une planète formidable, puisqu'il n'est pas impossible qu'une vie ait pu apparaître et se maintenir dans son océan sous-glaciaire*", s'enthousiasme Michel Cabane, au Laboratoire atmosphères, milieux, observations spatiales à Paris et à Guyancourt. "*Eau, matière organique... Encelade présente un cas de figure très intéressant pour les exobiologistes*", relève de son côté François Raulin, au Laboratoire des systèmes atmosphériques, à Créteil. Mais pour atteindre les deux refuges souterrains, les difficultés sont nombreuses: la →

Les 6 grandes missions en quête de vie extraterrestre



Un robot va forer Mars sur 2 mètres

Encore anonyme, ce rover mis au point par l'ESA dans le cadre de la mission ExoMars pourra forer la planète rouge jusqu'à 2 mètres de profondeur. Soit beaucoup plus que les quelque 6 centimètres de Curiosity... De quoi détecter d'éventuelles molécules d'origine biologique, conservées à l'abri des radiations qui frappent le sol de Mars. Son lancement est prévu pour 2018.



55 millions de kilomètres



Un rover ramènera des échantillons de Mars

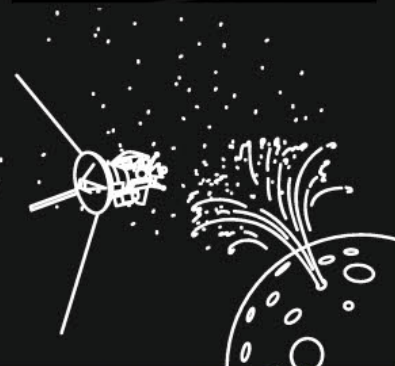
Il ressemblera à s'y méprendre à Curiosity, sauf qu'il sera doté d'un réservoir : un robot s'envolera vers la planète rouge pour y collecter des échantillons et les stocker... jusqu'à ce qu'un second vaisseau vienne les récupérer et les ramener sur Terre. La première étape est prévue pour 2020.

Mars

588 millions de kilomètres

Une sonde plongera dans les geysers d'Encelade

C'est l'un des objectifs prioritaires des exobiologistes : envoyer une sonde en orbite autour d'Encelade, afin de traquer les signes d'une vie primitive dans la soupe de molécules complexes qui s'échappent des geysers de plusieurs dizaines de kilomètres présents à sa surface. Il leur reste à convaincre les agences...



Jupiter

Europe

Une sonde explorera l'océan sous la banquise d'Europe

Une sonde nucléaire fera fondre la banquise d'Europe sur plusieurs dizaines de kilomètres pour s'y frayer un chemin, jusqu'à atteindre son océan souterrain où elle libérera un sous-marin qui partira à la chasse aux traces de vie. Des prototypes sont actuellement testés dans les glaces polaires, sur Terre, mais aucune date de lancement n'est encore prévue.



1195 millions de kilomètres

Encelade

Saturne

→ mise en orbite sera un défi à cause de la monstrueuse force d'attraction des géantes Jupiter et Saturne; l'alunissage sera une gageure en l'absence d'atmosphère pour gonfler des parachutes; et même, une fois sur place, il restera à forer des dizaines de kilomètres, une opération déjà à la limite du possible... sur Terre! Mais des sondes qui se fraieraient un chemin dans la glace en utilisant la chaleur de leur générateur ont été imaginées... Sans compter que d'autres pourraient utiliser la géologie particulière des deux lunes qui ont la bonne idée de propulser dans l'espace une partie de leur matière souterraine sous la forme de geysers, qu'il suffirait de traverser et d'analyser.

Pour la recherche d'exoteries habitées dans la Voie lactée, au-delà du système solaire, la stratégie est différente: distance oblige, il s'agit d'analyser les atmosphères des exoplanètes avec des télescopes pour y débusquer des gaz comme le méthane, le dioxyde de carbone ou l'ozone, qui signeraient la présence d'une vie répandue à leur surface. *"Il nous faut étudier la composition des planètes semblables à la Terre situées à 10 ou 20 années-lumière de nous, précise Geoffrey Marcy. Et si nous trouvons une planète avec de*

grandes quantités de gaz à effet de serre, nous sentirons de la vie."

Grâce à la profusion d'exoteries habitables découverte par Kepler, cette stratégie paraît enfin sur le point de se concrétiser. D'ambitieux projets qui avaient été proposés dans les années 1990 avant d'être enterrés sont de nouveau sur les lèvres et dans tous les courriers électroniques. En novembre

C'EST UN ENJEU MONDIAL QUI DEMANDE QUE S'ALLIENT EUROPE, ETATS-UNIS, JAPON, CHINE ET INDE

dernier, lors de la conférence qui faisait le bilan des résultats du télescope spatial, les astronomes de la Nasa consacraient un long exposé à un projet nommé *New Worlds Explorer*: un télescope spatial d'au moins 6 mètres accompagné d'un immense panneau qui, en masquant la lumière des étoiles, pourra révéler la lueur des Terres qui gravitent à leurs côtés. Tandis que la spécialiste Sara Seager expliquait il y a quelques mois dans la revue *Science* que *"tous les chemins mènent à Terrestrial Planet Finder"*: un projet, encore plus grandiose, constitué d'une constellation de cinq télescopes spa-

tiaux, qui joueraient le rôle d'un instrument de 50 mètres... ils pourraient par conséquent analyser, molécule par molécule, les atmosphères des Terres. *"C'est sûr, le chiffre de Kepler donne un coup de fouet à tous les projets, analyse Christophe Lovis, à l'Observatoire de Genève. Rien n'est encore lancé officiellement, mais ces grandes missions vont revenir sur le tapis, et plutôt tôt que tard..."*

De nouveau, les astronomes affichent de grandes ambitions. *"Il nous faut trouver une planète qui ressemble le plus possible à la nôtre, un petit point bleu pâle. Et il nous faut voir ses continents, les mouvements et la composition de son atmosphère..."*, insiste Natalie Batalha, une des responsables de la mission Kepler à la Nasa. *"Il faut que l'Agence européenne et la Nasa s'allient avec le Japon, la Chine, l'Inde pour construire un télescope spatial"*, renchérit Geoffrey Marcy. Ils commencent même à envisager un calendrier: *"Dans les années 2020, je suis sûr que quelque chose volera"*, affirme ainsi François Fressin, à Harvard. *"New Worlds Explorer sera lancé dans 30 ans et Terrestrial Planet Finder dans 50"*, prédit de son côté Natalie Batalha.

Dans cette nouvelle quête qui s'ouvre, six projets se distinguent déjà (voir infographie pp. 62-63). Six missions pour quatre cibles: chercher des molécules organiques d'origine biologique sur Mars; traquer les signes de vie dans l'océan souterrain d'Europe; chasser les composés prébiotiques dans les geysers d'Encelade; partir à la chasse aux biomarqueurs dans les atmosphères exoplanétaires. Et un seul objectif: trouver la vie extraterrestre. *"Durant des milliers d'années, les hommes se sont demandés: sommes-nous seuls?", rappelle Sara Seager. Pour la première fois dans l'histoire, nous allons pouvoir nous attaquer à cette question."* La grande aventure ne fait que commencer.

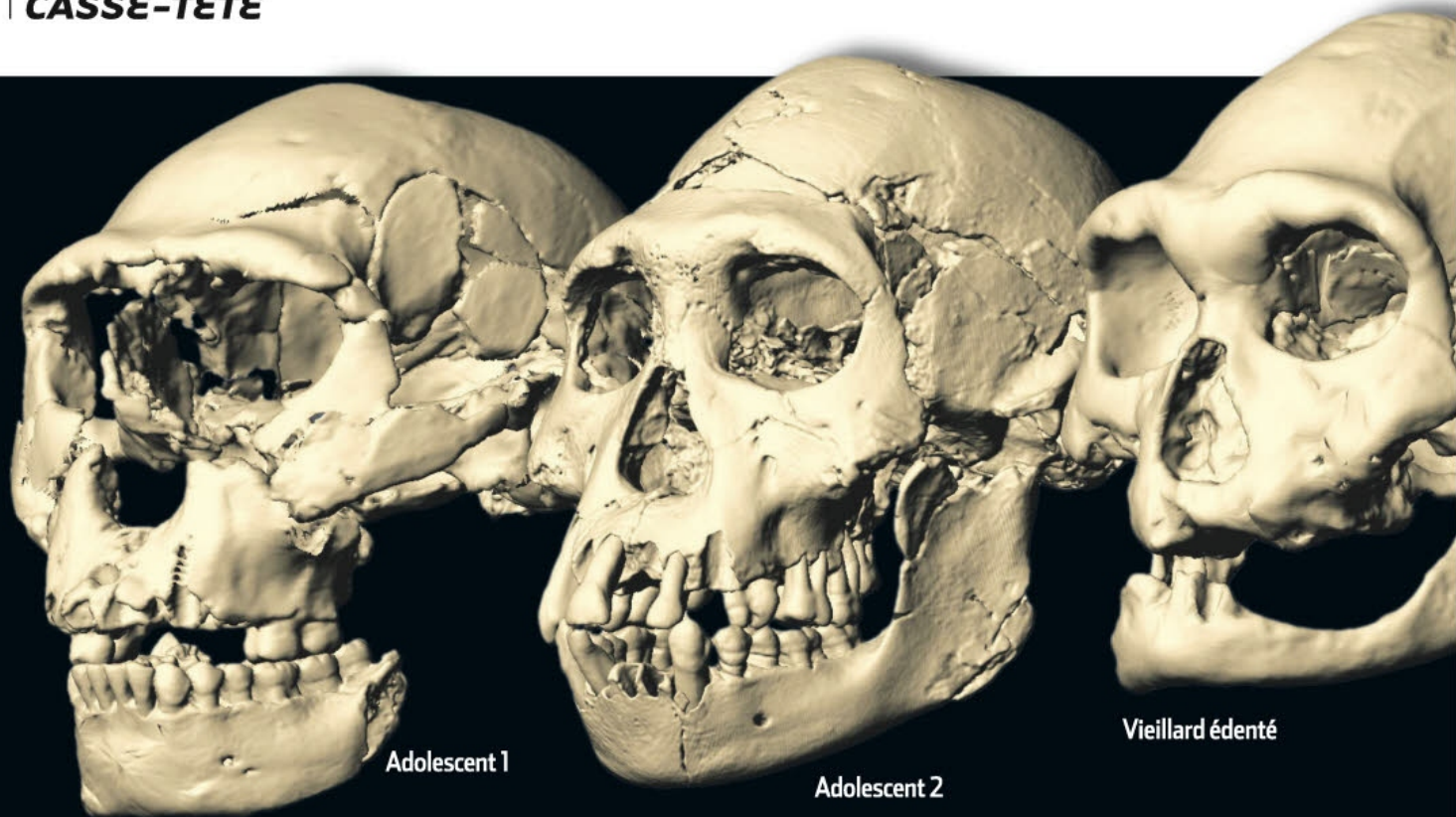
AU MOINS DEUX SIGNES BIENTÔT À PORTÉE DE TÉLESCOPE

"C'est juste pour donner un ordre de grandeur", prévient Sara Seager. Spécialiste des exoplanètes au MIT, la chercheuse a repris la célèbre formule de l'astronome Franck Drake, qui liste sept facteurs dont il suffit de faire le produit pour connaître le nombre de civilisations extraterrestres détectables. "Drake partait du principe que pour pouvoir être détectée, une vie devait envoyer des signaux radio, rappelle la chercheuse. Maintenant on sait qu'elle peut être trahie par la composition de son atmosphère". En tenant compte de la capacité du télescope JWST qui sera lancé en 2018, du nombre d'étoiles, du nombre de planètes habitables et en supposant que 10 % d'entre elles sont habitées, la nouvelle équation de Drake donne une réponse: 2. Il y aurait deux signatures de vie détectables. C'est peu. Mais c'est déjà beaucoup. Surtout qu'avec l'arrivée de missions spécialisées dans l'étude des exoteries, le chiffre devrait exploser.

[LA SCIENCE ET LE DIVIN]

SCIENCE ET RELIGION SE CONTREDISENT-ELLES ?





ORIGINES DE L'HOMME

LE MYSTÈRE DES CINQ CRÂNES

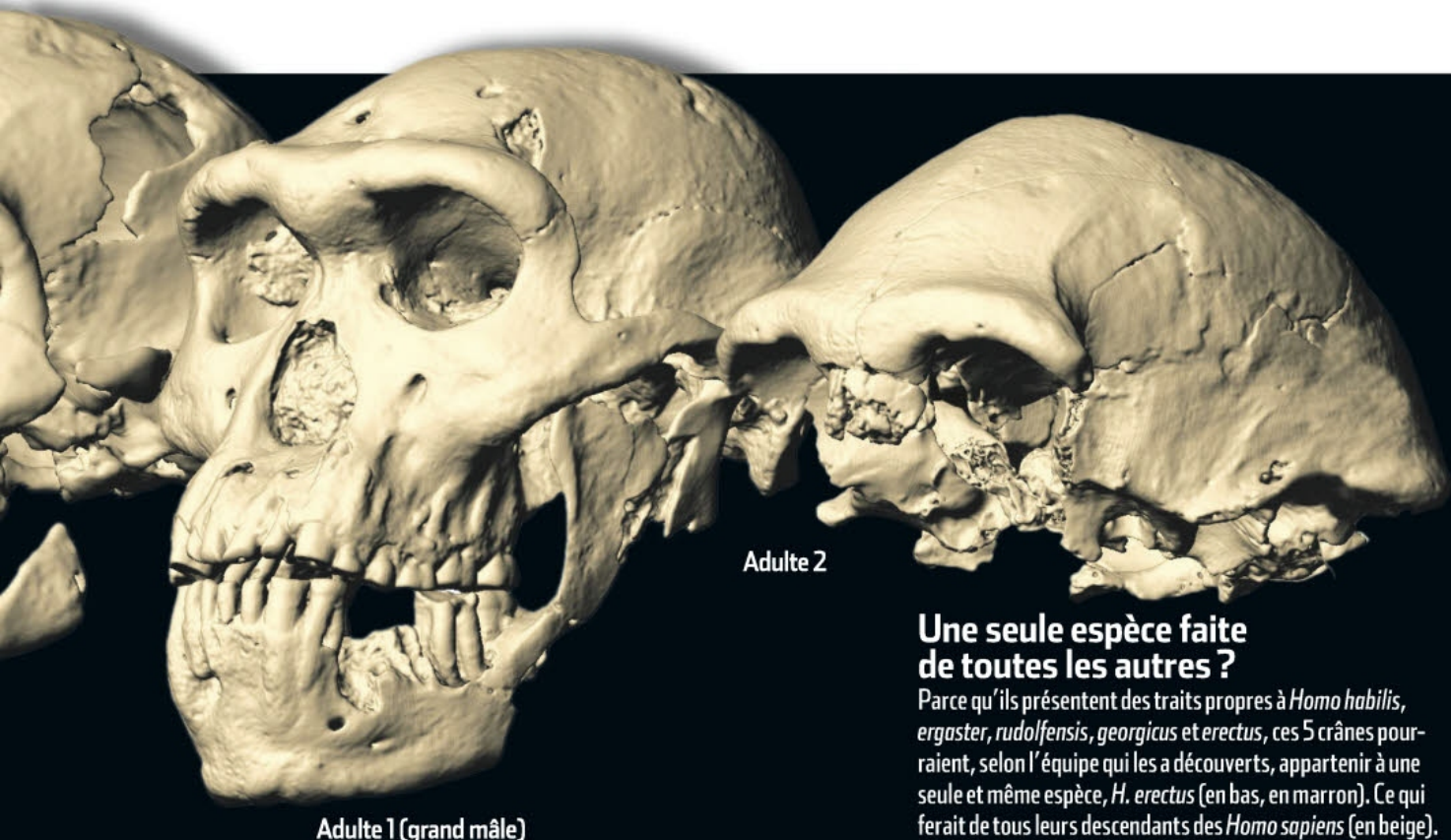
Exhumés en Géorgie, cinq crânes vieux de 1,8 million d'années défient les paléanthropologues : ils associent les traits de différents Homo n'ayant pourtant, a priori, rien de commun. De quoi relancer la question de nos origines.

PAR EMILIE RAUSCHER

Il y a 1,8 million d'années, une poignée de carnivores rendaient un inestimable service à la science en faisant de cinq hominidés leur repas du jour. *A priori*, un vieil édenté et deux adolescents n'ont pas dû leur opposer une grande résistance ; leurs deux compagnons adultes, dont un grand mâle (frôlant le 1,66 m et la cinquantaine de kilos), ont peut-être été plus coriaces... Reste que la fin a été la même pour tous : le repos éternel

dans une tanière souterraine. Jusqu'à ce que, un à un, leurs crânes soient découverts à partir de 1991. Déjà connu pour ses outils de pierre vieux de 1,85 million d'années, le site de Dmanisi, en Géorgie, a dès lors changé de statut... C'est que ces cinq crânes incroyablement bien préservés offrent un panel représentatif des toutes premières espèces humaines, d'*Homo habilis* à *Homo erectus*, plus d'un million et demi d'années avant la naissance de

ART COURTESY OF J.H. MATTENES - M. KONTENTE



Adulte 1 (grand mâle)

Adulte 2

Une seule espèce faite de toutes les autres ?

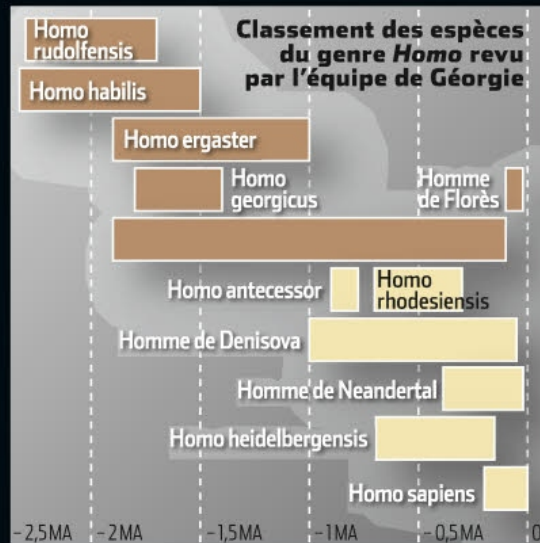
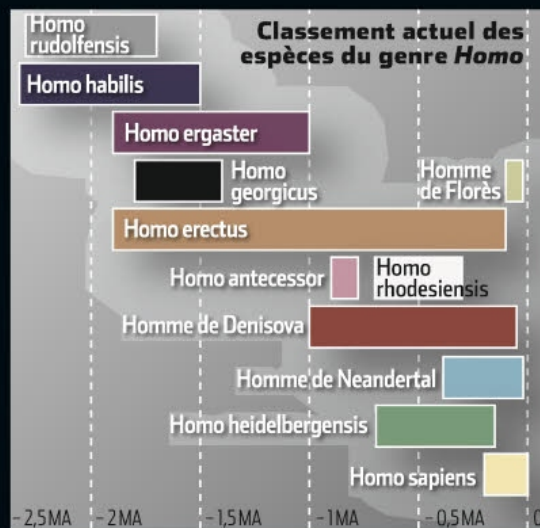
Parce qu'ils présentent des traits propres à *Homo habilis*, *ergaster*, *rudolfensis*, *georgicus* et *erectus*, ces 5 crânes pourraient, selon l'équipe qui les a découverts, appartenir à une seule et même espèce, *H. erectus* (en bas, en marron). Ce qui ferait de tous leurs descendants des *Homo sapiens* (en beige).

notre espèce, *Homo sapiens* (voir l'arbre). Autant d'hominidés jusqu'ici distingués, entre autres, par des origines géographiques et des époques différentes... Sauf qu'à Dmanisi, il y a unité de temps et de lieu ! Et l'équipe en charge des fouilles de tenter cette hypothèse en forme de coup de théâtre : et si toutes ces espèces d'*Homo* des origines n'en formaient qu'une seule, et que la diversité humaine existait dès le début ?

UN CRÂNE, TROIS ESPÈCES

Avant de publier ses conclusions, l'équipe internationale dirigée par David Lordkipanidze a passé huit ans à analyser le cinquième et dernier crâne (exhumé en 2005) et sa mandibule (détournée en 2000). Un intérêt mérité : ensemble, ils constituent la seule tête entière d'hominidé adulte de cette lointaine époque, qui plus est

en parfait état (ci-dessus, le quatrième crâne). La dentition, robuste et complète, dévoile un individu prognathe. Sa face est large, avec des orbites surmontées d'une épaisse barre osseuse et intégrées dans un crâne bas. La structure globale est massive, suggérant qu'on a affaire à un mâle. En revanche, l'intérieur du crâne est moins volumineux que chez ses petits camarades... Un mélange inédit ! *"Ce crâne associe des caractères propres à trois espèces, détaille Dominique Grimaud-Hervé, paléoanthropologue au Muséum d'histoire naturelle de Paris. Selon l'équipe qui l'a découvert, ses dents sont grandes comme chez H. rudolfensis, sa face allongée comme celle d'H. ergaster, et sa boîte crânienne petite comme chez H. habilis. C'est la première fois que l'on retrouve ces différents traits sur un même* →





DAVID LORDKIPANIDZE

PALÉOANTHROPOLOGUE GÉORGIEN,
CHEF DE L'ÉQUIPE EN CHARGE DES FOUILLES

Les premiers Homo ont pu avoir un petit cerveau, mais une stature proche de celle des hommes modernes

→ *individu.* "Un individu mosaïque hors normes, donc, *"qui montre que les premiers Homo peuvent avoir été dotés d'un petit cerveau, mais d'une stature et de proportions les rapprochant des hommes modernes"*, note David Lordkipanidze.

Ce n'est pas la première fois que les fossiles de Dmanisi brouillent les pistes. Déjà, le premier fragment de crâne avait

rendu les spécialistes perplexes. Pour l'identifier, ils avaient dû inventer une nouvelle espèce, *H. georgicus* – possible contemporain de l'Africain *H. ergaster*, mais surtout premier Européen connu. Les trouvailles qui ont suivi ont entretenu la confusion : les deux crânes d'adolescents semblaient se rapprocher d'*H. ergaster*... mais leurs mandibules, de l'Asiatique *H. erectus*. Quant au crâne édenté, son classement chez *H. erectus* n'est guère significatif.

TOUS DES HOMO ERECTUS ?

En résumé, étaient réunies au même endroit quasiment toutes les espèces ayant marqué l'enfance de notre genre *Homo*... Des individus de chacun de ces groupes étaient-ils venus taper le carton à Dmanisi ? L'équipe qui les a sortis de terre ne croit pas à leur appartenance à

diverses lignées. *"Ils représentent des variations de caractères normales à l'intérieur d'un même groupe"*, conclut-elle. Ainsi, toutes ces espèces n'en formeraient qu'une, et les différences entre les crânes tiendraient simplement à la diversité qui existait déjà naturellement dans cette espèce !

Pour évaluer si un tel foisonnement est réaliste, les chercheurs ont étudié la diversité existant parmi les chimpanzés et bonobos actuels, ainsi que chez les hommes modernes. Résultat : le niveau de variations observé est comparable partout... D'où l'idée que résume Christopher Zollikofer, membre de l'équipe : *"Tout ce qui vivait à l'époque de Dmanisi appartenait probablement à une seule espèce : Homo erectus."* Dès lors, faut-il dire adieu aux *H. ergaster* et autres *H. habilis* qui ont marqué



L'ADN PEUT-IL AIDER À TRANCHER ?

L'étude de l'ADN ancien repousse peu à peu ses limites. La faculté de médecine de Harvard (Etats-Unis) et l'Institut Max-Planck de Leipzig (Allemagne) viennent ainsi d'arracher de nouvelles données aux génomes de nos cousins disparus. La première étude a montré que le génome de l'homme de Denisova, apparu il y a 400 000 ans, contient les traces d'un ADN inconnu encore plus ancien – peut-être celui d'*Homo erectus*, dont nous avons seule-

ment des ossements ? La seconde a reconstitué le plus vieil ADN mitochondrial (l'ADN présent dans les "usines énergétiques" des cellules), à partir d'un fémur de plus de 300 000 ans découvert en Espagne... et révèle ses liens avec le Denisova de Sibérie ! En dévoilant des relations inattendues entre ces hominidés, l'ADN complète ce que disent les os, mais sans pouvoir encore remonter aussi loin dans le temps...

◀ Le dernier crâne découvert, en 2005, sur le site de Dmanisi, celui d'un grand mâle parfaitement bien conservé, s'est révélé le plus parlant des cinq.

de chacune d'elles. Attendons la suite, avec l'étude des structures osseuses internes."

Jean-Jacques Hublin, paléoanthropologue à l'Institut Max-Planck de Leipzig (Allemagne), pointe quant à lui les limites de la morphométrie géométrique, utilisée pour comparer les crânes à partir de repères : "C'est un outil très puissant, mais selon les repères choisis, les conclusions peuvent diverger. L'équipe de Géorgie a étudié la relation de la boîte crânienne et de la face et, en effet, les résultats obtenus rapprochent *H. erectus* et *H. habilis*. Mais si elle avait analysé d'autres caractères, dentaires par exemple, les résultats seraient différents. Ce qui fragilise ses conclusions." Le chercheur souligne aussi que parmi les 5 crânes, l'un appartient à un individu édenté, ce qui a modifié l'ossature de sa face, et deux à des adolescents, pas encore pleinement formés. Ceci pris en compte, la série de Dmanisi se révèle moins variable qu'il n'y paraît.

Chacun attend donc avec intérêt de nouvelles trouvailles géorgiennes, et africaines, qui confirmeraient ou non la "disparition" par regroupement d'une dizaine d'hominidés

anciens... Un élagage spectaculaire de notre arbre phylogénétique, que les responsables eux-mêmes relativisent : "Cette hypothèse soulève un dilemme de classification plus que d'évolution." *Homo* n'est pas sorti de terre tout formé, et sa longue histoire ne changera pas, quels que soient les noms donnés aux fossiles racontant son évolution. Ce qui est ici questionné, c'est la diversité au sein de ses espèces et la difficulté à les distinguer. Un casse-tête qui résonne avec les tentatives actuelles de repenser notre diversité humaine, au-delà des pièges que l'histoire a tendus à cette notion (voir S&V n° 1149, p. 107).

En parlant d'histoire, Dmanisi en a encore au moins une belle dans sa manche. "Celle des premiers colonisateurs de la planète, indique Jean-Jacques Hublin. On considère qu'il s'agit d'*H. erectus*, mais les premiers à avoir mis le pied hors d'Afrique semblent avoir des caractéristiques qui les relient plutôt à son prédécesseur, *H. habilis*. Et si c'était lui, ce colonisateur ?" Carrefour géographique et morphologique unique, le site géorgien est au cœur de notre histoire, quelle que soit l'hypothèse considérée... ■

l'histoire de l'homme ? Sans compter que, par ricochet, tous leurs successeurs, les hommes de Denisova, Neandertal, etc., devraient de facto appartenir à une même espèce – disons *Homo sapiens* – puisqu'ils sortiraient du même pot...

Pas si vite, soulignent d'autres spécialistes. Tous reconnaissent l'importance des découvertes de Dmanisi, mais certains restent dubitatifs face à la spectaculaire proposition. "Si ce crâne avait été découvert fragmenté, et les fragments en question disséminés en Afrique, ils auraient certainement été attribués à trois espèces différentes, rappelle Dominique Grimaud-Hervé. Il y a deux hypothèses possibles : celle de l'équipe, une seule espèce rassemblant à l'origine tous les fossiles ; et celle d'une nouvelle espèce, distincte des autres mais possédant des traits

JARGON

Il existe 23 définitions de la notion d'**espèce**. La définition classique se réfère à la capacité de reproduction. Mais l'hybridation entre espèces différentes est parfois possible. Les paléontologues se sont longtemps attachés à l'époque, au lieu et à la morphologie pour distinguer deux espèces. Grâce à l'ADN, ils commencent à étudier les capacités d'accouplement entre *Sapiens*, Neandertal, etc.



10 ODEURS SUFFISENT À

L'odorat est une jungle, un océan sans repère. Il suffit de penser à une discussion entre amis sur le "nez" d'un vin pour s'en persuader. Banane, fraise, agrumes... très souvent, le consensus est tout simplement impossible. Et si nous autres profanes naviguons à vue dans l'espace infini des odeurs, c'est également le cas des scientifiques, presque incapables d'y déceler la moindre cohérence, la moindre règle. Or, dans ce chaos, un groupe de chercheurs vient peut-être enfin de placer quelques balises. Montrant à grand renfort de mathématiques que les milliers d'odeurs que nous sommes capables de discerner ne sont peut-être finalement que des variations autour

Alors que la perception des odeurs est éminemment subjective, des chercheurs ont voulu relever le défi : trouver la grammaire fondamentale de l'odorat, comme il existe une gamme des couleurs ou des sons ! Surprise : via une méthode mathématique, ils ont réussi à définir 10 odeurs de base...

PAR MATHIEU GROUSSON

de 10 odeurs fondamentales. L'univers olfactif posséderait alors enfin sa gamme.

Après tout, il y a bien une échelle des couleurs ou des sons. Que nous sommes non seulement capables de percevoir, mais qui renvoie à une réalité objective : ce que nous

reconnaissons comme du rouge possède également un sens physique en termes de longueurs d'onde de la lumière. De même, les spécialistes s'accordent à dire qu'il n'y aurait que cinq goûts fondamentaux : salé, acide, sucré, amer et umami (le goût du glutamate).



PRIMAIRES

TOUT SENTIR

Le cas de l'olfaction est autrement plus délicat. La preuve? Nous sommes à peine capables de nommer les odeurs. Sous-bois, floral, truffé? Sauf que ces mots se rapportent aux "choses" qui portent ces odeurs, mais pas directement à ces dernières. Comme si pour dire rouge nous n'avions que sang, cochenille ou couchant. Ou seulement flûte pour aigu et contrebasse pour grave...

LES ODEURS N'EXISTENT PAS

En cause notamment, la complexité fondamentale associée à la physiologie de l'odorat. Qu'on en juge: notre nez est confronté à des milliers de molécules dont les propriétés olfactives, aussi subtiles que di-

verses, résultent d'une myriade de groupements chimiques hétérogènes. Lesquelles molécules étant prises en charge par environ 350 récepteurs logés sur une muqueuse de la cavité nasale, dont chaque individu n'est pas également pourvu (lire l'encadré), tandis que leurs mécanismes d'activation ou d'inhibition en présence d'une molécule odorante sont quasi impénétrables. Et encore ne s'agit-il là que de la première étape de la chaîne allant de la détection d'une molécule à la perception de ce que nous appelons *in fine* une odeur. Chaîne qui implique plusieurs étages cérébraux, dont les aires émotionnelles et cognitives. Au point, comme le résume

Gilles Sicard, au laboratoire Neurobiologie des interactions cellulaires et neurophysiopathologie, à Marseille, que "*s'il existe bien des molécules odorantes, en revanche, les odeurs, qui sont des constructions cérébrales, n'existent pas!*"

Dans ces conditions, difficile d'imaginer ne serait-ce qu'explorer méthodiquement l'espace des odeurs, encore moins en dresser une carte qui ait un sens au-delà de la subjectivité de tel ou tel. Or c'est exactement ce à quoi se sont attelés récemment Jason Castro, au département de psychologie du Bates College, à Lewiston, aux Etats-Unis, et ses collègues, s'en remettant pour ce faire tout entier à... la froide rigueur →

▲ Fragrance, boisé, fruité, écœurant, chimique, mentholé, pop-corn, doux, citron... tels sont les noms des odeurs primaires à la base de l'infinie variété de nos sensations olfactives.

→ des mathématiques. “*Nous ne sommes pas les premiers à spéculer sur l'existence de catégories fondamentales d'odeur, admet le scientifique américain. Mais la nouveauté de notre approche réside dans le fait que nous avons cherché à extraire ces catégories d'une façon quantitative et systématique, sans formuler la moindre hypothèse subjective.*”

UN “ATLAS DES ODORANTS”

Point de départ de leur approche: l'atlas des odorants réalisé en 1985 par Andrew Dravnieks, à l'Institut de recherche IIT, à Chicago. Soit une somme consacrée à la description de 144 molécules odorantes (les “odorants”) via 146 descripteurs (fruité, citron, rose, lavande, poivre noir, érable, miel, vanille, thé, métallique, essence, vinaigre, ail, sang, café, lait, poulet rôti...) notés de 0 à 5 par un panel d'une centaine de juges professionnels. Certes, au vu de l'immense diversité des odeurs, l'échantillon peut sembler réduit. “*La représentativité de l'échantillon d'odorants de Dravnieks n'a rien d'évident*”, note ainsi Gilles Sicard.

Il n'en demeure pas moins une base reconnue, comme le précise Thierry Thomas-Danguin, au Centre des sciences du goût et de l'alimentation, à Dijon: “*L'atlas de Dravnieks, quasiment unique en son genre, couvre un large spectre d'odorants et résulte d'une analyse très systématique. Si bien qu'il est considéré comme un point de départ légitime pour l'étude des mécanismes de l'odorat.*” Et à le regarder de plus près, sa modestie est toute relative: ses données ne construisent rien de moins qu'un espace à 146 dimensions (notre environnement se limite à 3 dimensions

CHACUNE DES 10 ODEURS PRIMAIRES RENVOIE À DES

1 Ecœurant (ail et oignon)

Molécules: Zingherone, dibutyl sulfide, Chlorothymol, 2-Mercaptopropanone, 1,2-cyclohexanedione, diethyl sulfide, dimethyltrisulfide, furfurylmercaptan, Guaiacol, Hexylamine, Hexylamine, ACIL18DS.

2 Doux

Molécules: Abhexon, Gamma-nonolactone, Benzaldehyde, 3,4-dihydrocoumarin, 3-Propyldene phthalide, cinnamic aldehyde, coumarin, cycloten, Furaldehyde, 2-hexenal, 2-methylbenzaldehyde, gamma-valerolactone.

3 Mentholé

Molécules: Anethole, 8-sec-Butylquinoline, carvone, caryophyllene, 4-cresyl acetate, eucalyptol, Eugenol, Menthol, methyl salicylate, Safrole.

4 Ecœurant (putride)

Molécules: Butyric Acid, hexanoic acid indole, methylthiolbutyrate, n-pentanoic acid, pentenoic acid, phenylacetic acid, Propyl butyrate, Skatole, (3-Methyl-1Hindole) Isovalerylaldehyde, isovaleric acid.

5 Boisé

Molécules: Cedrene epoxide, bornyl acetate, 8-sec-Butylquinoline, 2,4,6-trimethylcyclohex-3-ene-1-carbaldehyde, decalin, dibutylamine, Synthetic amber, 1,1-Dimethoxy-2-phenylpropane, Methyl isonicotinate, Nootkatone, 1-octen-3-ol, isophorone (low concentration), isophorone (high concentration), Isopropyl quinolone, Argeol, Gamma-undecalactone.

6 Fragrance

Molécules: Isoamylphenylacetate, Aurantol, 6,7-dihydro-1,1,2,3,3-pentamethyl-, (5H) indanone, Indol-hydroxycitronellal, beta-ionone (low concentration), beta-ionone (high concentration), N'-[(E)-3-(5-methoxy-2,2-methoxynaphthalene, Diethoxymethane.

7 Fruité

Molécules: ethylmethylphenylglycidate (low concentration), ethylmethylphenylglycidate (high concentration), allylcaproate, isoamyl acetate, n-amybutyrate, Dmbc butyrate, ethyl butyrate, ethyl propionate.

JARGON

Une **odeur** désigne une **perception olfactive**: c'est l'effet que produit l'acte de sentir une substance. Les mots utilisés pour rendre compte de cette perception désignent, eux aussi, des substances: **boisé, citronné, mentholé...** Les spécialistes de l'odorat préfèrent donc le terme “**odorant**”, pour désigner la substance que l'on sent, réservant “odeur” pour désigner ce qui est perçu.

spatiales et 1 temporelle...), à la structure inconnue.

Dès lors déterminer si les 144 odorants qui s'y déploient entretiennent des liens cachés, s'attirent ou se repoussent, formant, qui sait, sous le déluge brut d'informations, un paysage ordonné, signe que l'univers olfactif, sous une apparence chaotique, posséderait finalement une grammaire fondamentale... Voilà un bien sérieux défi!

Pour le relever, Jason Castro et son équipe ont sorti l'artillerie lourde. Soit une méthode de calcul intensif connue sous le nom de factorisation non négative de matrices. En bref, “une méthode analytique particulièrement bien adaptée à l'extraction des constituants fondamentaux d'un ensemble de données”, résume le chercheur. D'où il devient possible de réduire l'information ini-

tiale contenue dans les données, sans pour autant perdre une miette de leur fraction significative “*Si vous appliquez cette méthode à un large échantillon de portraits par exemple, vous obtiendrez en sortie ce que nous reconnaissons comme étant les éléments de base d'un visage: yeux, nez, oreilles, bouche, etc.*”, poursuit le scientifique. Appliquée à l'atlas de Dravnieks, elle pourrait donc révéler le spectre fondamental des odeurs.

Verdict, publié en septembre dernier: il existe bien une grammaire fondamentale des odeurs! Dans l'espace multidimensionnel de départ, les chercheurs ont pu établir que les 144 odorants formaient en réalité 10 îlots denses ou directions privilégiées, définissant 10 odeurs de base parmi l'infinité *a priori* possible. Cha-

MOLÉCULES ODORANTES TRÈS SPÉCIFIQUES

8 Chimique

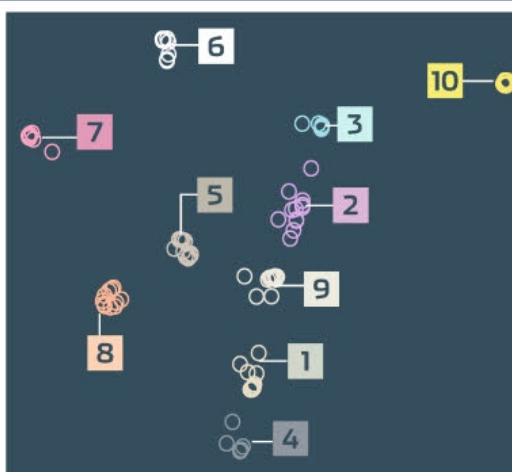
Molécules : Acetophenone, Anisole, 1-Butanol, 4-cresol, p-Tolylisobutyrate, 4-methyl anisole, cyclohexanol, 2,5-dimethylpyrazine, methyl hexyl ether, 1-hexanol, 3-hexanol, iodoform.

9 Pop-corn

Molécules : Vanillin, 2-acetylpyridine, 2,4-decadienal, Pyrazine, methyl hexyl ether, 2,5-dimethylpyrrole, Ethylpyrazine, Ethylpyrazine, Heptanal, n-hexanal, 1-Octanol, 2-methyl-5,7-

10 Citron

Molécules : polythiophene, Adoxal, Amyl cinnamic aldehydediethyl acetal, Citral Geranonitrile, Cuminaldehyde, 4-Methyl-2-(1-phenylethyl), 1,3-dioxolan, 2-Methyl-4-phenylbutan-2-ol, phenyl ether, Floralozone, Heptanol, hexylcinnamic aldehyde, hydroxycitronellal, linalool, limonene, Melonal, Myrac aldehyde, n-Nonyl acetate.



Un échantillon d'environ 140 molécules représentatives de la diversité des substances odorantes a été soumis à l'odorat de 100 "nez", qui ont puisé dans un catalogue de 150 noms d'odeurs pour décrire l'odeur de chaque molécule. L'analyse statistique de ce classement (ci-dessus) montre que tous les noms d'odeurs se résument à 10 odeurs primaires, renvoyant chacune à un groupe de molécules (à g.).

cune étant dominée par un jeu réduit de descripteurs dont les dominantes sont, pour chaque odeur : fragrance, boisé, fruité, écœurant tendance putride, chimique, mentholé, écœurant tendance ail et oignon, doux, pop-corn et citron.

Comme l'indique immédiatement Jason Castro, "10 n'a rien d'un nombre magique et des analyses supplémentaires à partir de données plus larges seront nécessaires avant de pouvoir affirmer combien de dimensions organisent exactement l'olfaction."

PREMIERS POINTS DE REPÈRE

Ce que confirme Nicolas Fourcaud-Trocmé, du Centre de recherche en neurosciences de Lyon, mais en pointant l'apport spectaculaire de ce résultat : "La méthode utilisée par Castro n'est pas unique et on ne

peut pas exclure qu'une autre n'aboutirait pas à un résultat différent. Pour autant, c'est la première à proposer une classification dont la complexité n'est pas trop grande, sans se résumer à scinder les odeurs en deux groupes 'j'aime' ou 'j'aime pas'. Du coup, ça donne envie d'aller plus loin !"

Par exemple, la prochaine étape consistera à détermi-

ner quel étage de la chaîne du traitement cérébral des odeurs préside à cette catégorisation en 10 composantes fondamentales. "Est-ce dès la muqueuse, au niveau des récepteurs, dans le bulbe olfactif, le cortex piriforme, ou bien dans des aires très cognitives?", s'interroge Nicolas Fourcaud-Trocmé. De fait, souligne Thierry Thomas-Danguin, "cette classification n'est qu'une pierre de l'édifice. On a les 144 odorants en entrée et un groupe de 10 odeurs en sortie. Et entre ces deux blocs, une grande boîte noire dans laquelle se mêlent de la chimie, de la biologie, des neurosciences, des sciences cognitives ou encore de la psychologie".

Il n'empêche, si Gilles Sicard met en garde contre la difficulté de décrire la topologie d'un espace aussi abstrait que celui des odeurs, il ajoute : "Une telle analyse revient à baliser un territoire inconnu, à y placer des points de repère – des amers, comme disent les marins... Par nature incomplète, elle est néanmoins parfaitement légitime." De quoi rendre enfin possible la navigation dans l'océan des odeurs ! Et, qui sait, inspirer les recherches des bases neurales de l'olfaction, ou orienter le développement de nouvelles fragrances dans l'industrie cosmétique et la parfumerie. ■

AUTANT DE NEZ QUE D'INDIVIDUS

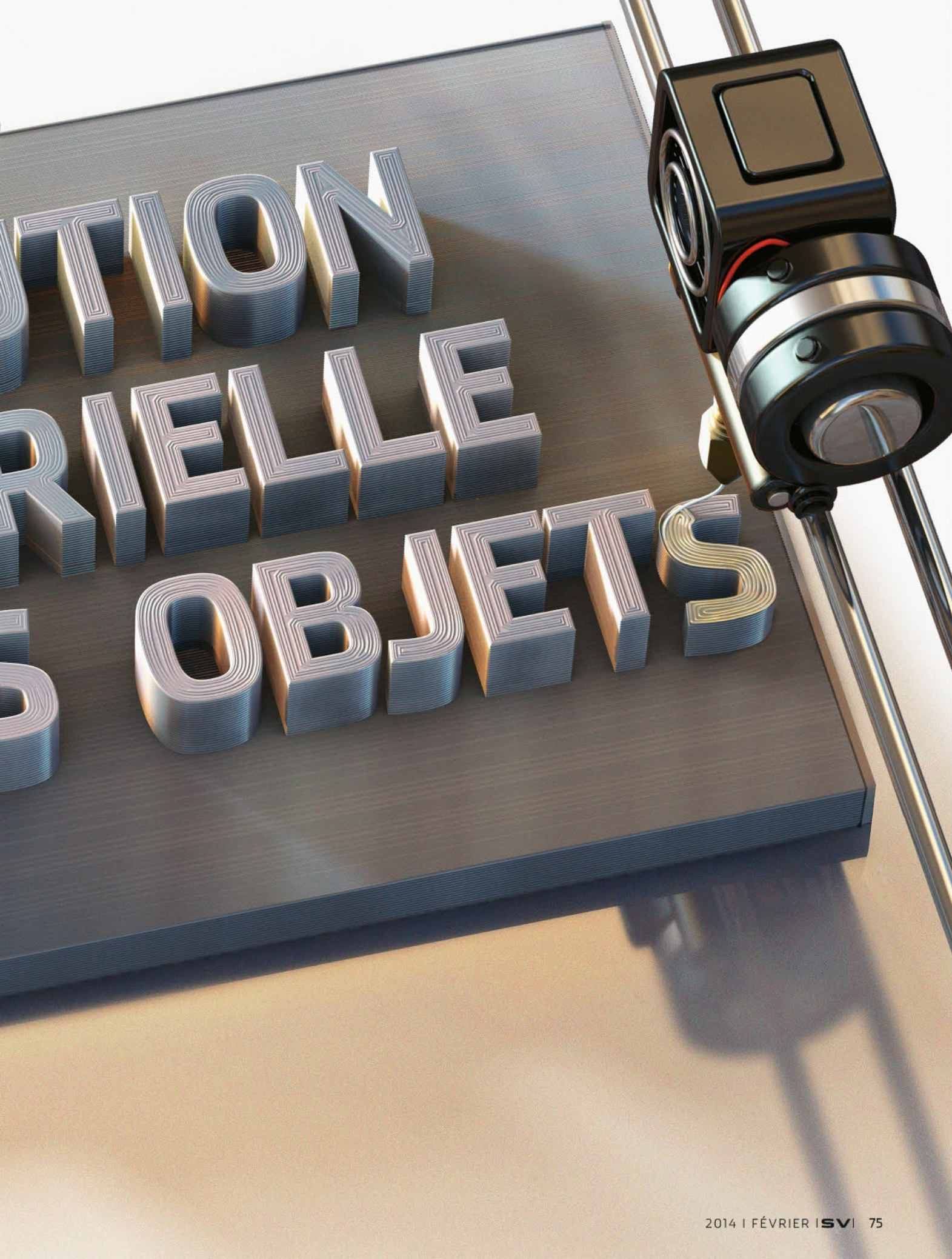
Les dix odeurs primaires qui construisent l'ensemble de notre palette olfactive viennent tout juste d'être mises en évidence, signe que l'odorat de chacun présente une organisation commune. La découverte est d'autant plus étonnante qu'une équipe de chercheurs américains vient, à l'inverse, de montrer que 30 % des

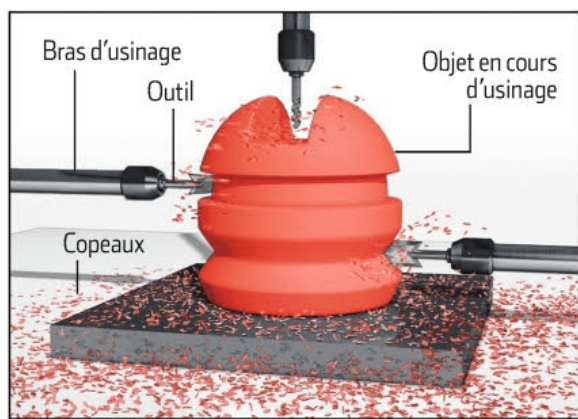
gènes liés aux récepteurs olfactifs nichés dans les parois nasales présentent des différences importantes d'un individu à l'autre. Un écart qui explique que les odeurs soient perçues de manière éminemment subjective... Même si toutes peuvent, théoriquement, se résumer par la combinaison de dix odeurs primaires. **E.A.**

IMPRIMANTE 3D

LA RÉVOLUTION INDUSTRIELLE DES

Que ce soit pour la conception, le prototypage ou la production d'objets, les imprimantes 3D changent aujourd'hui radicalement la donne. Avec elles, toutes les audaces deviennent permises, à moindre coût et en un temps record. Décryptage d'une révolution industrielle qui n'en est qu'à ses débuts.





Pour fabriquer un objet, l'impression 3D se libère des contraintes des procédés traditionnels

L'usinage gaspille la matière...

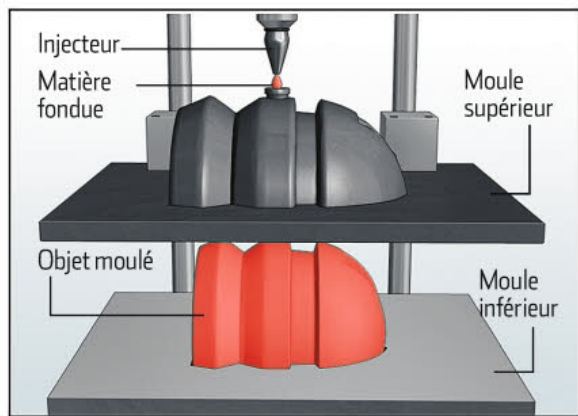
Ce procédé consiste à sculpter un bloc de matière par perçage ou grattage, jusqu'à lui faire prendre la forme voulue. À chaque réalisation, de la matière est gaspillée (jusqu'à 80 %). En outre, l'usinage ne permet pas de creuser au cœur de l'objet.

... et la fonderie ne peut mouler que des formes simples...

Pas de gâchis, puisque la quantité exacte de matière est coulée dans un moule de la forme que l'on veut donner à l'objet. Mais le démoulage implique d'autres contraintes : la forme doit rester suffisamment simple.

... ce dont s'affranchit l'impression 3D

Un modèle 3D est dessiné sur ordinateur et envoyé numériquement à l'imprimante. Celle-ci superpose les couches de matière qui constituent l'objet, de la base au sommet. La quantité exacte de matière est utilisée, et la forme peut être aussi originale que voulu.



Moteur pour le mouvement avant-arrière

C'est l'un des moteurs les plus attendus de l'aviation mondiale. Le LEAP – c'est son nom – s'annonce comme un petit bijou de technologie, voué à propulser les futurs Airbus A320neo et Boeing 737 MAX. Or, pour la première fois dans l'histoire de l'aviation, ses injecteurs de carburant (ces composants normalement constitués d'une vingtaine de pièces en alliage chrome-cobalt, qui n'ont absolument pas le droit de tomber en panne!) ne seront ni coulés dans un moule de fonderie, ni patiemment usinés au micromètre près à partir d'un bloc de métal. Ils sortiront directement... d'une imprimante 3D!

Une prouesse, qui prouve que l'impression 3D, née il y a plus d'un quart de siècle (voir "Repère" p. 80), entre aujourd'hui

dans son âge d'or. Et qu'elle ne se limite pas à la fabrication de coques de smartphone, figurines de superhéros ou autres objets simples en plastique, réalisés avec des imprimantes basiques. La révolution des objets n'est plus seulement commerciale, elle est industrielle.

Qu'il s'agisse de pièces professionnelles de haute qualité ou de gadgets, le principe reste le même : un objet est d'abord dessiné en volume sur ordinateur, grâce à un logiciel de conception 3D. Ce modèle numérique est ensuite découpé en fines tranches, puis envoyé à l'imprimante, qui va superposer les tranches de matière constituant l'objet, couche après couche, de sa base à son sommet. D'où l'appellation "fabrication additive", par "addition" de matière, par opposition

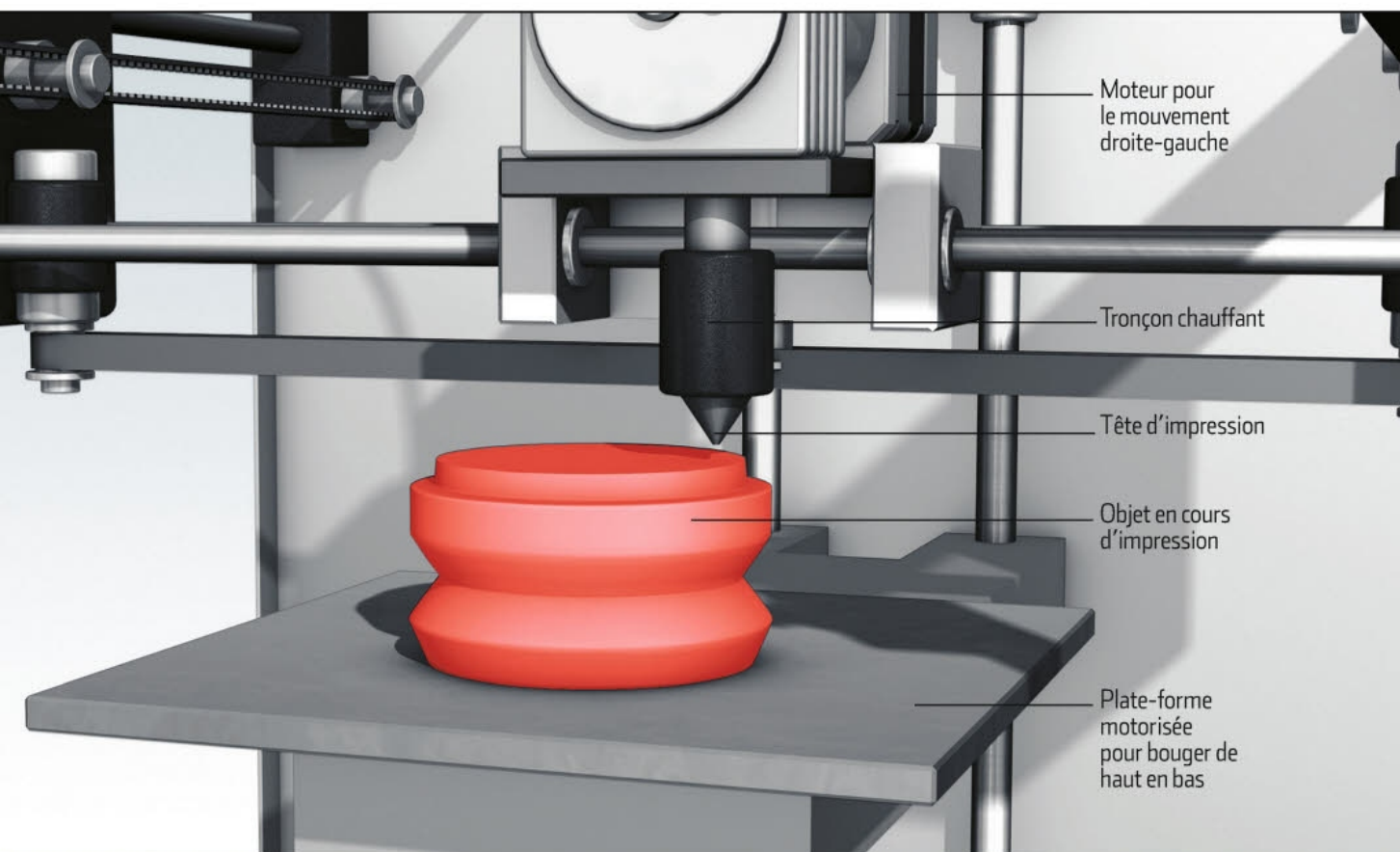
aux traditionnelles opérations d'usinage, qui extraient l'objet d'un bloc brut par enlèvements successifs de matière.

Si l'impression 3D décolle aujourd'hui dans l'industrie, c'est parce que les technologies ont profondément évolué. Restrainte à quelques types de plastique à ses débuts, elle s'ouvre à de plus en plus de matériaux. En particulier les métaux, via l'utilisation de lasers et de faisceaux d'électrons qui atteignent des températures de plus en plus hautes (jusqu'à 2 000 °C), ce qui permet de fondre toutes sortes de poudres métalliques (acier, aluminium, or, chrome, cobalt, "superalliages" nickel-chrome, titane...), lesquelles forment les couches successives des objets imprimés. Sans oublier une gamme de plus en plus large de plastiques et de

JARGON

Les imprimantes bureautiques

déposent sur du papier des microgouttelettes d'encre liquide ou une très fine poudre de pigments qui sera fondue par un laser. Quant aux **imprimantes 3D**, elles déposent, couche après couche, soit du liquide (résine, cire...) qui sera durci ou séché, soit de la poudre (plastique, métal...) qui sera fondue et solidifiée.



céramiques, du verre, du plâtre, de la cellulose et même du chocolat ou – encore plus sidérant – des cellules vivantes !

La qualité de finition a également fait des progrès décisifs. La résolution des pièces imprimées peut désormais atteindre celle que l'on trouve couramment en usinage traditionnel, soit 16 micromètres pour l'impression par dépôt de cire, très prisée en joaillerie.

ENCORE PLUS RÉSISTANTS

Même leur solidité n'a plus grand-chose à envier aux standards classiques... Au contraire ! *"Nous avons été surpris de constater que les pièces imprimées en métal sont parfois plus résistantes que les pièces de fonderie"*, explique Jon Meyer, de l'EADS Innovation Works, la cellule recherche et

développement de l'avionneur européen. Notamment parce que leur forme est adaptée aux contraintes qu'elles devront supporter – ce qu'il serait impossible d'obtenir autrement.

C'est que la fabrication additive révolutionne la conception même des objets, en s'affranchissant de ses limites traditionnelles. Dans le cas des pièces de fonderie, le métal est coulé à l'état liquide dans un moule, puis refroidi ; la forme de l'objet ne doit pas empêcher le démoulage. Quant aux pièces usinées, extraites d'un bloc de métal, le perçage (utilisé pour enlever de la matière jusqu'à obtenir la forme voulue) ne peut se faire qu'en suivant une ligne droite (voir infographie). Avec une imprimante 3D, plus de forme à extraire d'un moule, plus de trou à creuser : les espaces vides

apparaissent tout simplement là où la matière n'a pas été déposée. *"Ce mode de fabrication libère l'imagination des designers"*, souligne Prabhjot Singh, directeur du laboratoire de fabrication additive de General

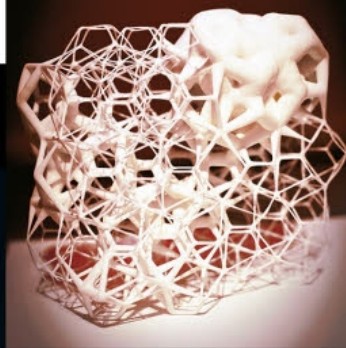
MÉTAUX, VERRE, CHOCOLAT, CELLULES... DÉSORMAIS, TOUT PEUT ÊTRE IMPRIMÉ !

Electric. Un aperçu ? *"Un avionneur m'a demandé récemment d'imprimer une pale de moteur dotée d'un canal de refroidissement en spirale qui épouse parfaitement la forme de la pale"*, témoigne Juan Franco, PDG d'Eichenberger, spécialiste suisse du frittage sélectif par laser, l'une des technologies d'impression 3D. *Cela aurait été très complexe, voire impossible* →

B. BOURGEOIS

LA RÉVOLUTION DES OBJETS A COMMENCÉ

Avec l'impression 3D, la conception des objets fait tomber les barrières des techniques industrielles traditionnelles. Leur géométrie n'a plus à se plier aux contraintes d'usinage ou de fonderie : nul besoin de ménager des espaces pour laisser passer les outils, ni de privilégier certaines formes pour faciliter le démoulage. Quant aux matériaux utilisés, ils sont de plus en plus variés : plastiques, alliages métalliques, céramique, argile... L'impression 3D s'invite ainsi dans tous les secteurs industriels. Selon les cas, les objets sont imprimés sur mesure, arborent des formes impossibles à obtenir autrement, offrent des caractéristiques techniques inégalées ou donnent corps aux rêves les plus fous des concepteurs...



▲ DES FORMES COMPLEXES

Seule une imprimante 3D peut réaliser d'un seul tenant ce genre de pièce au dessin sophistiqué, composée de dizaines d'alvéoles.

> DES ALLIAGES OPTIMISÉS

Métal complexe, finitions irréprochables : cet injecteur de carburant pour moteur d'avion obéit aux exigences de l'aéronautique.

▼ DES PIÈCES PERSONNALISÉES

Dans le cas d'une prothèse, par exemple (ici, une mandibule inférieure en titane), on scanne la partie du corps qui doit être équipée, avant de dessiner, puis imprimer, le modèle adapté au patient.



→ à faire autrement." Autre exemple : "L'impression 3D permet de travailler avec des alliages difficiles, ou qu'on ne peut carrément pas utiliser en fonderie, comme ceux à base d'aluminium et de magnésium renforcés au scandium. Cela ouvre de nouvelles possibilités, que nous commençons à peine à percevoir", estime Jon Meyer.

Conséquence : "La complexité d'une pièce n'influe plus ni sur le temps de fabrication, ni sur le coût. Seul compte le volume imprimé, c'est-à-dire la quantité de matière utilisée", résume Alex Gryson, designer chez Sculpteo, un prestataire français de services d'impression 3D pour particuliers et professionnels. Des formes libérées, des matériaux

inédits, une économie de temps et de matière inespérée jusqu'ici : l'industrie ne pouvait rêver mieux. Et de fait, elle est bel et bien en train de vivre sa révolution 3D. Avec certains secteurs particulièrement intéressés, pour au moins trois bonnes raisons.

FACILITER LE PROTOTYPAGE

La première, c'est le gain de temps. L'automobile et la joaillerie, les premiers, se sont emparés de l'impression 3D pour leurs prototypes – l'équivalent du brouillon pour les industriels. Objectif : réaliser vite, et à moindre coût, le modèle d'un futur produit pour vérifier sa conformité avant de lancer sa production en série.

"Sur les showcars que l'on voit dans les salons automobiles, 90 % des pièces de petite taille sont imprimées en 3D", révèle Clément Boutet, responsable du showroom parisien de Multistation, un revendeur d'imprimantes 3D. De quoi économiser plusieurs semaines à plusieurs mois, le temps habituellement nécessaire pour fabriquer les équipements de production, comme les moules. L'américain Chevrolet a lui aussi utilisé deux techniques d'impression 3D (la stéréolithographie et le frittage sélectif par laser) pour sa nouvelle berline Malibu. "Cela a permis de réaliser en quelques jours des maquettes qui, auparavant, auraient pris plusieurs semaines de sculpture





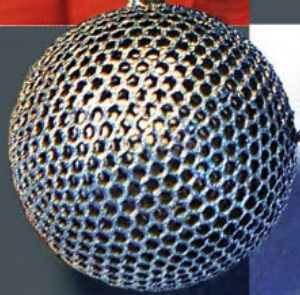
^ UNE INFINITÉ DE MODÈLES

Les scanners 3D permettent de reproduire tous les objets du monde réel... y compris les personnes !



< UNE CRÉATIVITÉ DÉBRIDÉE

En joaillerie, en architecture, dans la mode... les designers, affranchis des contraintes, concrétisent très vite leurs créations.



d'argile", détaille le constructeur. Idem pour les maquettes de bâtiments en architecture.

Deuxième explication au raliement de nombre d'industriels à la 3D : l'économie de matière. Les rebuts (copeaux, rognures, ébarbures...) produits par l'usinage peuvent en effet représenter jusqu'à 80 % de la matière utilisée. En ne la déposant que là où c'est nécessaire, la fabrication additive optimise de façon inédite le rapport poids-résistance des objets produits. Une capacité qui intéresse au plus haut point l'aéronautique, toujours à la recherche d'allègement. "Le gain peut atteindre 60 % pour des pièces telles que des charnières de capot moteur,

explique Jon Meyer. On évite aussi les déchets de métaux onéreux et difficiles à usiner, comme le titane ou les alliages de nickel." Un constat partagé par GE Aviation, coconcepteur de l'injecteur de carburant du futur moteur LEAP. Avec

L'INDUSTRIE S'OFFRE CE QUI ÉTAIT UNE CONTRADICTION : DU SUR-MESURE EN SÉRIE

l'impression 3D, la pièce (présente en 19 exemplaires dans chaque moteur) est 25 % plus légère, et sa longévité est plus de 5 fois supérieure.

Dernier atout : la capacité de l'impression 3D à fabriquer des produits sur mesure sans faire

exploser les coûts. Il suffit de modifier le fichier 3D sur ordinateur pour intégrer des spécifications. Des constructeurs automobiles haut de gamme comme Bentley réalisent des pièces personnalisées (tableau de bord, intérieur...) selon les *desiderata* de leurs clients fortunés. L'industrie s'offre ainsi ce qui était jusque-là une contradiction : du sur-mesure... en série !

Nul besoin d'être un VIP pour profiter de ce nouveau mode de conception des objets, au plus près des besoins de l'utilisateur. Ainsi, les prothésistes y ont de plus en plus souvent recours. L'idée ? Scanner la partie du corps où sera insérée la prothèse, dessiner un modèle numérique, puis l'envoyer à l'imprimante. Dès 1995, les prothésistes dentaires ont commencé à imprimer des prothèses en acier, puis en alliage chrome-cobalt, en titane et en céramique (zircone). Les fabricants de prothèses auditives, dont la forme doit être adaptée au conduit auditif du patient, →

Y. JANSSENS/BELCA MAG/AFP - V. LUKASOVA/CORBIS - GE GLOBAL RESEARCH - Y. PINGFAN/XINHUA/CORBIS

L'IMPRESSION 3D VA ENCORE INNOVER

Les premières machines se contentaient de fabriquer des objets en cire ou en résine plastique. Aujourd'hui, elles impriment céramique, alliages métalliques, cellules vivantes... Et demain, avec l'amélioration de la technologie et des logiciels, elles associeront même plusieurs matériaux.

"Nous espérons pouvoir imprimer simultanément métaux et polymères pour créer des circuits électriques directement dans la matière, en vue de simplifier l'intégration et l'assemblage", entrevoit Phil Dickens (université de Nottingham, Angleterre). Une piste suivie par Microsoft, qui a déposé l'été dernier un brevet de machine capable d'imprimer à la volée du plastique et des composants électroniques. Autre voie explorée actuellement : imprimer des matériaux à mémoire de forme.

→ ont eux aussi profité de l'opportunité : plus de 60 % de la production mondiale est aujourd'hui fabriquée de la sorte.

Ces premiers succès dans le monde médical ont rapidement ouvert la voie à la chirurgie. D'abord pour la fabrication de guides chirurgicaux, ces structures servant à assister le chirurgien pendant l'opération, par exemple pour l'aider à respecter la position et l'angle de perçage lors de la pose d'une vis. Depuis les années 2000, l'utilisation s'est étendue à la réalisation de tout type de prothèse personnalisée : implant cochléaire, lentille de contact, prothèse de genou ou de hanche, exosquelette... En 2012, la première mâchoire inférieure complète imprimée en titane poreux a été implantée sur une patiente de 83 ans. Début 2013, une équipe de l'université du Michigan (Etats-Unis) a fabriqué sur mesure, à partir d'un scanner, une attelle pour la trachée d'un bébé souffrant d'un affaissement des voies respiratoires. En octobre,

REPÈRE

L'impression 3D naît en **1986** : l'Américain Chuck Hull fait breveter un procédé consistant à déposer une fine épaisseur de résine polymère liquide, solidifiée couche par couche par rayonnement ultraviolet. Ce procédé (la stéréolithographie par photopolymérisation) en inspira de nombreux autres, comme le dépôt de fil plastique par extrusion ou encore la fusion et le frittage sélectifs par laser.



< SUR LES ENCRE...

Si l'"encre" plastique est la plus répandue, les imprimantes produisent désormais des pièces en métal, papier, céramique...

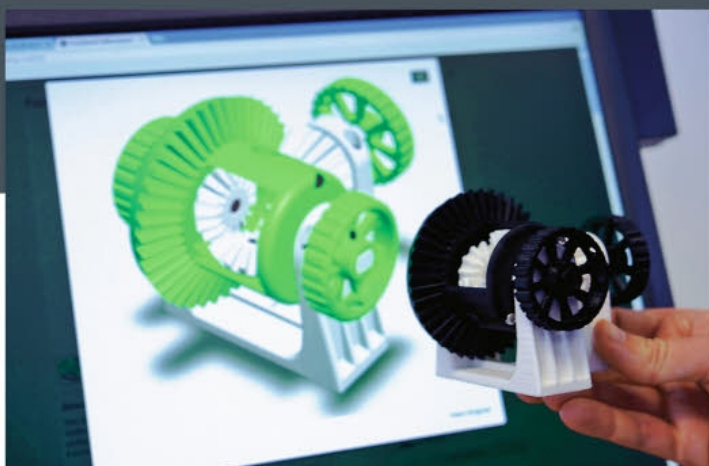
le premier larynx artificiel posé chez l'homme par une équipe des hôpitaux universitaires de Strasbourg avait, lui aussi, été imprimé en 3D...

DE L'ENCRE À BASE DE CELLULES VIVANTES

Encore plus fort : des chercheurs commencent à imprimer en 3D des supports (par exemple, une forme d'oreille en collagène) sur lesquels pourront croître des cellules épousant la forme imprimée. Et en février 2013, des médecins de l'université Cornell (New York) ont annoncé avoir imprimé un premier pavillon d'oreille fonctionnel ! En juin, ce sont des chercheurs du Massachusetts Institute of Technology qui ont mis au point un matériau comparable à de l'os humain. L'impression en 3D simultanée de deux polymères (l'un résistant, l'autre souple), selon une organisation spatiale calquée sur celle des os, a donné naissance à un échantillon de quelques centimètres aussi résistant que l'os humain, ouvrant

des perspectives inédites dans la chirurgie réparatrice.

Certains laboratoires essaient d'aller plus loin. Ils espèrent réussir à créer des organes en imprimant... des cellules vivantes. En particulier des cellules souches, capables de se transformer en tout type de cellule humaine. Mises en solution dans une "bio-encre", ces cellules sont placées dans une buse qui, comme dans une imprimante à jet d'encre, les éjecte sous forme de spray pour recréer le modèle voulu. Placées dans de bonnes conditions de croissance et de stimulation, elles se développeront pour former un rein, un foie, peut-être un jour un cœur. Du moins en théorie. Quelques laboratoires parviennent pour l'instant à fabriquer des fibres musculaires et des organes "simples" comme de la peau. Une start-up californienne, Organovo, crée des tissus vivants semblables, selon elle, à ceux du foie.



En 2011, l'équipe d'Anthony Atala, directeur du Wake Forest Institute pour la médecine régénérative (Etats-Unis), a annoncé avoir fabriqué un "prototype" de rein grâce à une technique d'impression 3D. Mais ce "fac-similé" n'est pas fonctionnel, car les chercheurs ne savent pas encore imprimer l'inextricable réseau de minuscules vaisseaux sanguins dont les organes ont besoin pour vivre et fonctionner. Les premiers organes fonctionnels imprimés en 3D sont espérés pour 2025.

Certes, malgré les extraordinaires progrès de ces dernières années, les fabricants ont encore du pain sur la planche. *"Les limitations actuelles restent la vitesse d'impression, la qualité de finition, le manque*

de standards et de méthodes de qualification des pièces imprimées, l'absence de méthode fiable pour prédire les déformations thermiques... Et, bien sûr, la limitation de taille des objets – 1 m pour les polymères, 40 cm pour le métal", note Prabhjot Singh. L'avenir de

PROTHÈSES, MUSCLES, PEAU... LA MÉDECINE AUSSI S'EST EMPARÉE DE L'IMPRESSION 3D

l'impression 3D n'en demeure pas moins assuré. Econolyst, société britannique de conseil dans le domaine de l'impression 3D, estime que le marché devrait atteindre 8 milliards de dollars à l'horizon 2020, contre 2,2 milliards en 2012.

< ... LES APPLICATIONS

Grâce à des encres faites de cellules vivantes, la recherche médicale progresse dans l'impression de tissus organiques.

✓ ... LES DIMENSIONS

Des pièces de grandes dimensions, dans des matériaux minéraux tels l'argile ou la céramique, peuvent aussi être fabriquées à l'aide d'imprimantes spéciales.



< ... LES LOGICIELS

Les logiciels de conception spécialement dédiés à l'impression 3D assistent les designers dans la réalisation de pièces de plus en plus résistantes, et aux finitions toujours plus travaillées.

Et le meilleur reste à venir. *"Il y a probablement des possibilités que nous ne soupçonnons pas encore, pronostique Jon Meyer. Plus les ingénieurs s'approprient ces techniques, plus ils auront d'idées sur la façon de les exploiter."* D'autant que des progrès ne manqueront pas de renforcer les "superpouvoirs" des imprimantes : une partie des brevets protégeant ces technologies tombera dans le domaine public cette année, ce qui permettra à tout fabricant de s'en emparer et de repousser leurs limites actuelles. Des évolutions sont également attendues dans les logiciels de conception 3D. *"Nous essayons de développer des programmes plus intuitifs et plus accessibles",* explique Didier Cocherel, directeur de la zone Europe chez l'éditeur américain de logiciels Autodesk. Reste aux ingénieurs et aux designers à apprendre à débrider leur créativité pour exploiter au mieux tout le potentiel, présent et à venir, de ces incroyables machines.

AFP - S. HUFFAKER/CORBIS - E. GARCIA/CORBIS - V. LUKASOVA/CORBIS



▲ Des sels de cobalt (en rose) et de cuivre (en bleu) réagissent dans une solution, déployant des formes d'une fascinante complexité : si ce n'est pas la vie, la réaction chimique à l'œuvre dans ces 45 minutes de film y ressemble étrangement.

ILS





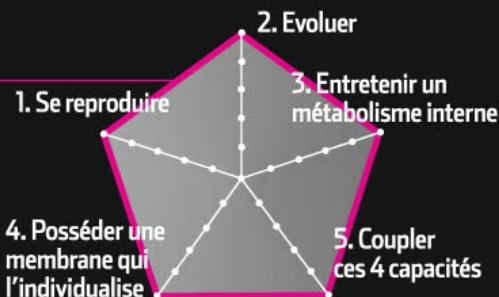
ONT CRÉÉ DES ÊTRES “PRESQUE VIVANTS”

Alors que les biologistes planchent toujours sur une définition de la vie, voici que des chimistes, des physiciens et des informaticiens créent à partir de rien des entités pas tout à fait vivantes, mais certainement pas inertes. De quoi s'agit-il alors? Plongée dans le monde des “presque vivants” qui, à lui seul, bouscule les frontières.

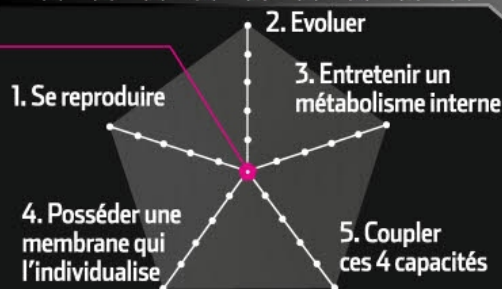
PAR EMILIE RAUSCHER

Etre vivant

Ce pentagone rose décrit un être vivant, c'est-à-dire un être capable de remplir ces 5 fonctions retenues pour qualifier la vie (même si elles ne suffisent pas, à elles seules, à la définir).

**Chose inerte**

Incapable de se reproduire, d'évoluer, de posséder un métabolisme, une membrane ni, a fortiori, de conjuguer ces 4 facteurs, un caillou, par exemple, ne remplit aucune partie du pentagone.



C urieusement, “ils” bougent. Se reproduisent. Mangent. Evoluent. Communiquent... La belle affaire, serait-on tenté de se dire. La première buse venue en fait autant. Mais qu’“eux” le fassent également stupéfie les chercheurs, malmènent les idées reçues. Parce que les promeneurs, les bavards et les gourmands dont il s’agit sont à la fois bien plus et bien moins que le commun des mortels. A vrai dire, ils ne sont même pas du tout vivants : ce sont des cristaux qui se sont autoassemblés, des programmes informatiques développés sur ordinateur, ou encore des ersatz archaïques de cellules nés sur des paillasses de laboratoire. Et pourtant, à leur façon, ces cobayes simplistes reproduisent une bonne partie de ce que nous faisons chaque jour. Ils posent ainsi, à leur insu, et pour le plus vif intérêt de ceux qui les créent et les manipulent, d’étranges questions sur ce qui sépare vraiment ce qui est vivant de ce qui ne l’est pas. Peut-être même vont-ils nous amener à changer ce que l’on croyait savoir de ce si abstrait et précieux concept, la vie – ne serait-ce qu’en commençant par montrer que, finalement, on n’en sait fichtre rien...

Aussi difficile que ce soit à admettre, ces résidus d’éprouvette ont en effet beaucoup à nous apprendre sur la vie. Un peu partout, des physiciens, des chimistes et des informaticiens se sont donc emparés expérimentalement de cette chasse gardée des biologistes. Ils n’essaient pas de recréer artificiellement ce que la nature a déjà

JARGON

Le biologiste Radu Popa a listé plus de **300 définitions de la vie**, dont aucune ne fait l’unanimité. Ainsi, pour la Nasa, “la vie est un système chimique auto-entretenu qui obéit à l’évolution darwinienne”. D’autres considèrent qu’un être vivant coche une liste de capacités (réplication, évolution...), quand le biologiste Tibor Gánti, inspirateur de nombreux travaux, estime, lui, que la vie est l’emboîtement de systèmes membranaire, informatif et métabolique.

fait : non, ils creusent ailleurs. Ces chercheurs développent des cristaux capables de se nourrir d’énergie pour bouger, changer de forme. Ils inventent de nouveaux types de cellules à partir de composants de base différents de ceux que la nature emploie partout. Ils élaborent des programmes informatiques qui apprennent tout seuls à se déplacer, évoluer dans leur monde virtuel, etc. Autant “d’organismes” qu’on ne peut pas dire vivants ; mais qui ne sont pas inertes non plus ! Qui sont-ils, alors ? Où les ranger ? En créant ainsi des organismes inédits à partir de rien, en choisissant d’oublier 3 milliards d’années d’évolution, ce sont les frontières du vivant que déplacent les chercheurs, dévoilant ce faisant une zone dont nul ne semblait se préoccuper et qui, coincée entre l’inerte et le vivant, n’avait jusqu’ici pas droit de cité : le monde inconnu des “presque vivants”...

UNE GIGANTESQUE “ZONE GRISE” INEXPLORÉE

Hérésie ? Evidemment, entre un caillou et un panda, on n’hésite pas pour dire ce qui est vivant et ce qui ne l’est pas. La chose n’est toutefois pas toujours aussi claire. Elle l’est même de moins en moins. “Dans la nature, on découvre de plus en plus d’entités qu’on ne sait pas où situer par rapport à cette barrière, constate Christophe Malaterre, philosophe des sciences spécialisé dans l’origine de la vie à l’université du Québec à Montréal (Canada). On a l’intuition qu’elles ne sont pas vivantes, alors qu’elles en ont pourtant

mais des organismes à mi-chemin entre les deux

A MI-CHEMIN
ENTRE LE VIVANT
ET L'INERTE, CES
"PRESQUE VIVANTS"
POSSÈDENT CERTAINES
FONCTIONS PHARES
DE LA VIE

Virus

Parfois inerte, parfois actif, il est doté de 4 capacités fondamentales : il se reproduit, évolue et possède une membrane qui l'individualise.

Prion

Cette protéine anormale est individualisée, elle se reproduit et évolue.

Pepsine

Cette protéine enzymatique digestive se reproduit (elle s'auto-catalyse) et entretient un métabolisme.

Ribozyme

Cet ARN est capable de catalyser des réactions, dont sa propre réplication. Il est individualisé, évolue et possède un métabolisme.

Liposome

C'est une vésicule individualisée dont la membrane est composée de lipides et qui se reproduit.

plusieurs capacités. Elles sont à la périphérie du vivant, et parfois avec un tel degré de complexité que cela interroge...

Les virus ont été les premiers à poser cette question : parfois inertes, parfois actifs, faut-il les greffer sur le grand arbre de la vie ? Le dilemme s'est accru avec la découverte des virus géants, il y a moins d'une dizaine d'années. Plus gros, dotés de plus de gènes que certaines bactéries et disposant de fonctionnalités qu'on jugeait propres au vivant, ils se sont instantanément

Pour appréhender l'ampleur de ce monde insoupçonné, il faut remonter près de 4 milliards d'années en arrière... aux origines de la vie. Impossible de savoir comment s'est déroulé ce "moment clé", mais une chose est sûre : ce ne fut justement pas "un moment" ! L'expression laisse en effet penser à un événement brutal, avec un jour des molécules inertes et, le lendemain, un organisme ayant franchi "le pas" : le premier être vivant, dont le destin serait de devenir l'ancêtre commun de tout ce qui peuple la planète... Dans

les faits, autant qu'on puisse en juger sans fossile ni preuve moléculaire, cette "apparition subite" s'est plutôt jouée sur plusieurs millions d'années,

IL FAUT RENONCER À L'IDÉE MÊME DE FRONTIÈRE ENTRE VIE ET NON-VIE

érigés en figures de proue des oubliés du club trop fermé de la vie. Et ils ne sont pas les seuls. Comment considérer les "prions", ces protéines anormales, capables de transmettre leur difformité de proche en proche aux protéines voisines ? Et que faire des ARN autorépliquants ou des protéines qui interagissent pour se répliquer entre elles ? Ces créatures ne présentent-elles pas des caractéristiques qu'on croyait propres à notre caste ? *"C'est comme s'il y avait une 'zone grise' formant une transition entre la non-vie et la vie, et non une frontière franche"*, pointe Christophe Malaterre. Une "zone grise" naturelle aussi gigantesque qu'inexplorée, où coexisteraient des légions de "presque vivants" d'une diversité encore inimaginable.

avec le franchissement désordonné d'une foultitude de paliers évolutifs. *"La vie est le résultat d'une succession de systèmes organiques pas encore vraiment vivants... mais plus vraiment non-vivants non plus"*, précise Christophe Malaterre.

Au fil des changements dans leur environnement, des systèmes organiques pas encore "vraiment" vivants ont ainsi développé, chacun de leur côté, des aptitudes caractéristiques du vivant "classique" (grandir, se nourrir, se diviser...), jusqu'à la dynamique de l'évolution naturelle, qui ne serait plus l'apanage de la biologie : *"L'évolution darwinienne pourrait n'être qu'un cas particulier de ce qui s'observe déjà dans les systèmes physico-chimiques : chacun à son niveau et à sa façon se réplique, →*

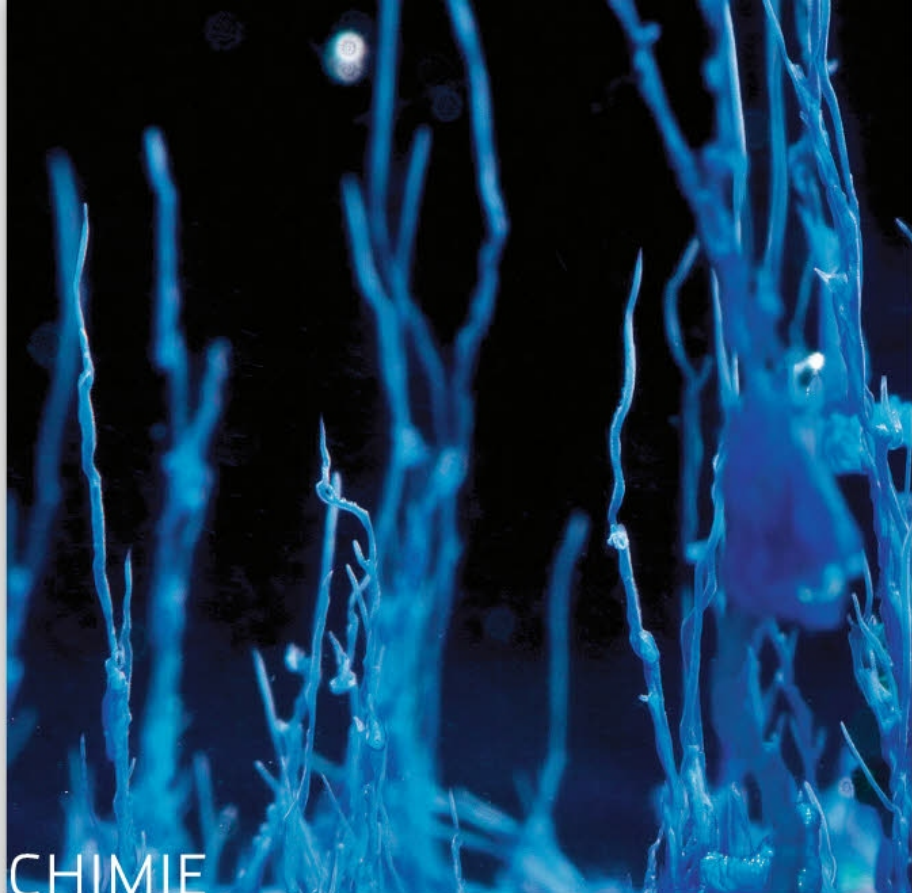
→ *mute, sélectionne...*, souligne Addy Pross, chimiste à l'université Ben-Gourion (Israël). *Cela suggère qu'évolutions chimique et biologique sont un même processus continu.* Toutes ces petites choses primitives se sont ensuite croisées, partageant les mécanismes acquis et contribuant à l'apparition d'entités toujours moins inertes et toujours plus vivantes. Ces primitifs "presque vivants" ont donc joué un rôle clé dans l'apparition de la vie: ils étaient là en premier!

UNE INCROYABLE VARIÉTÉ DE CRÉATURES

Mais alors, où placer une barrière dans ce grand continuum où chacun finit par devoir quelque chose à tout le monde? *"Il est tentant de tirer la ligne qui sépare vivants et non-vivants, constate le prix Nobel de physiologie Jack Szostak. Mais elle sera forcément arbitraire."* Personne ne place le curseur au même endroit... Plonger dans le monde des "presque vivants" permet de changer de perspective et de se dire que la question est peut-être mal posée: plutôt que de chercher à tracer une ligne, ne vaudrait-il pas mieux oublier, tout simplement, l'idée d'une frontière stricte?

On l'a vu, bien des facultés longtemps perçues comme emblématiques de la vie sont en fait apparues avant elle, inventées par l'un ou l'autre ancêtre de l'ancêtre commun du vivant. Toutes ensemble, ces créatures d'avant la vie dessinent une vaste zone où se glissent tous les inclasables d'aujourd'hui: virus, prions, etc. Aussi différents soient-ils, ils sont réunis par le fait de posséder une ou plusieurs capacités phares de la vie. Christophe Malaterre en a retenu cinq: réplication, variation, métabolisme, isolement de son environnement ainsi que le couplage des quatre. Toute chose, vivante ou non, peut alors être représentée dans une sorte de pentagone à partir de ses performances pour ces cinq caractéristiques. Un humain ou une bactérie rempliront ainsi fièrement leur pentagone. Quand un caillou se réduira à une figure écrasée sur elle-même: un simple point. Entre les deux apparaîtra toute la variété des presque vivants aux "signatures de vie" protéiformes. Des presque vivants qui détiennent des réponses aux grandes questions sur la vie, son origine et son évolution.

A travers une incroyable variété d'expériences, ce sont ces questions que posent les étranges entités qui apparaissent aujourd'hui dans les laboratoires. D'où l'intérêt de regarder ces cristaux ou ces amas de pixels presque en train de naître. Ou plutôt en train de "presque naître". ■



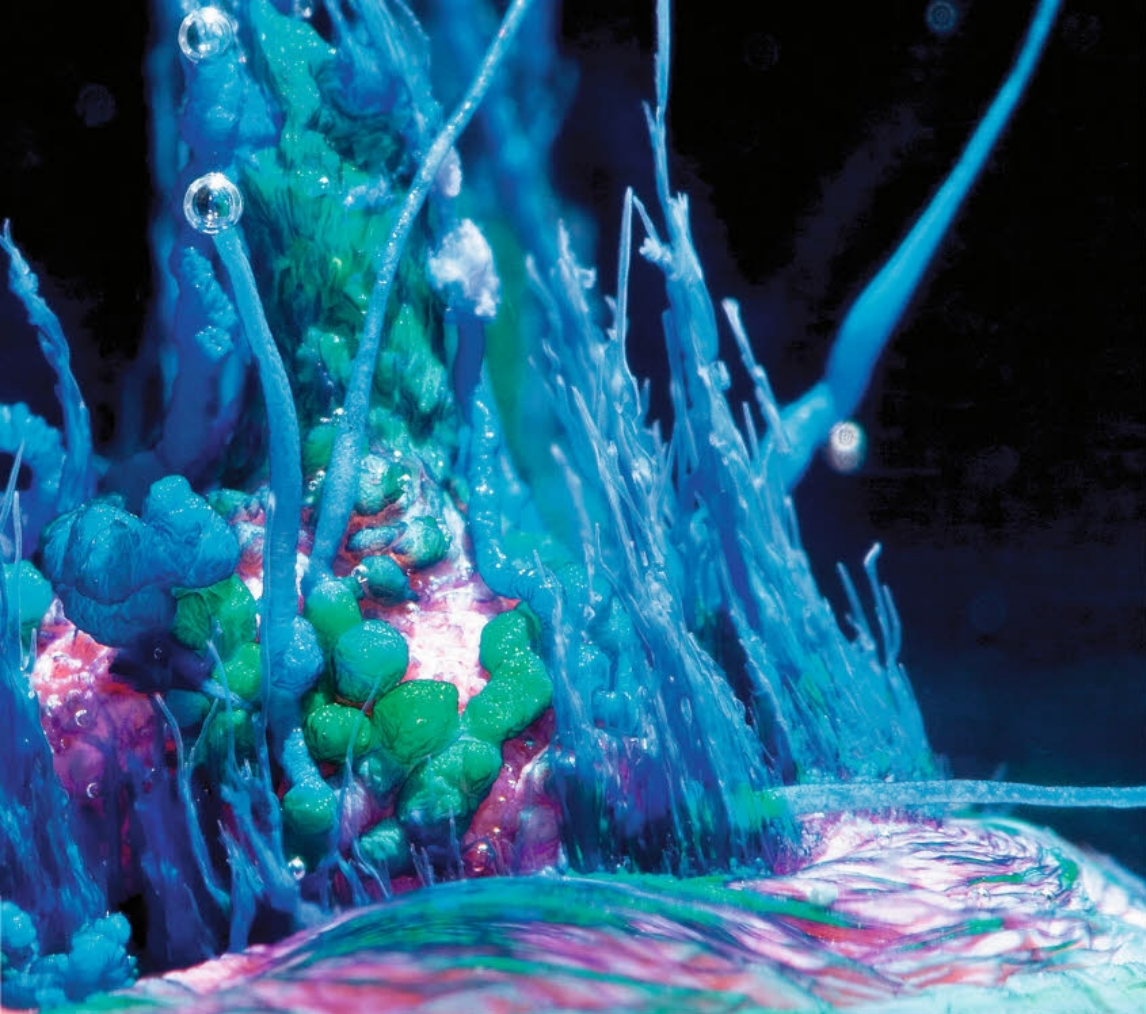
CHIMIE

DES CRISTAUX RECRÉENT LE MOUVEMENT DE LA VIE

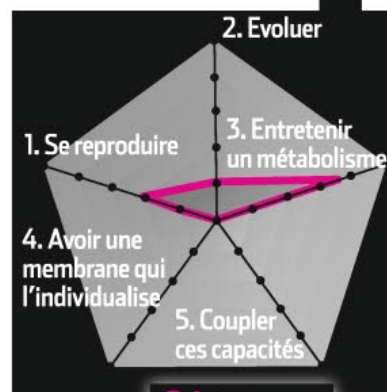
Un paysage de structures torturées aux couleurs chatoyantes, de grosses cellules semi-transparentes, des formes douces qui s'entrecroisent subtilement... ou une plaine grise sur laquelle de petites particules, profitant de la lumière bleue, se regroupent en hâte et se déplacent en un cortège bien organisé. On voudrait y voir des coraux, d'hallucinants champignons, des colonies de bactéries, tant tout ceci est complexe et réagit finement à l'environnement. En réalité, rien n'est vivant – en tout cas, pas à cent pour cent! Mais l'erreur est compréhensible: bien des scientifiques s'y sont d'ailleurs laissé prendre tant l'imitation est troublante.

Il y a un siècle, Stéphane Leduc, de l'Ecole de médecine de Nantes, fut ainsi bluffé par les formes étonnantes qu'il

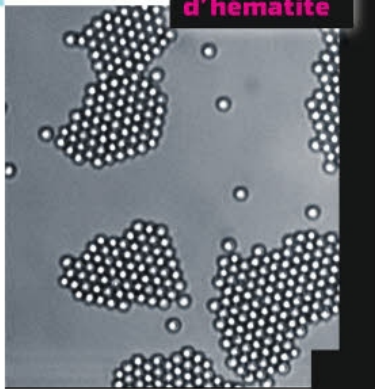
créait au gré de ses expériences. L'objectif de ce médecin fasciné par le mystère de l'apparition de la vie? Rejouer dans ses éprouvettes les premiers pas de la vie par la chimie. Expérimentateur virtuose, il mêlait des sels métalliques (fer, cobalt, cuivre...) dans des solutions et observait avec intérêt les "jardins" que les miracles de la chimie y faisaient naître. Entre 1905 et 1913, leur succès fut international tant les "rameaux bourgeonnants", les "algues" et autres "amibes" qui apparaissaient semblaient réels, "vivants"... Puis l'engouement passa, on comprit qu'il n'y avait rien de vivant dans ces forêts minérales et on en vint à les regarder d'un peu haut, oubliant, comme le rappela, en 2004, la philosophe des sciences américaine Evelyn



Miracle de la chimie : en 1913, les jardins créés par un médecin nantais grâce à des sels métalliques plongés dans une solution imitaient déjà la vie (à g.). Un siècle plus tard, Paul Chaikin (université de New York) plonge, lui, des billes d'hématite (en bas) dans de l'eau oxygénée. Et découvre que, placées à la lumière, elles se déplacent, se reproduisent et forment des cristaux, développant des métabolismes (graphique) !



Cristaux d'hématite



Fox Keller que ces modèles *“démontraient que des formes complexes pouvaient être engendrées par des processus chimiques et physiques bien identifiés”*. Pas de souffle vital dans ces concrétions, mais de simples phénomènes de précipitation, d'osmose...

Ici, rien de biologique...

Jusqu'où de tels phénomènes physico-chimiques peuvent-ils reproduire des comportements vivants ? C'est la question que se posent toujours les chercheurs, et qu'explore Paul Chaikin, au département de physique de l'université de New York, où travaille également Jérémie Palacci. Leur publication, en février 2013 dans *Science*, a fait beaucoup de bruit. Et pour cause : elle mettait en scène des cristaux... *“vivants”* ! Ils se déplaçaient,

s'assemblaient, se divisaient... *“Evidemment, le terme est un peu provocateur car ils ne le sont pas, sourit le jeune physicien. Mais quand on les regarde, on a cette impression de vie... Si on ne dit pas à quoi on a affaire, impossible de le deviner.”*

Ces cristaux résultent du regroupement de particules de 2 µm, elles-mêmes simples cubes d'hématite enrobés de polymère placés dans une solution d'eau oxygénée. Rien de très biologique, donc. La surprise vint en plaçant une de ces petites billes sous de la lumière bleue : elle s'est déplacée, seule, en se *“nourrissant”* de l'énergie libérée par la dégradation de l'eau oxygénée. *“On a réessayé avec plus de particules, se rappelle Jérémie Palacci. Quand on a allumé, elles ont tout de suite formé des cristaux. Quand on a*

éteint, tout s'est arrêté. On n'avait aucune idée de ce qu'il s'était passé, mais on savait qu'on avait mis le doigt sur quelque chose... On a mis un an à comprendre quoi.”

Là encore, des *“presque vivants”* aux impressionnants jeux de gradients de concentration, de charges, d'osmose venant titiller la vie sur son terrain : physique et chimie pures suffisent en effet à recréer à la fois du mouvement, un semblant de métabolisme avec l'utilisation de l'énergie ambiante par les particules ; sans compter que les cristaux formés sont capables de *“s'autoréparer”* en cas de collision, ou de *“cicatriser”* pour retrouver une forme parfaite. Et les chercheurs ne comptent pas s'arrêter là. Paul Chaikin développe actuellement des cristaux doués

d'autoréplication... *“La grande question est : jusqu'à quel point peut-on concurrencer la biologie ?”, pointe Jérémie Palacci. Physique et chimie peuvent apporter beaucoup, par exemple en permettant de mesurer et de distinguer ce qui est ‘actif’ de ce qui est ‘vivant’ – et ainsi mieux cerner le moment où, dans un système jusque-là simplement actif, il se passe le truc en plus qui pourrait être au cœur de ce qui fait la vie...”*



BIOLOGIE

**DES PROTOCELLULES TUTOIENT
LES ORIGINES DU VIVANT**

Il faut un microscope pour voir ces curieuses vésicules arrondies, parfois vides, parfois non, en suspension dans l'eau. Dans la course que se livrent des dizaines de grands laboratoires, d'Harvard à l'Institut de Santa Fe (Etats-Unis), pour créer le premier système vivant minimal, elles sont le Graal des biologistes : des entités plus simples et plus primitives que les cellules actuelles, des "protocellules" en somme... une "presque vie" à la fois semblable et différente de la nôtre. Pour réussir, les chercheurs expérimentent différentes

molécules capables de former une membrane (comme des acides gras se regroupant d'eux-mêmes dans l'eau) et de porter une information (par exemple, un acide nucléique). Objectif : obtenir un système qui ne soit ni hermétique ni inerte... Or, malgré les efforts, la protocellule parfaite n'a pas encore été réalisée, qui serait capable de se maintenir et de se répliquer seule, de muter pour peu à peu donner une autre vie.

Née dans les années 1980, la discipline est encore jeune. Elle pourrait pourtant bientôt toucher

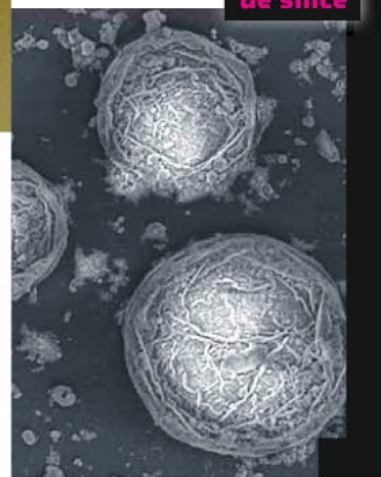
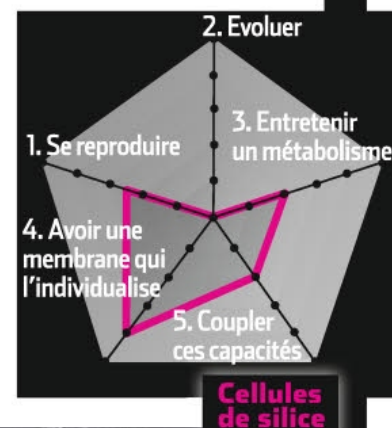
au but grâce à la détermination et à l'imagination des chercheurs. Ainsi, le biologiste Jack Szostak, de l'université Harvard, se fixe depuis une dizaine d'années un objectif pour le moins ambitieux : *"Je veux définir si un ou plusieurs chemins peuvent mener de la simple chimie aux éléments constitutifs de la vie, jusqu'à la formation de cellules primitives."* Avec un même jeu de molécules organiques de base, la vie aurait-elle pu naître sous une forme légèrement différente ? Cette transition de la matière inerte au vivant

peut-elle être rejouée autrement de nos jours ?

Le chercheur, prix Nobel de physiologie en 2009 pour de précédents travaux sur les chromosomes, en est convaincu après seulement huit années passées à explorer les possibilités de ses vésicules d'acides gras garnies d'ARN. A chacune de ses publications, il dote ses vésicules de nouvelles capacités et se rapproche de "la" protocellule... En 2005, il prouve que la simple présence d'ARN favorise la croissance de la membrane qui l'entoure par la pression interne qu'il génère.



Depuis les années 1980, les biologistes tentent en vain de créer un système vivant minimal *via* des vésicules d'acides gras garnies d'ARN en suspension dans l'eau (à g.). Les nanotechnologies viennent aujourd'hui à leur secours. Stephen Mann (université de Bristol) a en effet eu l'idée d'enfermer des molécules organiques dans une membrane en silice (en bas)... Donnant "naissance" à des protocellules capables de se reproduire et d'échanger avec l'extérieur (graphique)!



Pour se détendre, la membrane attire les acides gras alentour : se crée ainsi naturellement une compétition entre vésicules, celles possédant un ARN interne et les autres, pour grandir plus vite. En 2009, il montre qu'arrivée à une certaine taille, une vésicule se scinde d'elle-même ! Elle s'étire en filaments qui finissent, fragilisés, par se séparer pour des raisons purement mécaniques : le volume interne ne grossissant pas aussi vite que la membrane. En novembre 2013, "pour la première fois, nous avons permis la copie de l'ARN à l'intérieur de nos vésicules !, s'enthousiasme le biologiste. C'est

un grand pas, parce qu'il nous permet enfin d'étudier et d'améliorer ce processus de réplication de l'information..."

Un jeu de construction

Croissance, division, reproduction... Autant de fonctions incontournables acquises une par une par ces protocellules en devenir. Pour les chercheurs qui, comme Jack Szostak, s'intéressent à l'origine de la vie, chaque avancée éclaire ce qui a pu se produire il y a plus de 4 milliards d'années sur notre Terre... ou ce qui pourrait se produire ailleurs. La biologie est pour eux un jeu de construction inter-actif géant, dont les mêmes

pièces doivent permettre de parvenir, de plusieurs façons différentes, à un même résultat : la vie.

Des laboratoires poussent l'idée encore plus loin ! Pourquoi se limiter aux molécules organiques ? Le chimiste Stephen Mann, de l'université de Bristol, est fasciné par les propriétés des nanoparticules de silice, et c'est elles qu'il utilise pour les membranes de ses vésicules : "Nous avons ainsi pu créer des protocellules artificielles, mêlant composés organiques (ADN, ARN pour l'information) et inorganiques (silice). Leur potentiel est considérable...", souligne le chimiste. Qui a déjà montré

qu'elles peuvent abriter des réactions biologiques complexes, autoriser les échanges intérieur/extérieur... En biologie synthétique, en nanotechnologie, ce sont autant de pas vers l'élaboration de matériaux "intelligents", "vivants" – qui interrogent aussi sur la capacité de la vie à émerger, peut-être, à partir de tout.

INFORMATIQUE

DÈS PROGRAMMES REINVENTENT L'ÉVOLUTION

Difficile d'être subjugué par un agglomérat de barres multicolores sur un écran d'ordinateur... Et pourtant, dans les années 1990, ce patchwork baptisé "Tierra" a stupéfié les scientifiques, des biologistes aux informaticiens. Derrière cette expérience, un homme: Thomas Ray. Spécialiste d'écologie tropicale, il a créé une *terra incognita* virtuelle où chaque barre est un "tierran", c'est-à-dire un "organisme digital" sous la forme d'un petit programme de 80 lignes de code, capable uniquement de se répliquer et de muter de façon aléatoire. "Les tierrans sont soumis à la 'physique et à la chimie' qui gouvernent les bits de la mémoire et les bytes de l'unité centrale de l'ordinateur, expliquait

Thomas Ray. *La logique et les règles du système d'exploitation sont comme des 'lois naturelles' qui dictent leurs comportements.*" A la clé? Un monde qui évolue seul, si radicalement nouveau que le chercheur mit deux ans à le comprendre. "J'étais de retour dans la jungle, note-t-il, une jungle digitale. Une incroyable ménagerie s'y révélait sous l'effet de l'évolution..." Les tierrans développèrent peu à peu des comportements et des tactiques analogues à ceux que l'on trouve dans le monde vivant... La "vie" et la "mort" de populations numériques se jouaient à l'écran! Thomas Ray avait créé de placides organismes digitaux (en rouge); des parasites (en jaune) apparurent, qui dé-

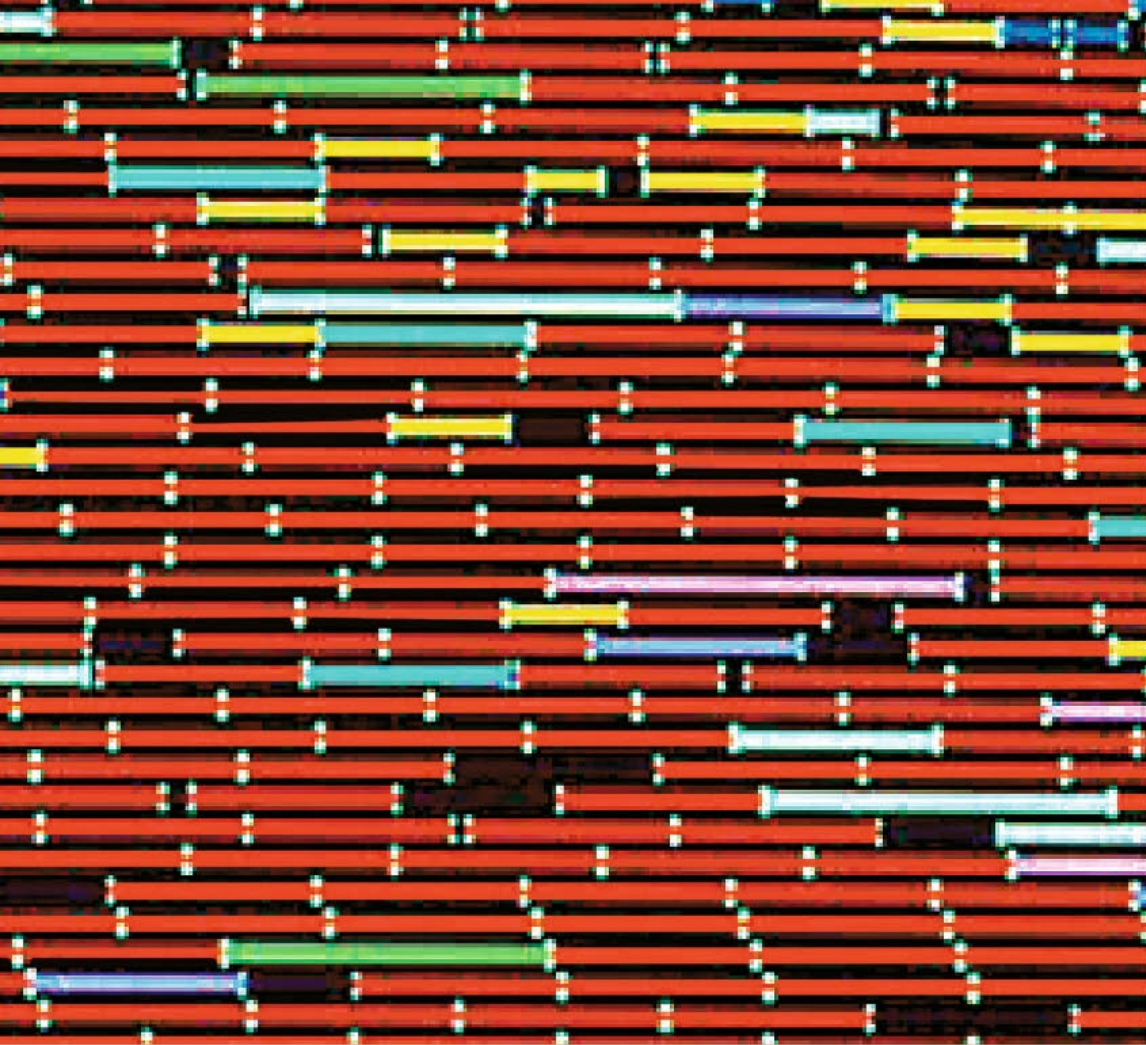
tournaient leur séquence de réplication à leur profit. Puis des hôtes développèrent une immunité (en bleu), à son tour contournée par les parasites. Certains hôtes sont ensuite devenus des hyperparasites, capables d'utiliser les parasites pour leur propre réplication. Ils devinrent les maîtres de Tierra. Seuls au monde, ils se mirent alors à coopérer, tentèrent une forme archaïque de sexe...

Une complexité inédite

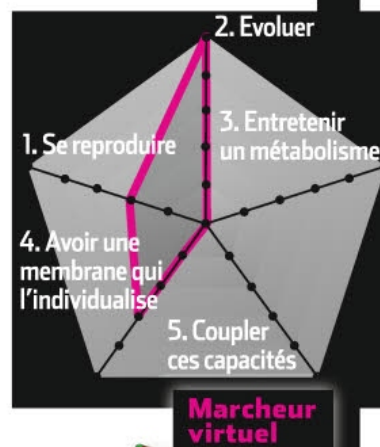
Ces travaux, publiés en 1993 sous le titre "Comment j'ai créé la vie dans un univers virtuel", se plaçaient dans la droite ligne des propos de Christopher Langton, un jeune informaticien qui annonçait en 1986: "Le but ul-

time de la vie artificielle sera de créer la 'vie' dans un autre support, idéalement un virtuel où l'essence de la vie a été débarrassée des détails de sa mise en œuvre. Nous aimerions construire des modèles qui soient si semblables au vivant qu'ils cesseraient d'être des simulations de la vie pour en devenir des exemples..." Ce fut l'acte de naissance de la vie artificielle comme discipline scientifique. Et la barre était placée très haut. Trop?

Malgré son intérêt, Tierra fut abandonnée faute de pouvoir s'agrandir; d'autres travaux prometteurs, comme les automates cellulaires, trouvèrent ensuite leurs limites. Mais loin de mourir, la vie artificielle entama une mue, essaimant en chimie, neurologie et biologie molé-

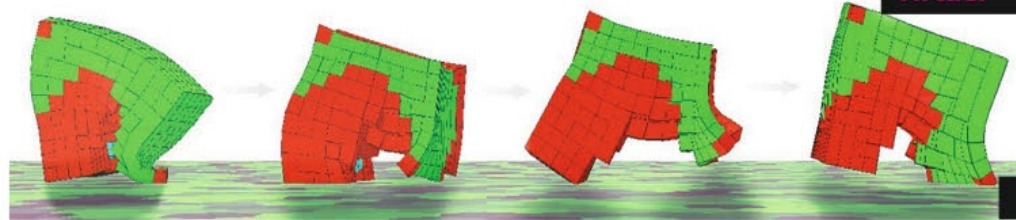


En 1993, Thomas Ray a créé une *terra incognita* virtuelle (à g.) peuplée de petits programmes capables de se répliquer et de muter. Vingt ans plus tard, le roboticien Hod Lipson (Cornell University) demande, lui, à ses créatures de pixels (en bas) de se déplacer entre deux points. Pour ce faire, elles inventent toute une série de comportements et de morphologies... Révélant une capacité d'évolution dont seule la vie avait su faire preuve jusqu'ici (graphique).



culaire, où ses concepts devinrent des outils incontournables pour modéliser le vivant, étudier expérimentalement les effets de l'évolution... Elle s'imposa dans la compréhension de la vie biologique et de ses fonctions, tout en butant depuis vingt ans sur l'infinie complexité des formes et des comportements du vivant.

Une limite bientôt franchie ? C'est ce qu'espère l'équipe de Hod Lipson, du Creative Machine Lab de la Cornell University (New York). Ce roboticien développe des créatures digitales constituées de pixels de couleur simulant des matériaux plus ou moins durs (os ou muscles numériques). Son but ? Voir ce qu'elles peuvent "inventer" en jouant sur leur composition en pixels afin de



remplir un objectif unique : se déplacer d'un point A vers un point B pour survivre. Idée simple, et résultats bluffants ! Ses créatures sont en effet capables de s'adapter aux changements de leur environnement, de développer divers comportements et morphologies. Pour se déplacer, elles ont ainsi inventé plus d'une dizaine de techniques, parfois déjà connues, parfois radicalement innovantes : marche, reptation, saut, utilisation de béquilles ou de trompe... Une complexité inédite que seul le vivant avait jusqu'ici su géné-

rer. *"Elles ont évolué de façon si inattendue et diversifiée que nous avons été stupéfaits,"* résume Nicholas Cheney, qui a mené cette expérience publiée en août 2013. *"Nous ne savons pas jusqu'où ça peut aller. Selon moi, aussi loin que l'évolution biologique, et devenir un processus sans fin..."*

Evolution, réplication, locomotion, mémorisation, communication... Autant de fonctions emblématiques du vivant revisitées in silico, que la vie artificielle, à sa façon, devient capable de recréer. Entrer dans le détail de ces

fonctions clés, c'est autant de pas vers leur compréhension, l'appréhension de leurs limites et de leur importance dans la définition du vivant. Une définition qui n'est certes pas fixée, mais dont la liste de ses fonctions reste la meilleure approximation. *"La vie artificielle pousse cette logique à l'extrême : les matériaux ont disparu, ne restent que les fonctions..."*, constate le bio-informaticien Hugues Bersini. Quand des programmes se les seront toutes appropriées, quelle différence subsistera-t-il entre l'artificiel et le naturel ?

ALERTE AUX DÉCHETS !

L'image est saisissante. Si on empilait tous les déchets ménagers produits cette année et stockés dans les décharges du monde entier, ils formeraient une montagne haute de... 850 m. Et si rien n'est fait, celle-ci atteindra l'altitude du glacier du mont Blanc en 2100 ! Une façon de donner l'alerte.

PAR LAURENT BRASIER

La plupart du temps, nous préférons ne rien voir. Mais une grève inopinée des services municipaux suffit à les rappeler à notre bon souvenir : voici qu'elles s'entassent dans les rues et débordent des bennes à une vitesse affolante. "Elles", ce sont nos ordures. Qui échouent d'ordinaire dans des décharges reléguées à l'écart des villes, où le "sale boulot" est exécuté à l'abri des regards. Papiers gras, résidus végétaux, emballages plastiques, papier, carton, électroménager, verre...

Tout finit par être déversé, puis stocké, quelque part. Dans des lieux sans retour, des *no man's lands* qui échappent le plus souvent à l'attention de ceux qui les alimentent – et où trouvent cependant de quoi subsister les plus pauvres, tout un "peuple des ordures", que ce soit aux portes de Paris ou de Caracas.

Or, les experts n'hésitent plus à donner l'alerte : nos déchets se sont accumulés au point de former de véritables montagnes. Une image saisissante, qu'il s'agit de prendre au pied de la lettre à l'échelle de la planète.

Qu'on en juge. Chaque jour, la décharge de Sudokwon, à Séoul, grossit de 18 000 tonnes ; celle de Puente Hills, à Los Angeles, de 10 900 tonnes ; celle d'Olusosun, à Lagos, de 9 000 tonnes...

5 000 KM DE CAMIONS-POUBELLES PAR JOUR

Prise isolément, chacune de ces décharges représente chaque année un monceau d'ordures de plusieurs dizaines de mètres de hauteur. Mais qu'on les empile les uns au-dessus des autres, et le monticule tutoie alors



1240 m en 2100

1012 m en 2025

846 m : telle est la hauteur de toutes les ordures ménagères produites cette année et stockées dans les décharges

les 850 m de l'imposant plateau des Dômes, dans le Massif central. Et s'il continue de grandir à ce rythme, il devrait atteindre 1300 m par an (l'altitude de la langue terminale du glacier du mont Blanc) à la fin du siècle, selon les projections d'une étude récemment publiée dans la revue *Nature*.

Difficile à croire? Pour s'en convaincre, rien n'est plus éloquent que la traduction, en image, de cette métaphore (voir l'infographie). Les statistiques globales de production des déchets prennent alors

toute leur dimension. Dans le détail, l'ensemble des villes de la planète produit déjà, chaque année, 1,3 milliard de tonnes de déchets solides municipaux (DSM, voir "Jargon"). Et elles en généreront 2 milliards d'ici à 2025. De quoi remplir une file de 5000 km de camions-poubelles par jour – la distance, par route, entre Paris et Bagdad! Pis, la tendance ne s'inversera pas avant 2100... Les DSM représenteront alors 11 millions de tonnes par jour dans le monde, soit trois fois plus qu'aujourd'hui. →

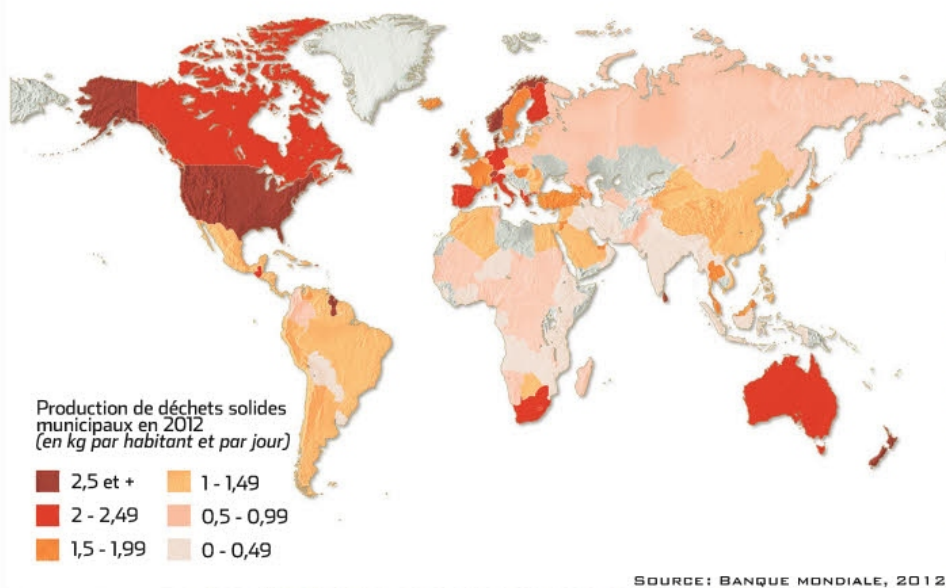
ANYFORM DESIGN

→ Et le phénomène semble difficile à enrayer. Logique: il se nourrit de l'urbanisation et de la croissance économique mondiale. C'est qu'à revenu égal, un citoyen génère deux fois plus de déchets qu'un rural. Les pays les plus nantis en produisent également beaucoup plus (2,13 kg par habitant et par jour, contre 0,6 dans les régions les plus démunies). La collecte des déchets y est plus systématique: 98 % des ordures urbaines sont récupérées dans les 34 pays de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE), contre 46 % en Afrique. Plus la richesse par habitant augmente, donc, plus le tas d'ordure s'élève. Autre conséquence: les déchets sont de plus en plus complexes, chargés en emballages (carton, plastique, verre) et en produits sophistiqués, plus volumineux et non biodégradables. Et les filières de réduction de volume des déchets ont un coût que les pays pauvres ou en développement ne peuvent se permettre. En Afrique, c'est toujours le simple empilement qui domine.

UN PIC A DÉJÀ ÉTÉ ATTEINT

Bien que sensibilisées à la réduction des déchets et au recyclage, nos sociétés ne sont pas épargnées. Dans les pays de l'OCDE, 40 % des ordures finissent encore à la décharge (le reste étant brûlé, recyclé ou traité autrement). *“Dans ces pays, avec 2,2 kg de déchets par habitant et par jour, la production a atteint un pic. Mais la population urbaine continue de croître...”*, expose Daniel Hoornweg, de l'Institut universitaire de technologie de l'Ontario (Canada), premier auteur de l'étude publiée dans *Nature*. Conséquence: la production de déchets de l'OCDE

Les pays développés sont les premiers générateurs de déchets



(44 % du volume mondial) ne s'infléchira qu'en 2050.

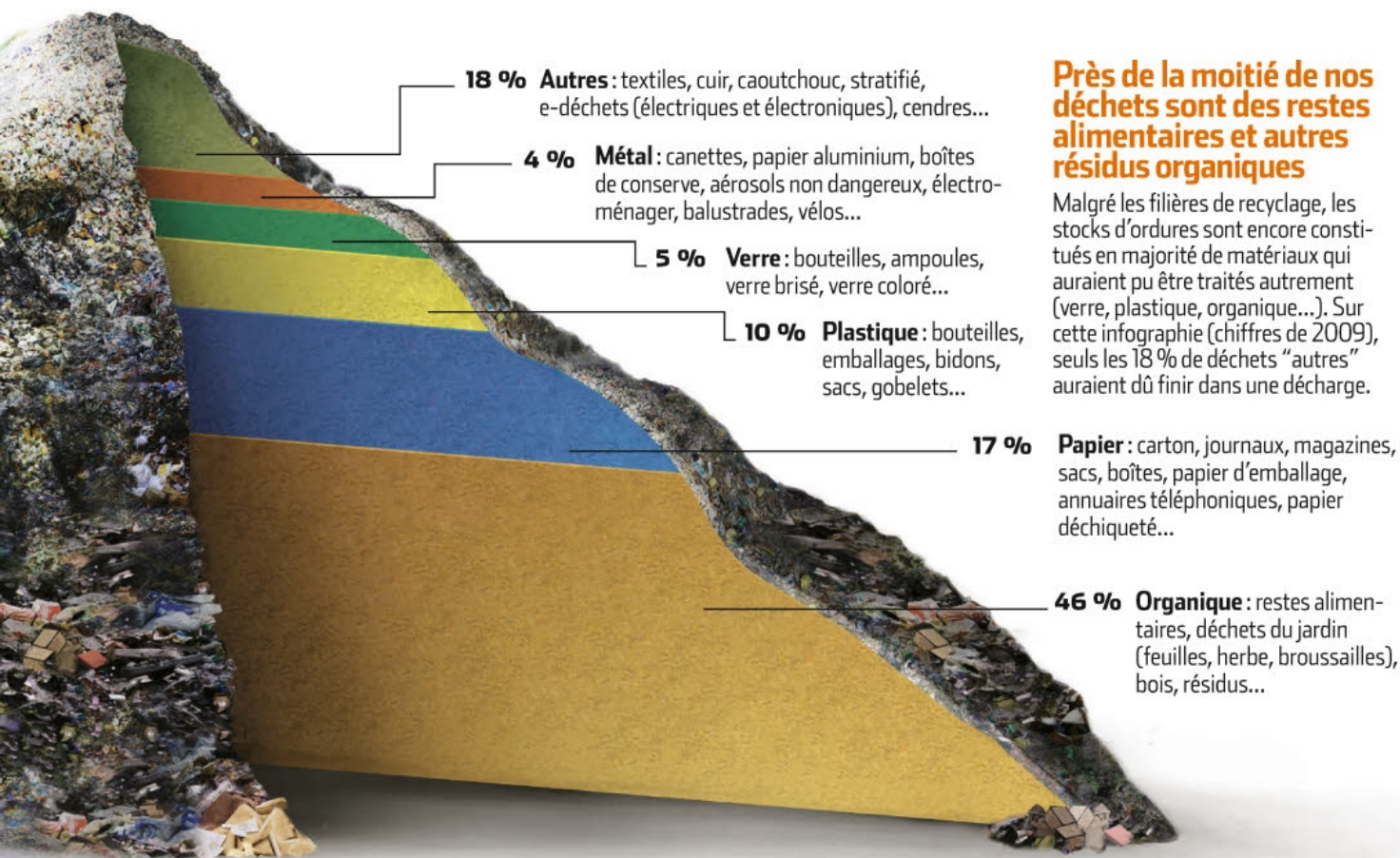
Mais les véritables enjeux se situent ailleurs. Notamment en Asie de l'Est, et tout particulièrement en Chine, où la quantité de DSM va tripler d'ici à 2025, jusqu'à atteindre 1,4 million de tonnes par jour (contre 520 550 tonnes en 2005). Mais aussi en Asie du Sud, principalement en Inde. Et, demain, en Afrique subsaharienne, objet de toutes les inquiétudes.

LA VAGUE D'URBANISATION EN AFRIQUE RISQUE D'INONDER LA PLANÈTE DE DÉCHETS...

“Ce sera la dernière grande vague d'urbanisation, explique Daniel Hoornweg. Elle débutera autour de 2040, et pourrait tous nous pousser vers le développement durable... ou, au contraire, inonder la planète de déchets.”

Or, si l'élévation ininterrompue du sommet de notre montagne d'ordures alerte, c'est qu'elle engendre des risques sanitaires et environnementaux, liés notamment au ruissellement des eaux de pluie ou à la libération dans l'atmosphère de polluants et de particules nocives lors des incendies dans les décharges. A cela s'ajoute une charge financière difficilement supportable – déjà 20 % du budget de Douala et Yaoundé au Cameroun, par exemple. Les déchets jouent aussi un rôle dans le réchauffement climatique, en libérant du méthane. Ils seraient responsables de 5 % des émissions de gaz à effet de serre liées à l'homme, selon un rapport de la Banque mondiale de 2012.

Dans le scénario le plus pessimiste, la Terre comptera 13,5 milliards d'habitants en 2100 et les DSM continueront de croître en flèche. *“Cela*



Près de la moitié de nos déchets sont des restes alimentaires et autres résidus organiques

Malgré les filières de recyclage, les stocks d'ordures sont encore constitués en majorité de matériaux qui auraient pu être traités autrement (verre, plastique, organique...). Sur cette infographie (chiffres de 2009), seuls les 18 % de déchets "autres" auraient dû finir dans une décharge.

se traduira par un surcoût environnemental et financier de 35 % à l'échelle de la planète", avertit Daniel Hoornweg. Une situation insupportable pour les pays en développement. Il existe cependant une prévision plus optimiste, dans laquelle le pic dans la production de déchets surviendrait plus tôt, en 2075, avant une réduction progressive. Les prérequis sont toutefois nombreux: "Des villes mieux construites et mieux gérées, principalement en Afrique; plus d'équité dans l'accès aux ressources; des efforts en matière de santé et d'éducation; des populations démographiquement stables ou en déclin", résume le chercheur canadien. Pas impossible, mais improbable...

Faut-il alors baisser les bras? Dans l'absolu, non. La solution du casse-tête est connue, c'est un carré magique de "R": réduire (cette pratique étant

JARGON

Les déchets solides municipaux (DSM)

regroupent toutes les ordures collectées et traitées par les municipalités, qu'elles proviennent des ménages, du commerce, de l'artisanat, des bureaux, des établissements publics ou des espaces verts. Ils représentent près de la moitié du volume mondial, à côté des déchets industriels, miniers, agricoles, hospitaliers...

celle à privilégier), réutiliser, recycler et récupérer. Certaines grandes villes montrent l'exemple: aux Etats-Unis, San Francisco affiche un objectif "zéro déchet" pour 2020, via la réduction et le recyclage; au Japon, Kawasaki a diminué de 565 000 tonnes sa production annuelle de déchets en provenance des industries (dont une partie entre dans les DSM).

UNE APPROCHE À REPENSER

Ces politiques volontaristes restent toutefois difficilement accessibles aux pays en développement. En cause: l'environnement économique et politique, qui peut faire échouer les initiatives des bailleurs de fonds. En outre, "les multinationales spécialisées dans le traitement des déchets offrent des services beaucoup trop chers et des technologies inadaptées", relève Christel Bourbon-Séclet, chargée

d'affaires chez Proparco, filiale de l'Agence française pour le développement. Pour Sabine Barles, professeur en aménagement de l'espace et urbanisme à l'université Paris-I, c'est toute la philosophie des solutions actuelles qui est à revoir: "Ce que proposent la Banque mondiale ou les grands opérateurs de réseaux – essentiellement des incinérateurs – relève du métabolisme linéaire des villes. A savoir, des ressources ponctionnées, puis restituées sous forme de déchets. L'enjeu, c'est d'aller vers un métabolisme circulaire, où les rejets sont sans cesse réutilisés à l'échelle de la ville." Daniel Hoornweg plaide lui aussi pour cette approche. Une réflexion ambitieuse, qui doit, selon les chercheurs, être entreprise au plus vite à l'heure d'affronter la montagne de déchets engendrée par nos modes de vie.


CHATS, CHIENS,
CHEVAUX, VACHES...

L'INCROYABLE RETOUR À LA VIE SAUVAGE

Chaque année, des centaines de milliers d'animaux domestiques s'échappent dans la nature pour retourner à l'état sauvage. Un "ensauvagement" massif, au cours duquel des chats, des chiens, des chevaux et même des vaches voient leurs instincts premiers se réveiller et devenir incontrôlables. Ce qui commence à créer des tensions...

PAR VINCENT NOUYRIGAT

Y.MOMATIUK/JEASCOIT/MINDON PICTURES/CORBIS

A photograph of three horses running across a grassy field. The horses are in motion, with their manes and tails flowing. The background is a soft-focus landscape with green grass and some distant trees.

Depuis quelques années, plusieurs dizaines de milliers de mustangs ont réinvesti l'Ouest américain, se constituant en hardes sauvages dont personne ne parvient à juguler l'expansion ni à les empêcher de galoper en liberté sur des terres exploitées par l'homme.

Une barrière chancelante. Un filet déchiré. La porte entrebâillée d'une cage. Ce frisson qui parcourt l'échine: l'appel de la forêt et des grands espaces. Et puis... la grande évasion, crinière au vent. Cette année encore, des centaines de milliers de chevaux, ânes, chiens, chats, vaches, cochons, chèvres, lamas, dromadaires ou saumons d'élevage se feront la belle. Direction: la vie sauvage. Preuve que, malgré des millénaires d'appropriation et de dressage, nous pouvons perdre à tout moment le contrôle de nos animaux domestiques. Et ce n'est même pas là le plus étonnant...

Le plus étonnant, c'est que nombre d'entre eux parviennent à survivre dans la nature hostile... sans nous! Sans la nourriture que nous leur livrions sur un plateau, sans notre protection face aux prédateurs, sans la chaleur de nos étables en hiver, sans nos soins vétérinaires – sans nos caresses affectueuses! Plus troublant encore: certaines de ces espèces prospèrent même durablement au grand air. Jusqu'à faire peser de sérieuses menaces sur les écosystèmes en place, justifiant ces dernières années des programmes d'éradication de ces troupeaux d'un genre particulier. Salulaire? Injuste? C'est tout le débat, aujourd'hui à couteaux tirés, entre les partisans d'une biodiversité authentiquement sauvage et les défenseurs d'une autre biodiversité, issue de la domestication.

DES TROUPEAUX D'ANIMAUX AFFRANCHIS

Cette grande évasion n'a pourtant rien de nouveau. Songez que le dingo du bush australien est issu de chiens de compagnie revenus à l'état sauvage il y a plus de 5 000 ans en Asie. Que le mouflon corse descend de moutons domestiques qui, au Néolithique, se sont échappés dans la montagne. Ce phénomène porte le nom scientifique de "marronnage", un terme dont on s'est ensuite servi pour désigner la fuite des esclaves... La plupart des zoologues préfèrent aujourd'hui parler de feralisation (*feral*, en anglais, signifiant ensauvagement). Quoi qu'il en soit, au-delà des mots, tout le monde s'accorde



Montana, Etats-Unis

LES MUSTANGS N'EN FINISSENT PLUS DE RECONQUÉRIR L'OUEST AMÉRICAIN

Impétueux et libres, quelque 34 000 mustangs sauvages galopent aujourd'hui dans les plaines américaines. À l'origine : des montures perdues par les Conquistadores, dès 1518, sur lesquelles se sont greffés des chevaux relâchés après la guerre de Sécession, la révolution industrielle et même la crise économique de 2008. De fait, *"les chevaux domestiques montrent presque immédiatement un comportement et une organisation sociale semblables à ceux des chevaux sauvages"*, explique la comportementaliste américaine Sue McDonnell. Et ces hardes débridées grossissent de 15 à 20 % par an. La plus noble conquête de l'homme n'est que temporaire...

sur les innombrables occasions offertes aux animaux de s'évaporer dans la nature.

Historiquement, la conquête des grands espaces (Australie ou Amériques) a, dès le départ, essaimé une noria de spécimens affranchis. Car le moindre relâchement des éleveurs, pas assez nombreux ou attentifs, peut être exploité. Aujourd'hui encore, interpelle Jean-Pierre Digard, anthropologue et spécialiste de la domestication, *"l'élevage extensif pratiqué dans la pampa argentine ou en Nouvelle-Zélande facilite le passage du bétail vers la liberté"*. Mais ces pertes de contrôle interviennent aussi depuis des lieux



9413114364

Pays basque, France

LES VACHES BETIZUS VAGABONDENT EN LIBERTÉ DANS LES MONTAGNES BASQUES

De mémoire de berger, elles n'ont jamais connu ni étable ni propriétaire. Aux environs d'Espelette, deux petits troupeaux de 50 à 70 vaches betizus vivent en autonomie totale. *"Quand elles sont livrées à elles-mêmes, leur organisation ressemble à celle des bovidés sauvages, les buffles et les bisons, a constaté Georges Gonzalez, chercheur à l'Inra. L'hiver venu, elles se regroupent naturellement sur les versants ensoleillés et sur les zones rocheuses plus chaudes et dépourvues de neige."* Ne reste plus qu'à inventer un statut juridique de "bovin sauvage" pour les protéger.

clos, à la suite d'une catastrophe naturelle par exemple: l'ouragan Katrina avait ainsi libéré, en 2005, des volées de poules qui, aujourd'hui encore, continuent de caqueter dans les rues de la Nouvelle-Orléans. De même, les guerres, les révolutions, l'exode rural sont propices aux opérations "portes ouvertes". Sans oublier l'invention du moteur à explosion, qui condamna au vagabondage chevaux et chameaux. Mais il suffit parfois de la disparition d'un éleveur dont les descendants vivent en ville... Lesquels auront peut-être eux-mêmes abandonné leur animal de compagnie en pleine nature, faute de place, de temps ou d'argent. Avec les effets de la crise économique de 2008, observe Sue Mc Donnell, spécialiste du comportement équin à l'université de Pennsylvanie (Etats-Unis), *"dans l'Ouest américain, ceux qui ne peuvent plus entretenir leurs chevaux les libèrent pour qu'ils rejoignent des hardes sauvages"*.

Prendre la clef des champs? Pourquoi pas. Encore faut-il, ensuite, pouvoir survivre. Se nourrir seul, se reproduire, élever ses petits, échapper aux prédateurs, protéger un territoire, supporter le climat... Ce n'est pas rien. Car cet ensauvagement revient, ni plus ni moins, à effacer les effets de la domestication, un processus aussi marquant dans l'histoire que l'invention de l'écriture ou du calcul! *"Par domestication, on entend la détention d'animaux en captivité par une communauté humaine, laquelle maintient un contrôle total sur leur reproduction, l'organisation de leur espace et leur approvisionnement alimentaire"*, résume Juliet Clutton-Brock, archéozoologue au Muséum d'histoire naturelle de Londres. Une domination qui a débuté *"par une première sélection des animaux les plus faciles à manipuler, par leur taille réduite et leur comportement moins agressif ou craintif"*, raconte Grégoire Leroy, chercheur au laboratoire de génétique animale et biologie intégrative, à l'Institut national de la recherche agronomique (Inra). Sans oublier la capacité de reproduction en captivité. De nouveaux critères (esthétiques, pratiques, économiques, religieux) sont ensuite intervenus, de façon plus ou moins consciente, jusqu'aux détails les plus sordides comme... le niveau d'acidité d'une cuisse de cochon 24 heures après son abattage.

LA DOMESTICATION N'EST PAS IRRÉVERSIBLE

Ce travail de sape effectué depuis des milliers d'années a spectaculairement marqué la morphologie de ces animaux, leur vitesse de croissance, leurs capacités cognitives, leurs comportements sexuel et social, leurs inhibitions, etc. Mais cette longue domestication a aussi tissé entre hommes et bêtes une relation d'une incroyable intensité, faite de compréhension mutuelle et d'alchimie. *"On pourrait même se*

L'ENSAUVAGEMENT REVIENT NI PLUS NI MOINS À EFFACER UN PROCESSUS FONDAMENTAL DANS NOTRE HISTOIRE : LA DOMESTICATION

demander si nous ne formons pas un système de relations mutualistes, de bénéfices réciproques, dans lequel l'homme fournirait le milieu idoine et l'animal apporterait sa production de lait ou de laine", s'interroge Loys Bodin, de la Station d'amélioration génétique des animaux, à l'Inra. Bref, entre eux et nous, le lien semble indéfectible. D'ailleurs, en France, il y a désormais →

→ plus de 63 millions d'animaux de compagnie, soit presque autant que d'habitants...

Franchement, imagineriez-vous Médor, qui donne si gentiment la papatte, devenir chef de meute? Et Marguerite, tout pis dehors, passer l'hiver sur des pentes enneigées? Ou encore Idéal du Gazeau jouant les cracks et trottant sabots nus? Ce retour en arrière est à peine imaginable. Pourtant, il a bel et bien lieu pour des animaux aussi doux et familiers que le chien, le chat, le cheval, la vache, et même le saumon (voir les encadrés). L'explication en est finalement assez simple, selon Edward Price, grand théoricien de la domestication à l'université de Californie (Berkeley): *"Dans presque toutes les espèces, la domestication n'a pas éliminé les comportements naturels, mais seulement joué sur leur fréquence d'apparition. Ainsi, la sélection s'est souvent accompagnée d'une diminution des épisodes d'agressivité envers les humains et les autres membres du troupeau. Une fois ensauvagés, les animaux développeront des seuils de déclenchement d'agressivité plus sensibles parce qu'il leur faudra lutter pour leur nourriture, trouver un partenaire sexuel..."* Des réminiscences qui apparaissent dès que la présence humaine se fait moins pressante. Ainsi, les vaches limousines élevées en plein air, ou les chiens qui échappent brièvement à la vigilance de leurs maîtres et provoquent chaque année la mort d'environ 10 000 têtes de bétail en France.

"Une fois dans la nature, chaque animal aura la liberté d'exprimer des comportements hérités de ses ancêtres sauvages, reprend Juliet Clutton-Brock. Un cochon domestique ne perdra jamais son instinct de se vautrer dans la boue ou de construire un nid pour ses petits, même si très peu peuvent le faire en captivité." De même: *"Les poulets persistent à reposer sur des*

LA SÉLECTION OPÉRÉE PAR L'HOMME N'ÉLIMINE PAS LES COMPORTEMENTS NATURELS, ELLE DIMINUE LEUR SURVENUE

perchoirs et les moutons continuent de se serrer les uns contre les autres lorsqu'ils sont menacés, poursuit Per Jensen, professeur d'éthologie à l'université de Linköping (Suède). La plupart des animaux domestiques conservent en eux toute la gamme des comportements ancestraux: une fois dans la nature, ils pourront pleinement les exprimer." Avant d'ajouter: *"La domestication n'est pas un processus achevé, elle n'est pas*



9413114364

Le Caire, Egypte

LES CHATS RETROUVENT PARTOUT LEUR INSTINCT DE CHASSEURS

Ne vous fiez pas à leurs onctueux ronronnements: les chats, qui partagent plus de 95 % de leurs gènes avec les tigres, sont des tueurs-nés. Et n'ont foncièrement aucun besoin de l'homme pour se nourrir. Il suffit de voir, aux Etats-Unis, le festin organisé par les 30 millions à 80 millions de chats errants, assistés de quelque 84 millions de chats domestiques: cailles, moineaux, sternes, souris, lapins, campagnols, lézards, grenouilles, serpents... Chaque année, ce sont 1,4 à 3,7 milliards d'oiseaux et plus de 7 milliards de petits mammifères qui trépassent sous leurs griffes. Un carnage qui surpasse les effets de n'importe quelle activité humaine.

irréversible." Très vite, l'absence de l'homme n'a plus aucune espèce d'importance. Chassez le naturel, il revient au galop...

Attention, ne nous racontons pas d'histoire: les pionniers de ce retour à la vie sauvage subissent souvent de lourdes pertes. Moins armés, moins expérimentés, encore tout engourdis. Comme le souligne Laurent Garde, du Centre d'études et de réalisations pastorales Alpes Méditerranée (Cerpam), *"les chiens qui échappent à la surveillance de leur propriétaire pour s'en prendre au bétail – car précisons qu'il n'y a pas de chien ensauvagé en France –, sont très loin d'atteindre la sophistication stratégique, la furtivité et l'efficacité des loups"*. Même constat pour le chat de compagnie en virée dans le quartier, comparé au vrai chat errant. Quant aux fameuses laitières Holstein, traites deux fois par jour pour fournir plus de 10 000 litres

A.DALSH/REUTERS - J.MICHALKO/TANGO PHOTO/PICTURE TANK



Bucarest, Roumanie

LES CHIENS ONT REFORMÉ DES MEUTES EN VILLE

A Bucarest, les meutes de chiens font la loi. Meilleur ami de l'homme, vraiment ? Quinze mille ans de vie commune ont certes laissé des traces... Mais une fois désocialisés, *"les chiens forment des groupes dont l'organisation est similaire, bien que non identique, à celle des loups, a découvert le biologiste italien Roberto Bonanni. Ils développent une hiérarchie et coopèrent pour défendre leur nourriture face à des groupes rivaux. Même s'ils continuent de se nourrir principalement de nos déchets, ils n'ont pas perdu leurs penchants prédateurs, et chassent même en meute !"*

de lait par an, leurs pis devraient leur causer d'atroces souffrances avant que leur production ne finisse par se tarir.

Il n'empêche ! Hormis quelques cas pathologiques assez désespérés (voir encadré page suivante), *"les espèces domestiques peuvent se montrer particulièrement efficaces, et réserver des surprises"*, estime Grégoire Leroy. Admettons que le milieu naturel s'y prête, que la concurrence avec les animaux sauvages (sangliers contre cochons en fuite) ne soit pas trop intense et que tout le monde profite de l'absence de gros prédateurs, alors, avec un peu de vigueur reproductive, tout est possible !

Sauf que ce vent de liberté est de moins en moins toléré. A force de proliférer, ces animaux devenus hors de contrôle sont accusés de commettre les pires ravages sur la faune et la flore en place. Ils ne méritent d'ailleurs guère plus que le statut d'espèces invasives, tels de nouveaux barbares avalant et piétinant tout sur leur passage. Pis : ces animaux domestiques affranchis peuvent se reproduire avec leurs congénères sauvages, menaçant de polluer le précieux patrimoine génétique de ces derniers... *"En Norvège, ce risque est devenu l'objet d'un débat houleux avec l'évasion régulière de milliers de saumons domestiques, confie François Besnier, chercheur à l'Institut norvégien des recherches marines. Chaque rivière héberge sa propre population de saumons sauvages, avec ses caractéristiques spécifiques, c'est pourquoi on craint leur uniformisation et une perte de viabilité à terme."* Marine Harvest, numéro un mondial du saumon, en a ainsi été réduit à proposer une récompense pour chaque saumon retrouvé en mer après leur évasion, le 16 novembre dernier, à la suite d'une grosse tempête...

UNE FAUNE QUI NE TROUVE PLUS SA PLACE

Ridicule ? Peut-être, mais il faut reconnaître que l'ensauvagement est en train de créer des tensions inédites entre partisans d'une nature authentique et défenseurs de tous les animaux, y compris ceux créés en grande partie par l'homme. Or, cette grande évasion pose des problèmes à ce jour insolubles. L'Administration américaine a beau mobiliser ses meilleurs scientifiques, elle n'a toujours pas trouvé de solution au boom démographique des chevaux sauvages dans l'Ouest, pas même un contraceptif convaincant. Ces hardes de mustangs, indéboullonnables symboles de l'Amérique, foulent les fragiles écosystèmes du Nevada, les pâturages dédiés au bétail, les terrains voués à l'exploitation pétrolière... tandis que les services fédéraux ne parviennent plus à entretenir les 45 000 animaux qu'ils ont dû capturer au lasso pour soulager la pression. Et que dire de la fureur des écologues contre les chats laissés en liberté, ces tueurs-nés d'oisillons et de petits mammifères ! *"Les gens ne se rendent pas compte que, dans de nombreux endroits du globe, et sur toutes les îles, le chat n'est pas un acteur naturel de l'écosystème d'origine : c'est un invasif, et la seule solution serait →*



LES SAUMONS D'ÉLEVAGE COLONISENT LES RIVIÈRES

Le chiffre est impressionnant : pas moins de 368 000 saumons ont réussi à s'échapper des fermes aquacoles norvégiennes en 2011. Elevé depuis quarante ans le long des côtes, ce poisson vit dans des enclos en filets de mailles qui permettent son oxygénation. "Les plus jeunes individus réussissent parfois à se faufiler entre ces mailles, mais les grandes évasions ont lieu quand la violence d'une tempête est telle qu'elle déchire les filets", dévoile la chercheuse norvégienne Ola Diserud. Une fois dans la nature, ces saumons domestiques – bien que peu performants – réussissent par leur nombre à se perpétuer, et même à régner sur certaines rivières.

→ de le confiner à la maison 24 heures sur 24, 7 jours sur 7", s'emporte Yolanda Van Heezik, du département de zoologie de l'université d'Otago, en Nouvelle-Zélande... où le matou est considéré comme un nuisible. Des propos qui ne manquent jamais de provoquer la fureur des défenseurs des chats.

DEUX BIODIVERSITÉS QUI NE SE VALENT PAS !

Le confinement est sans doute un moindre mal. En tout cas, les autorités françaises ont eu moins de scrupules avec les 600 bovins de l'île d'Amsterdam. Ce tout petit bout de territoire tricolore perdu dans le sud de l'océan Indien abritait depuis les années 1870 un troupeau de vaches livrées à elles-mêmes, vestige, *a priori*, d'une tentative de colonisation avortée. Or, cette

troupe florissante formée à l'origine de brunes des Alpes, de tarentaises ou de bretonnes pie noir écrasait la flore endémique de l'île et perturbait la reproduction de rarissimes albatros. Le bétail est donc devenu gibier. "En 2010, l'Administration a fait abattre le troupeau, alors qu'il aurait suffi d'en réduire la taille!", s'insurge Grégoire Leroy. Après cent quarante ans d'isolement, cette population constituait un modèle adaptatif unique au monde, d'un grand intérêt scientifique." Plus généralement, déplore le chercheur français, "même si la variété génétique des animaux domestiques est prise en compte dans la convention sur la biodiversité biologique de l'ONU, cette biodiversité-là reste un parent pauvre; elle pâtit injustement d'une mauvaise image teintée de consanguinité".

Sauvage, domestique, les deux, ni l'un ni l'autre? Le statut de ces animaux n'est pas près de s'éclaircir. Au fil des générations, échafaude Edward Price, "la sélection naturelle pourra privilégier des caractères génétiques qui inverseront certains changements induits par la domestication". Sous la pression de cette sélection naturelle, les morphotypes reprennent des caractères plus rustiques, "les muscles deviennent plus saillants, les mâchoires renforcées", anticipe Juliet Clutton-Brock. Evidemment, un chien ne redeviendra pas physiquement un loup ni ne se comportera tout à fait comme un *Canis lupus*. L'ensauvagement est simplement une nouvelle aventure évolutive. On pourra toujours s'en émerveiller, accuser le coup, protester ou même rester indifférent, une chose est sûre : les problèmes déclenchés par ces animaux affranchis sont aussi de notre fait. Le renard avait bien averti le Petit Prince : "Tu deviens responsable pour toujours de ce que tu as apprivoisé." ■

THE SACRAMENTO BEE/ZUMA/REA

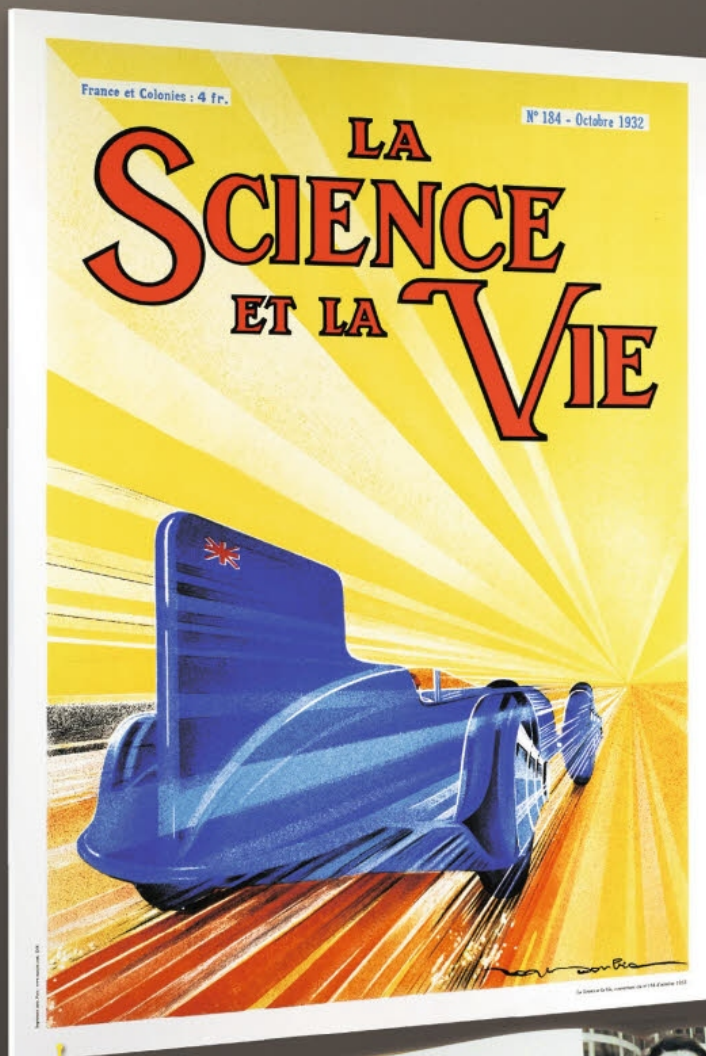
CHIHUAHUA, MÉRINOS, VER À SOIE : ILS ONT BESOIN DE NOUS

Sélectionné et exploité pour sa soie, le bombyx du mûrier est devenu à force de croisements incapable de voler et de se nourrir seul, sans parler de s'accoupler. Autres spécimens trop artificiels pour survivre au naturel : "Les vaches à viande de race 'blanc bleu belge' ont un arrière-train à ce point hypertrophié qu'elles doivent mettre bas sous césarienne", signale le généticien Loys Bodin (Inra). La quête folle de productivité a aussi touché les

moutons mérinos qui, avertit le chercheur, "doivent être tondues une fois par an, car leur laine pousse continuellement et ne mue pas". Sans éleveur, leur vie et leur reproduction seraient un enfer. Quant aux chiens à physique de peluche (yorkshires, chihuahuas), leurs chances de survie sont minces : outre le handicap de leur petite taille, leur fragile squelette les empêcherait de capturer les proies nécessaires à leur régime carnivore.

OFFRE TIRAGE LIMITÉ

LE COFFRET NUMÉROTÉ + LA LITHOGRAPHIE ORIGINALE



UN COFFRET DE DEUX LIVRES
EXCEPTIONNELS EN ÉDITION LIMITÉE
TIRÉE À 300 EXEMPLAIRES NUMÉROTÉS

PRÈS DE 1000 PAGES RETRAÇANT UN SIÈCLE
DE SCIENCE ET DE DÉCOUVERTES



Jean-Claude Massardo, Renaud Marot.

Un tirage
d'exception !

Éditions Maeght.
62 x 86 cm.
11 couleurs
sur papier 170 g.



VOLUME 1

« UN SIÈCLE
DE SCIENCE »
PAR **SCIENCE & VIE**

VOLUME 2

« LES MEILLEURS
ARTICLES DU SIÈCLE »
DE **SCIENCE & VIE**

Avec le soutien
de l'École
polytechnique
et de sa Fondation

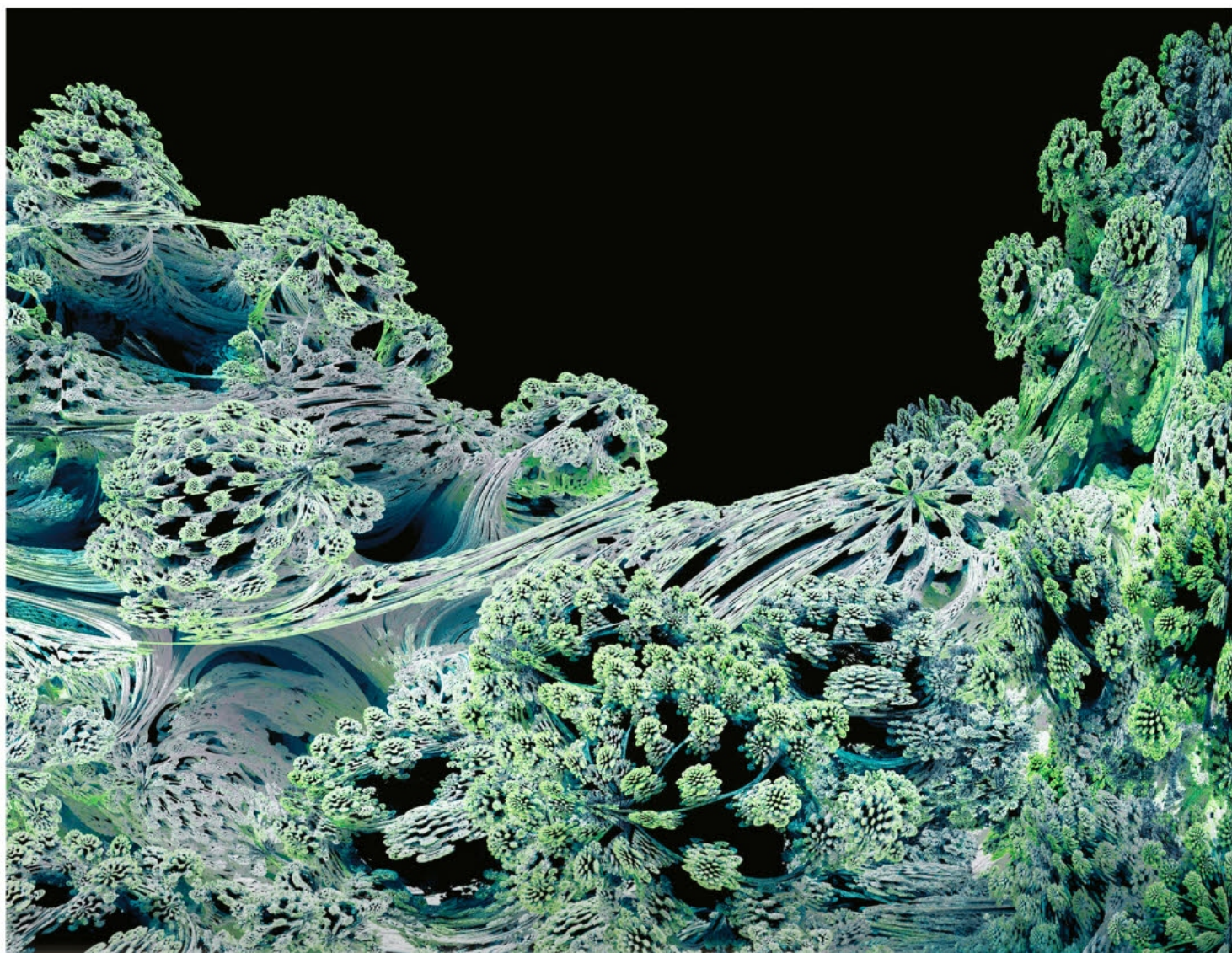
éditions
TELEMAQUE

MONDADORI FRANCE

Cette offre Coffret + Lithographie en vente
exclusivement pour nos lecteurs sur le site

www.laBoutiqueScienceetVie.com

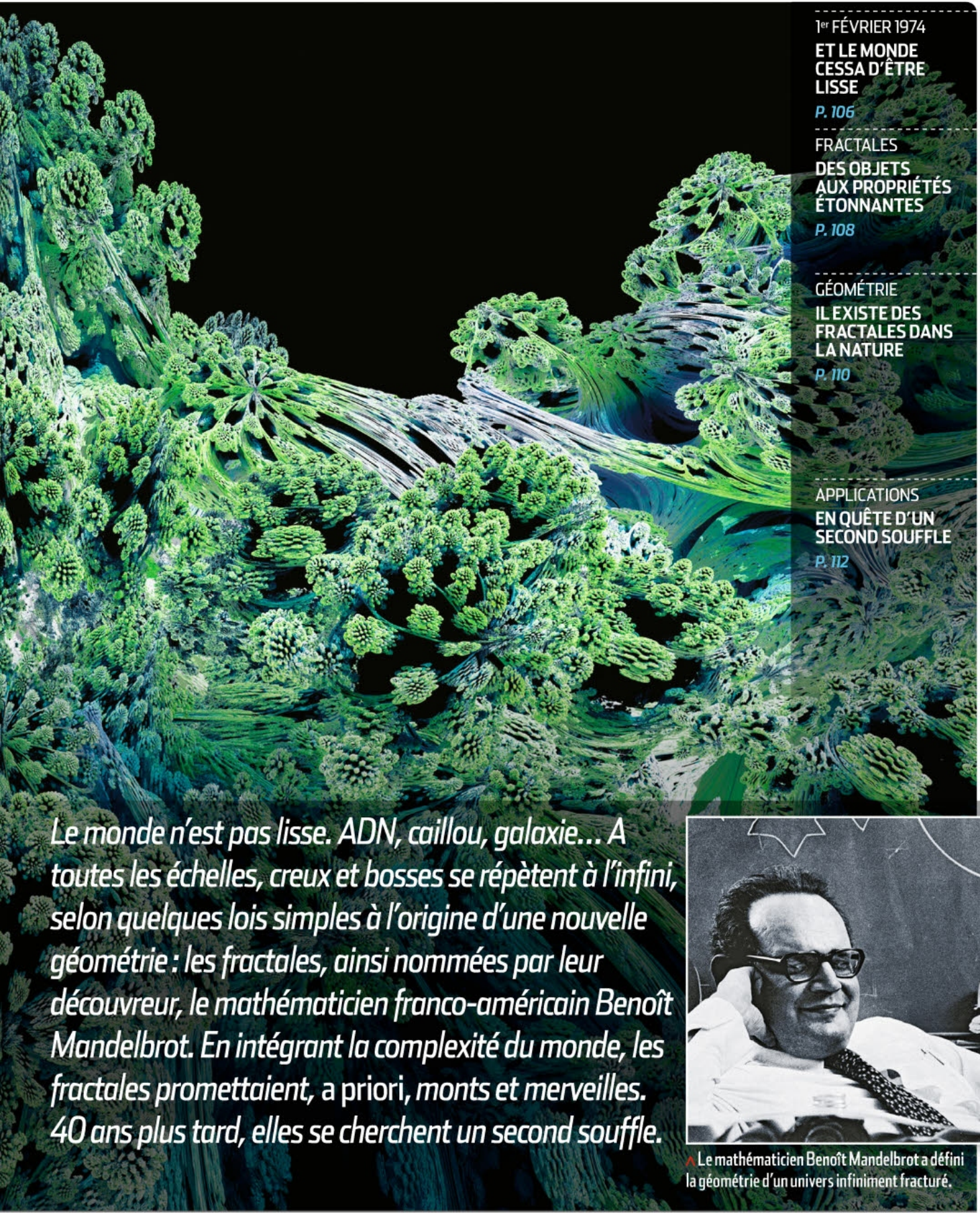
LE POINT SUR...



40 ANS APRÈS LEUR INVENTION PAR MANDELBROT

OÙ EN EST, LA RÉVOLUTION DES FRACTALES ?

PAR EMMANUEL MONNIER



1^{er} FÉVRIER 1974
ET LE MONDE
CESSA D'ÊTRE
LISSE

P. 106

FRACTALES
DES OBJETS
AUX PROPRIÉTÉS
ÉTONNANTES

P. 108

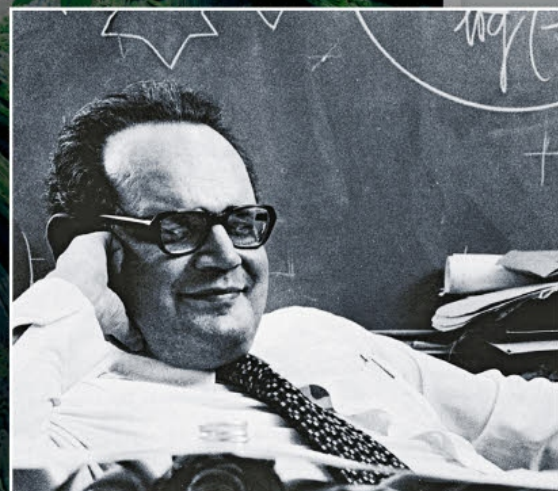
GÉOMÉTRIE
IL EXISTE DES
FRACTALES DANS
LA NATURE

P. 110

APPLICATIONS
EN QUÊTE D'UN
SECOND SOUFFLE

P. 112

Le monde n'est pas lisse. ADN, caillou, galaxie... A toutes les échelles, creux et bosses se répètent à l'infini, selon quelques lois simples à l'origine d'une nouvelle géométrie : les fractales, ainsi nommées par leur découvreur, le mathématicien franco-américain Benoît Mandelbrot. En intégrant la complexité du monde, les fractales promettaient, a priori, monts et merveilles. 40 ans plus tard, elles se cherchent un second souffle.



▲ Le mathématicien Benoît Mandelbrot a défini la géométrie d'un univers infiniment fracturé.

1^{er} FÉVRIER 1974 ET LE MONDE CESSA D'ÊTRE LISSE

Quelle est la longueur de la côte bretonne? Ça dépend de l'échelle utilisée, répond Mandelbrot. Une évidence? Non. Ce jour-là, ce fut une révélation!

Sa conférence, donnée à l'université de Cambridge, en Angleterre, s'achève sous les applaudissements. En ce 1^{er} février 1974, Benoît Mandelbrot a tout lieu d'être satisfait: après des années d'isolement, ses mathématiques suscitent enfin l'intérêt. Il en avait déjà eu l'heureuse surprise un an plus tôt, lorsqu'il avait présenté ses travaux au Collège de France devant un amphithéâtre bondé. Mais Mandelbrot n'est pas dupe: si ses résultats commencent à passionner, c'est parce qu'ils portent sur des objets aussi familiers que la forme d'un nuage ou d'une fougère, et répondent à des questions redoutablement simples...

Quelle est la longueur de la côte bretonne? Amusé de l'embarras chaque fois suscité, Mandelbrot répond: ça dépend. De quoi? De l'échelle à laquelle on la mesure! Cette côte présente en effet des courbures à toutes les échelles, des baies de quelques centaines de mètres aux creux et bosses centimétriques des rochers, et même en dessous. La longueur finale, si on tient compte de toutes ces anfractuosités, est alors si grande qu'on peut la considérer comme infinie. Et des courbes de ce type, infiniment fragmentées, Mandelbrot en présente dans des domaines

aussi variés que la physique, la biologie, la chimie... Les mathématiciens ont tort, démontre-t-il: ils ne s'intéressent qu'aux formes lisses, alors que le monde est foncièrement rugueux.

IL EXISTE UN ORDRE SOUS-JACENT...

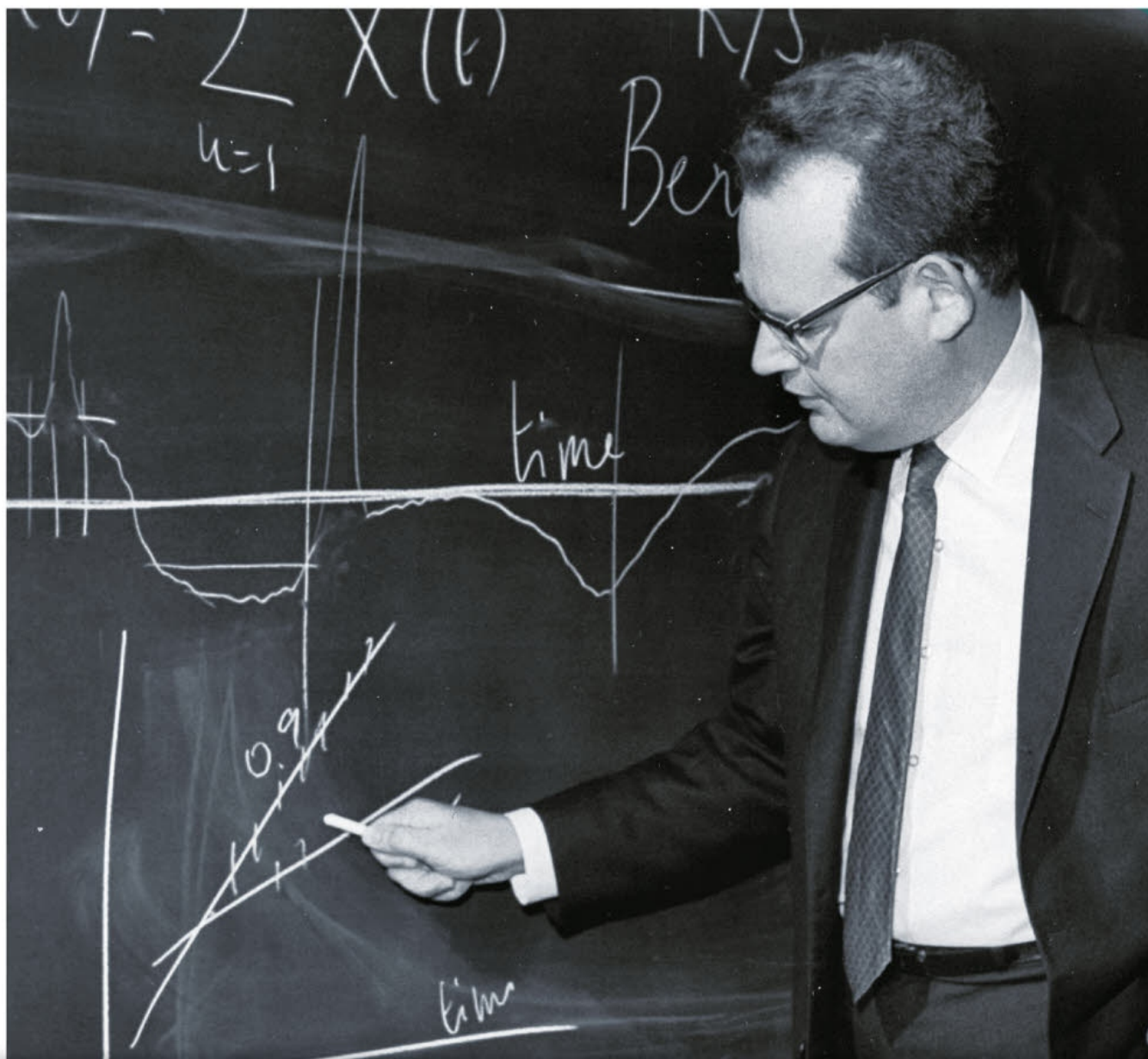
Cet univers fracturé, ce mathématicien, né en Pologne et réfugié en France où il a fait toutes ses études, l'explore depuis le début des années 1960 au centre de recherche d'IBM, à Yorktown (New York). Ce sont d'abord des questions d'économie qui l'ont accaparé. A savoir: comment évolue le prix du coton à la Bourse? De façon trop irrégulière, remarque-t-il, avec des décrochages trop brutaux et trop fréquents pour correspondre aux modèles financiers en vigueur. Surtout, il constate, avec l'aide

des ordinateurs, que ces variations présentent les mêmes motifs – tout aussi fragmentés – à l'échelle de la journée, du mois, de l'année, de la décennie... Comme si l'échelle importait peu. Un résultat qu'il retrouve, plus tard, dans les variations du bruit électronique qui parasite les liaisons entre ordinateurs, dans les formes que prennent les turbulences ou dans la distribution des galaxies. Partout, une loi similaire de distribution semble à l'œuvre, qui reproduit un même motif d'une échelle à l'autre. Les rugosités du réel sont donc loin d'être totalement aléatoires. Un ordre sous-jacent les organise. Une révélation qui, pendant des années, n'a pourtant guère intéressé ses confrères.

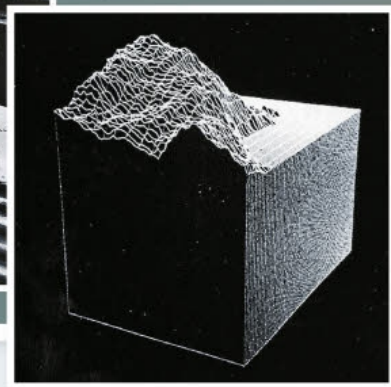
Travaux folkloriques, superficiels... Les jugements furent cruels, l'auteur ne s'inscrivant dans aucun cadre académique. Aussi savourea-t-il aujourd'hui son triomphe. Les puissantes machines d'IBM y sont pour beaucoup, révélant mieux qu'un long discours comment des lois mathématiques très simples construisent des paysages artificiellement fragmentés, ressemblant à des montagnes ou à une côte. Quel nom donner à ces courbes mathématiques qui reproduisent, avec des effets saisissants d'échelle, les infinies rugosités du monde réel? C'est en regroupant, à l'issue de ce cycle de conférences, tous ses travaux dans un livre qui paraîtra en 1975, que Mandelbrot trouvera, à la demande de son éditeur, un mot court et parlant: les objets fractals. Le début d'une grande aventure scientifique...



< Paru pour la première fois en 1975, *Les objets fractals* définit sous ce vocable un nouveau champ d'investigation scientifique.



En 1974, Benoît Mandelbrot, un mathématicien du centre de recherche d'IBM, réussit à démontrer que des formules mathématiques simples permettent de reproduire les infinies rugosités du monde réel (ci-dessous une de ses premières simulations).



FRACTALES, DES OBJETS AUX PROPRIÉTÉS ÉTONNANTES

Qu'est-ce qu'une fractale? Un objet mathématique déroutant: une structure très ordonnée qui se répète à un nombre infini d'échelles, et dont les innombrables anfractuosités échappent à la géométrie classique. Explications.

LEUR STRUCTURE RESTE COMPLEXE À TOUTES LES ÉCHELLES

Lorsqu'on zoome, une figure fractale présente des structures à un nombre infini d'échelles, organisées de façon hiérarchique. Si ces structures, d'un zoom à l'autre, sont identiques, on parle d'auto-similarité: chaque partie de l'objet fractal reproduit alors le tout. Et ce, quelle que soit l'échelle à laquelle on l'observe, jusqu'à l'infini. En général, les structures varient d'une échelle à l'autre. Dans tous les cas, une des conséquences vertigineuses de cette propriété est que le moindre détail de l'objet contient, à lui seul, autant de complexité que son ensemble. Une complexité qu'on ne peut réduire en une somme d'éléments simples, ce qui explique ces arabesques infiniment tarabiscotées.

LEURS CONTOURS RÉVÈLENT UNE RUGOSITÉ EXTRÊME

Contrairement aux segment, cercle, triangle et autres objets classiques de la géométrie d'Euclide, l'objet fractal présente un contour fragmenté à l'extrême, constitué d'une infinité de briques, chaque petit segment révélant à son tour, lorsqu'on zoome sur lui, un nouveau relief. Un objet fractal n'est donc jamais "lisse", quelle que soit l'échelle à laquelle on l'observe. Mathématiquement parlant, cela se traduit par l'impossibilité, même si le tracé est continu, de construire une tangente en la plupart de ses points : la courbe est dite non différentiable. Une propriété qui rend les calculs d'analyse classiques totalement caducs.

ELLES NE SONT NI UN TRAIT NI UN PLAN

Dans la géométrie classique, une figure a toujours une dimension entière : une dimension 1 pour les lignes, 2 pour les surfaces, 3 pour les volumes, 4 pour les hypervolumes, etc. Mais du fait de leurs anfractuosités infinies, les objets fractals révèlent une propriété inédite : leur dimension est le plus souvent non entière. Ainsi les courbes fractales peuvent-elles avoir une dimension supérieure à 1, sans que cette dernière soit pour autant forcément égale à 2. Autrement dit, elles sont plus qu'un simple trait, sans pour autant être une surface (elles laissent des espaces vides dans le plan). Cette dimension, qui quantifie en quelque sorte la "fractalité" de l'objet, est un paramètre clé que les mathématiciens peuvent calculer et donc comparer.

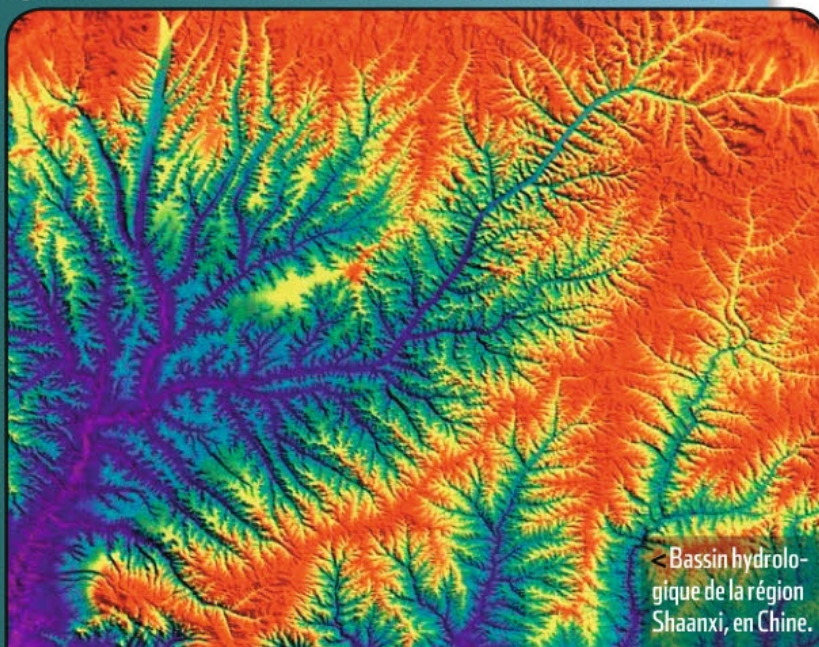
DES RÈGLES TRÈS SIMPLES PERMETTENT DE LES CRÉER

Malgré une apparence parfois chaotique, une courbe fractale n'est jamais le résultat du hasard. C'est un objet mathématique construit à partir de règles précises et déterministes. Il présente d'ailleurs le plus souvent une structure très ordonnée, qu'on décèle par la présence de nombreuses symétries. Son extrême complexité ne doit donc pas faire illusion : l'objet fractal est en général construit à l'aide d'un algorithme très simple, consistant par exemple à répéter une même transformation une infinité de fois, chaque transformation s'appliquant sur l'objet résultant de la transformation précédente. Une approche qui rend tout puissant l'ordinateur et ses calculs en série pour ce type d'étude.

GÉOMÉTRIE IL EXISTE DES FRACTALES DANS LA NATURE

Les fractales, de beaux objets mathématiques? Pas seulement. Lumière, eau, continents, molécule d'ADN... Que ce soit à l'échelle microscopique ou à celle de la planète, la nature aussi dessine des motifs fractals.

QUAND LES CHOSES SE RASSEMBLENT



< Bassin hydrologique de la région Shaanxi, en Chine.

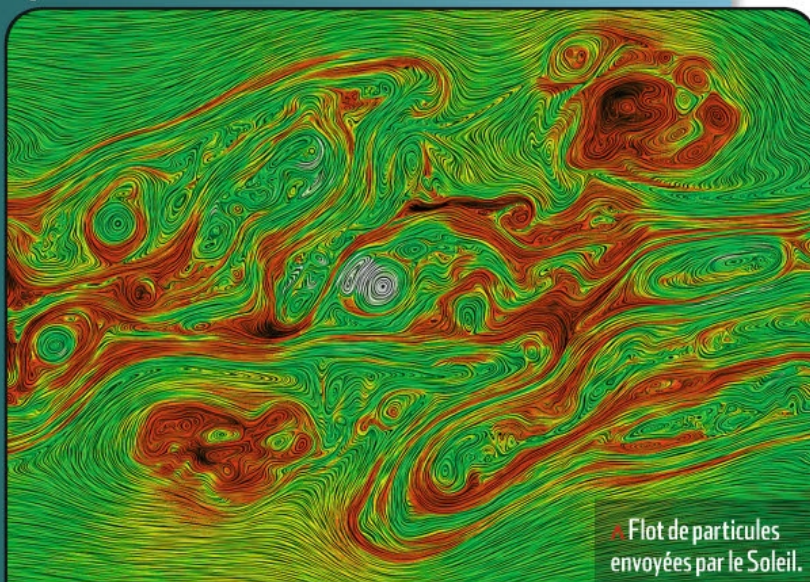
Comment se rassemblent spontanément une infinité d'éléments en une seule destination finale? Bien souvent par agrégations successives, ce qui, d'une échelle à l'autre, dessine un réseau fractal. C'est par exemple le cas des bassins hydrologiques, qui drainent les eaux de pluie vers les torrents, puis les rivières, pour former des fleuves qui vont se

jeter dans la mer : les images vues du ciel laissent apparaître une série de motifs et de proportions qui se répètent d'une échelle à l'autre. Les spécialistes établissent aujourd'hui des relations entre la dimension fractale de ces bassins et différents paramètres du milieu, comme la nature des roches, l'amplitude des pentes, la pluviosité, etc.

QUAND ELLES FLUCTUENT

Les séismes ne surviennent pas de façon totalement aléatoire. Comme l'a montré encore récemment Alvaro Corral, physicien à l'université autonome de Barcelone, les secousses forment des groupes à l'échelle du mois, qui s'agrègent en supergroupes à l'échelle de l'année, et ainsi de suite. Ce motif similaire, qui se répète à différentes échelles de temps et d'intensité, décrit une évolution fractale. Il en va de même pour les éruptions volcaniques, les ouragans... et les krachs boursiers – c'est d'ailleurs en étudiant les variations temporelles du cours du coton à la Bourse, entre 1815 et 1958, que Mandelbrot mit au jour, au début des années 1960, ce caractère majeur d'une courbe fractale. Elle est beaucoup plus favorable aux écarts brusques et aux effets de grande ampleur à grande échelle (hausses et baisses ne se neutralisent pas) que les modèles classiques qui décrivent, eux, un monde moins sauvage.

QUAND ELLES SE MÉLANGENT



Flot de particules envoyées par le Soleil.

Regardez les mouvements turbulents dans l'eau. Au cours de ces transferts d'énergie depuis les grandes échelles vers les plus petites, qui font le lien entre le monde macroscopique et l'univers des molécules, apparaissent des motifs fractals. Une fractalité géométrique et temporelle, qui permet d'embrasser dans un même mouvement l'apparition

de motifs à différentes échelles et leur caractère intermittent. C'est aussi le cas des volutes que dessine la fumée d'une cigarette, qui évolue vers un état turbulent au fur et à mesure qu'en s'élevant elle est plissée par les interactions avec l'air, à des échelles différentes, toutes reliées par une même dynamique.

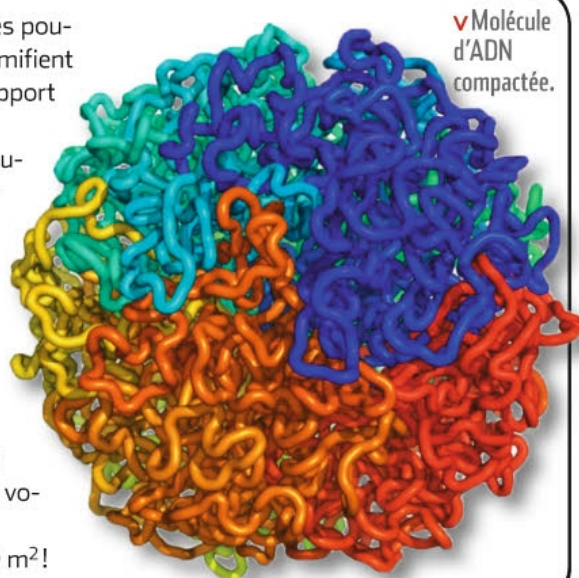
QUAND ELLES SE FRACTURENT

Le relief terrestre, soumis aux forces tectoniques et à une érosion constante, est un réservoir inépuisable de fractales. On peut ainsi découvrir des lois fractales à l'œuvre dans la fracturation des roches, depuis les microfissures observées au microscope jusqu'aux failles géantes, comme celle de San Andreas, en Californie : une grande faille apparaissant comme une succession de segments plus petits, eux-mêmes étant constitués de cassures encore plus fines, etc. Autre cas, celui de la fracturation de la glace : sous l'effet d'une multitude de forces comme les vents, les variations de température ou les courants marins, ces fractures se répartissent de la même façon quelle que soit l'échelle considérée, les phénomènes aux petites échelles, de l'ordre du micromètre, étant reliés par une même loi à ceux qui se développent sur plusieurs milliers de kilomètres. Seule diffère, entre la glace et la roche, la nature des forces mises en jeu, et donc leur vitesse de fracturation...

QUAND ELLES SE COMPACTIFIENT

Observez cette molécule d'ADN. Alors qu'elle mesure près de 2 m de long, elle s'insère dans un petit noyau d'à peine 6 μm de diamètre. Des cartographies récentes en 3D de notre génome ont enfin permis de comprendre comment : la molécule se plie en jouant avec les échelles. La double hélice s'enroule ainsi autour d'histones, le tout s'enroulant ensuite à l'échelle supérieure, puis encore sur un troisième niveau selon un motif fractal. A plus grande échelle, les fractales se retrouvent aussi dans le développement des organes, quand il s'agit d'offrir dans un volume compact une surface maximale

d'échange. C'est le cas des poumons : les bronches se ramifient 16 fois, dans un même rapport d'échelle, pour aboutir à 60 000 bronchioles débouchant chacune sur des alvéoles. Pour permettre au sang de les irriguer, les systèmes veineux et artériels se divisent 23 fois pour construire un réseau total de 8 millions de capillaires. Cette structure fractale permet au final d'obtenir dans un volume réduit une surface d'échange de plus de 100 m^2 !



✓ Molécule d'ADN compactée.

APPLICATIONS EN QUÊTE D'UN SECOND SOUFFLE

Les fractales ont finalement peu diffusé dans les sciences. Sans doute parce que cet outil complexe sert d'abord à mesurer notre impuissance...

Les fractales sont belles, mais à quoi servent-elles vraiment ? La question, un brin insolente, est de celles qui plongent le mathématicien dans l'embarras. Car le temps n'est plus où ces formes infiniment complexes fascinaient. *"Il y a eu un effet de mode"*, reconnaît sans fard Xavier Buff, spécialiste des systèmes dynamiques à l'Institut de mathématiques de Toulouse. Les programmes informatiques ont fleuri, à la fin du XX^e siècle, permettant à chacun de dessiner des formes toujours plus audacieuses. Les artistes s'en sont emparés, s'inscrivant dans la lignée de précurseurs comme Hokusai, ce maître de l'estampe japonaise dont *La grande vague au large de Kanawaga* divisait déjà, en 1830, une vague en vaguelettes auto-similaires, elles-mêmes constituées de micro-vaguelettes ; mais aussi les concepteurs de jeux vidéo pour concevoir des paysages virtuels au réalisme bluffant, ou les musiciens pour composer des "musiques fractales".

Mais en science ? Certes, les ingénieurs ont construit des murs antibruit, utilisant des motifs fractals pour augmenter la surface de contact avec les ondes sonores ; les chimistes ont expérimenté la catalyse fractale, qui se sert de la fabuleuse surface d'échange offerte par les structures infiniment morcelées ;

les archéologues ont proposé, par l'analyse fractale de clichés aériens, de déceler les signes d'actions humaines sur le paysage par l'apparition de structures plus lisses ; les médecins mesurent la dimension fractale d'un os ou d'un poumon pour connaître son état... Il n'empêche. Alors que Benoît Mandelbrot, l'inventeur de cette nouvelle géométrie, est décédé il y a un peu plus de trois ans, ces arabesques torturées semblent avoir du plomb dans l'aile.

ELLES SERVENT À MESURER LE RISQUE

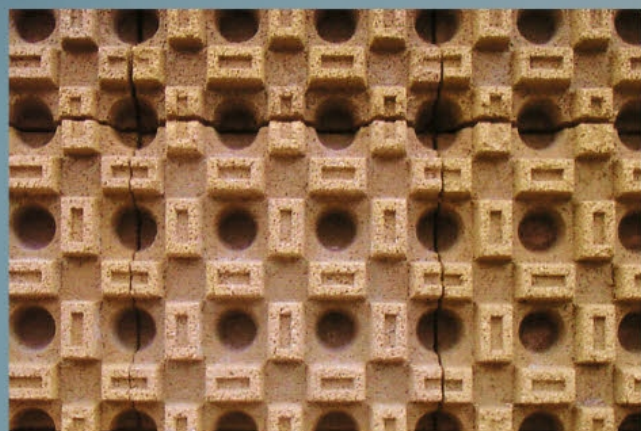
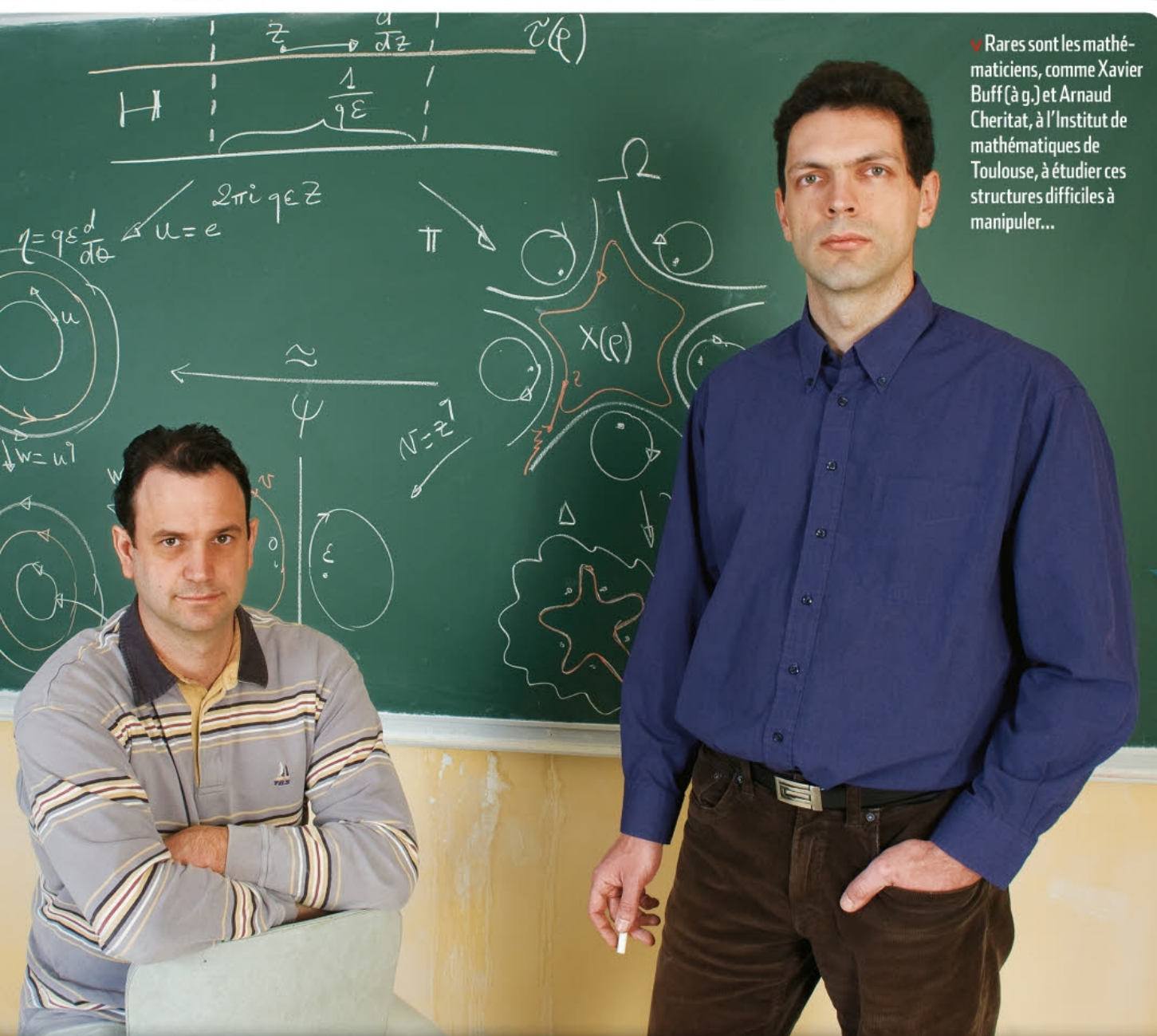
"L'engouement marque le pas", avoue Xavier Buff. Les fractales n'ont en tout cas plus l'attrait de la nouveauté. *"Il n'y a pas, a priori, de grand problème particulier attaché à l'objet fractal en lui-même"*, constate-t-il. D'ailleurs, elles ne font toujours pas partie du bagage commun enseigné aux étudiants. A l'Institut de mathématiques de Toulouse, si de nombreux chercheurs rencontrent régulièrement des formes fractales dans leurs travaux, aucun n'en a fait pour autant un objet central d'étude. Les discours des années 2000, qui prédisaient un usage massif des fractales dans toutes les sciences, semblent en perte de vitesse. *"Elles n'ont pas beaucoup diffusé au-delà du monde mathématique"*, observe le chercheur.

Pourquoi une telle résistance, alors que notre univers ne cesse de révéler, chaque jour davantage, sa profonde nature fractale ? Sans doute à cause d'un malentendu. Ceux qui ont cru que donner la dimension fractale d'un objet allait leur permettre de mieux le contrôler ont dû déchanter. Les sismologues ont certes repéré dans leurs enregistrements la répétition d'un motif identique, quelle que soit l'échelle (jour, semaine, mois, année...), mais dire que la distribution des séismes est fractale ne permet en rien de prévoir le prochain. *"Vous pouvez juste calculer à quel point c'est fractal, et dire que plus ça l'est, plus il sera difficile d'anticiper quoi que ce soit, car plus l'information se perdra vite ; c'est un objet utile pour mesurer le risque, mais pas pour prévoir ce qui va se passer"*, explique →



▲ Les artistes se sont emparés de ces fascinantes géométries (ici, une "mandelbulbe" en 3D)...

▼ Rares sont les mathématiciens, comme Xavier Buff (à g.) et Arnaud Cheritat, à l'Institut de mathématiques de Toulouse, à étudier ces structures difficiles à manipuler...



▲ ... comme les ingénieurs, qui les ont mises à profit, comme ici, pour concevoir un mur d'autoroute fractal aux étonnantes propriétés antibruit...



▲ ... alors que les économistes rechignent à utiliser cet outil qui contredit leurs modèles, pour évaluer les risques, de krach boursier par exemple.

→ Xavier Buff. Ainsi, la dimension fractale serait d'abord une mesure de notre impuissance à prévoir quoi que ce soit. *"Quand on étudie les objets fractals, on réalise que comprendre la structure et en tirer une information sur ce qui va se passer à long terme n'est pas faisable, justement parce que c'est fractal"*, détaille l'expert. Les fractales permettent donc surtout de répondre à une question simple: suis-je capable de prévoir l'évolution de mon système? Or, plus ce dernier sera fractal, plus la réponse sera négative. Si l'on rajoute que ces fractales sont, mathématiquement, très difficiles à manipuler, on ne s'étonnera guère qu'elles n'attirent pas le chercheur avide de résultats...

Pourtant, le point fort de l'analyse fractale est bel et bien là: dans un contexte dominé par l'aléatoire, elle permet d'estimer le risque en embrassant toutes les échelles, des événements extrêmement forts aux plus faibles. Même si l'évolution fractale des secousses ne permet pas de prévoir la date de la prochaine, elle permet de mieux en estimer la probabilité. Ce qui est déjà fort utile. Ainsi Mandelbrot a-t-il en vain tenté de convaincre les économistes que les variations boursières suivaient une structure fractale, répétant que cela se révélerait, entre autres, par l'apparition de krachs beaucoup plus nombreux que ce que prévoient les modèles classiques, lesquels ont tendance

à lisser les écarts et minimiser les extrêmes (voir *S&V* n° 1068, sept. 2006).

Plus que des outils pratiques, les fractales aident à se poser les bonnes questions. En géophysique, en climatologie ou en économie, elles montrent que la survenue d'événements extrêmes est plus probable que ne le prévoient les modèles linéaires. *"Savoir que le phénomène fractal apparaît et qu'il limite notre compréhension est fondamental"*, insiste Xavier Buff. Car la pratique scientifique actuelle simplifie le modèle au point que l'on ignore ce qui apparaît chaotique, fractal. Du coup, on est incapable d'anticiper. Reconnaitre la fractalité de son objet, et donc sa propre impuissance à prédire son évolution, est un premier pas vers une science plus humble, qui reconnaît l'insuffisance de ses modèles, trop lisses, à simuler une réalité foncièrement rugueuse.

ACCEPTER LA COMPLEXITÉ DU MONDE

Les fractales sont jeunes – 40 ans à peine. Elles ont encore besoin de temps pour être apprivoisées. Pour convaincre, aussi, que la "fractalité" est d'abord une invitation à voir les choses autrement. A chausser les lunettes qui permettent de voir un ordre apparaître derrière l'apparence chaotique du monde. Bien sûr, fixer cette rugosité en face donne un peu le vertige. En quittant les formes géométriques

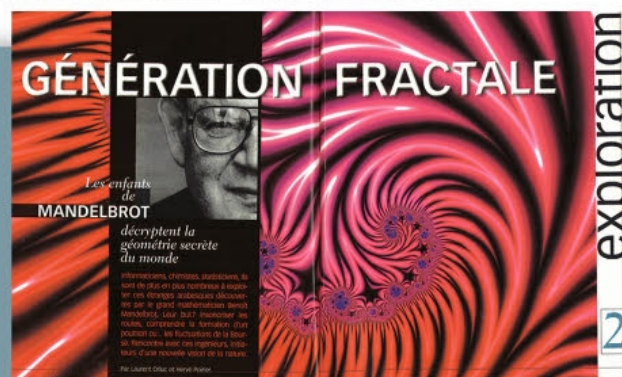
euclidiennes idéalisées (cercles, droites), et en plongeant dans ce nouvel univers, une notion aussi évidente que celle de longueur semble se vider de sens. Regardez la fameuse côte bretonne: la géométrie fractale nous révèle que plus on la regarde de près, plus la longueur du littoral grandit jusqu'à devenir infinie... Absurde? Non. La géométrie fractale nous rappelle juste une bonne leçon: que la taille d'un objet dépend de la dimension de l'outil de mesure. Comment mesurer concrètement la grandeur d'une feuille de papier? En la recouvrant d'un fil très fin, elle semblera d'une taille infinie. En posant dessus un cube qui la recouvre, elle semblera nulle. Et la côte bretonne? Il faut un outil qui soit de même dimension, une sorte de règle graduée... fractale. Car c'est seulement dans cette dimension fractale, le plus souvent non entière, que les objets les plus torturés du monde réel révèlent leur véritable complexité.

Comprendre sans prédire, s'interdire de réduire en éléments simples, abandonner les outils classiques, questionner le caractère relatif de toute mesure... Les fractales, on le voit, invitent à bien des renoncements. Il n'est donc guère étonnant qu'elles suscitent réserves et réticences. Mais si c'est à ce prix que l'on peut regarder le réel en face, il faudra bien, d'une façon ou d'une autre, s'y plier.

LES FRACTALES DANS S&V

Fractales, chaos... les deux termes, liés l'un à l'autre, sont à la mode, reconnaît *Science & Vie* en juin 1989, s'enthousiasmant pour cet ordre dans le désordre, que les scientifiques mettent au jour dans une part toujours plus grande du monde. Le chaos est la règle, insiste la revue en avril 2010. Raison de plus pour lui offrir ses colonnes, car les fractales sont... belles. *S&V* joue de

leur charme et propose, en février 2010, une magnifique série d'images en 3D, des "mandelbulbes". Une occasion de montrer que la science ne se résume pas à d'austères équations. Belles... et utiles. Comme le montrent les "enfants de Mandelbrot", astronomes, physiciens, biologistes, chimistes ou informaticiens, qui s'appuient sur les fractales pour décrypter la géo-



métrie secrète du monde. *S&V* leur donne la parole, en septembre 2005, pour comprendre en quoi ces objets infiniment fragmentés ouvrent de nouvelles perspectives,

et s'étonne en septembre 2006, à l'instar de Mandelbrot, que les modèles financiers n'aient toujours pas intégré la dimension fractale des évolutions boursières.

EN PRATIQUE

116

BON À SAVOIR

En direct des publications scientifiques et autres rapports et études.

118

ZOOM DU MOIS

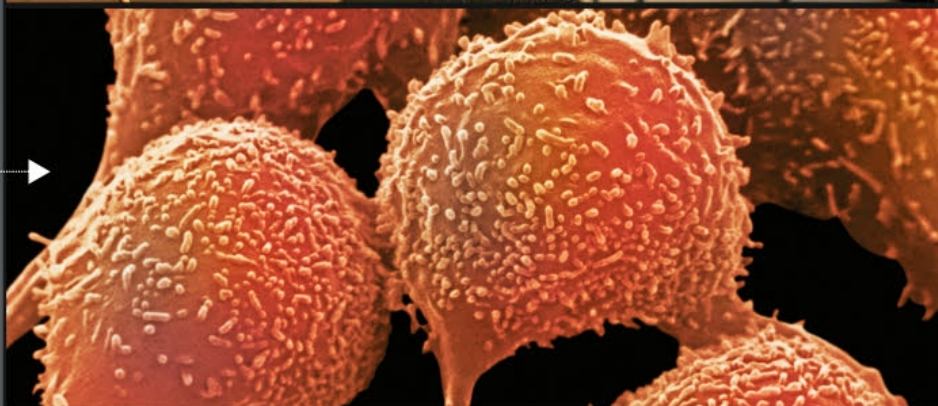
*Vraies causes, faux remèdes...
Ce qu'il faut savoir pour assainir l'air dans sa maison*



124

QUESTIONS/ RÉPONSES

Envoyez-nous vos questions et gagnez un abonnement d'un an à *Science & Vie*.



130

TECHNOFOLIES

La "balle" qui photographie tout au bond; un kit pour assembler le mobile de son choix, etc.



136

LE CIEL DU MOIS



EN PRATIQUE

BON À SAVOIR

GARE AU SEL DANS LES MÉDICAMENTS!

En comparant le risque d'accident cardio-vasculaire chez des patients prenant des cachets effervescents. Des chercheurs écossais en ont conclu que les médicaments salés peuvent augmenter le risque d'AVC jusque de 16 %. "BMJ", novembre 2013

PHOTOGRAPHIER EMPÊCHE DE BIEN SE SOUVENIR

Visiter un site touristique à travers l'œil de l'appareil photo n'est pas la meilleure manière d'en conserver le souvenir ! La preuve ? Une étude menée au sein d'un musée américain a révélé que les visiteurs reconnaissaient moins bien les œuvres qu'ils avaient vues la veille s'ils les avaient photographiées au lieu de simplement les observer. En revanche, quand ils prenaient des photos demandant plus d'implication, comme de zoomer sur un détail par exemple, leur mémoire était tout aussi bonne. Selon les chercheurs, prendre une photo encourage à se fier à une mémoire externe plutôt qu'à sa propre mémoire. "Psychol. Sci.", décembre 2013



BU APRÈS 17 H, LE CAFÉ EMPÊCHE BIEN DE DORMIR

Une étude révèle que le temps de sommeil diminue et les réveils augmentent si on boit du café 6 h, 3 h ou juste avant de se coucher. Pris 6 h avant, le café retarde 2 fois plus le moment de s'endormir et ferait perdre plus d'une heure de sommeil. "Journal of clinical sleep medicine", nov. 2013

UNE APPLI SUR LA PROPRETÉ DE NOS RIVIÈRES

Enrichie des données de 5000 stations de surveillance, l'application gratuite pour mobile "Qualité rivière" informe sur l'état de nos cours d'eau : santé des poissons, polluants, micro-algues... "les-sciencesdeleau.fr", nov. 2013

L'HOROSCOPE AFFECTE PLUS CEUX QUI Y CROIENT PEU

Des chercheurs américains ont comparé les effets à court terme d'un horoscope négatif sur des personnes qui pensent pouvoir influencer sur le cours de leur vie, et d'autres qui croient leur destin immuable. Résultat : les plus affectées sont les premières, qui s'autorisent alors des plaisirs immédiats (manger du chocolat...), au détriment d'actions vertueuses plus rébarbatives (faire le ménage...). A la lecture de leur horoscope, elles s'imaginent en effet devoir faire preuve d'une grande volonté pour contrer le déplaisir annoncé, ce qui les empêche d'utiliser cette même volonté pour des tâches utiles ou pour résister aux tentations. "J. Consum. Res.", à paraître





INUTILE DE BLUFFER, IL EST PLUS EFFICACE DE RÉVÉLER SON JEU

Quand on négocie, rien ne sert de bluffer ou d'être trop suspicieux : révéler ses priorités permet d'atteindre le plus souvent un accord gagnant-gagnant. Une équipe multidisciplinaire l'a démontré en suivant des étudiants d'une école de commerce chargés de mener à bien une négociation commerciale avec un interlocuteur virtuelle. Quand celui-ci clarifiait ses objectifs, invitant la partie adverse à faire de même, un accord était atteint dans 80 % des cas. Une attitude fructueuse, même avec des personnalités plutôt cyniques, qui s'ouvraient ainsi à la coopération. "IEEE Intell Syst.", à paraître

COMMENT PROTÉGER SA VIE PRIVÉE SUR LE NET

La Commission nationale de l'information et des libertés livre sur son site des conseils pour limiter nos traces quand nous surfons : bloquer des "cookies" et des publicités, empêcher l'installation de traceurs, éviter de tout partager sur les réseaux sociaux... "cnil.fr", déc. 2013

IL N'EST JAMAIS TROP TARD POUR BOUGER

Des seniors devenus actifs sur le tard ont 3 fois plus de chances de vieillir en bonne santé. Une activité physique hebdomadaire aide, même tardivement, à limiter les maladies chroniques et l'altération de nos capacités physiques et mentales. "Brit. Journal of Sports Med.", nov. 2013

UN BENJAMIN RESTE PETIT AUX YEUX DE SA MÈRE

En demandant à 747 mères d'indiquer la taille de leurs enfants, des chercheurs ont découvert qu'elles la sous-estimaient largement lorsqu'il s'agissait d'un enfant unique ou de leur benjamin : de 7,5 cm en moyenne ! Alors que la taille estimée de l'aîné était exacte. "Curr. Biol.", déc. 2013

AVIS AUX FUTURS PAPAS : MANGEZ DES ÉPINARDS !

De plus en plus d'études suggèrent que l'alimentation du père influe sur la santé de ses futurs enfants. Une étude menée sur des souris montre ainsi qu'une alimentation pauvre en vitamine B9 est associée à un risque plus grand de malformations chez sa progéniture, augmentant même les risques de cancer et de diabète. Si cet effet, imputé à des modifications de l'ADN dans les spermatozoïdes, reste à confirmer chez l'homme, il ne peut pas faire de mal de manger des légumineuses ou certains légumes feuilles (épinards...). "Nat. Commun.", déc. 2013





EN PRATIQUE

ZOOM DU MOIS

Par Kheira Bettayeb

Vraies causes, faux remèdes...

Ce qu'il faut savoir pour assainir l'air dans sa maison

Nombre d'études le confirment : l'air de nos logements est toxique. Quelles sont les causes de cette pollution intérieure ? Quels remèdes sont efficaces et lesquels ne le sont pas ? Voici nos conseils pour mieux respirer chez soi.

Entre l'air qu'on respire chez soi et celui qu'on respire à l'extérieur, le plus pollué n'est pas celui qu'on croit. Certes, certaines substances toxiques sont propres à l'extérieur ; mais celles que les experts en santé publique traquent à l'intérieur des logements y sont bien plus concentrées que dehors : en moyenne, l'air intérieur est de 5 à 10 fois plus pollué qu'à l'extérieur ! (étude UFC-Que choisir du 25 août 2009). Et près d'un logement français sur dix est très pollué

(présence simultanée de 3 à 8 polluants en très fortes doses, d'après l'Observatoire de la qualité de l'air intérieur – Oqai). Or, nous passons jusqu'à 90 % de notre temps dans des endroits confinés...

Peu inquiétante il y a encore quinze ans, la pollution de l'air intérieur focalise de plus en plus l'attention des pouvoirs publics, à mesure que s'accumulent les études. La crise pétrolière de 1973 et les réglementations successives (la dernière en 2012) ont conduit à une meilleure

isolation des bâtiments pour économiser l'énergie. D'où un confinement de plus en plus efficace de nos habitats. Certes, les débits de ventilation fixés par les arrêtés du 24 mars 1982 et du 28 octobre 1983 permettent de contrebalancer le confinement dû à l'isolation. Sauf qu'ils ne sont appliqués que... dans un logement sur deux (Oqai), en raison d'une installation ou d'un entretien déficient !

"AÉRER ET VENTILER"

En parallèle, les produits polluants (matériaux de construction, produits ménagers, etc.) n'ont cessé de se diversifier. A tel point qu'en octobre dernier, le gouvernement a lancé un "Plan d'actions pour améliorer la qualité de l'air intérieur".

Issus de sources variées (chauffage, produits ménagers, animaux, etc.), ces polluants (formaldéhyde, l'ennemi n° 1 ; monoxyde de carbone ; moisissures...) peuvent induire maux de tête, fatigue, irritation des yeux, nausées, etc., voire, à long terme, des cancers. Certaines personnes – enfants, femmes enceintes, personnes âgées ou asthmatiques – étant plus vulnérables.



Les enjeux sanitaires et économiques sont considérables. En France, 3,5 millions de personnes sont asthmatiques, 50 000 souffrent d'insuffisances respiratoires graves. Cela coûterait entre 10 et 40 milliards d'euros par an, dont 1 milliard pour le remboursement des médicaments anti-asthme (ministère de l'Ecologie).

A ce jour, les effets de la pollution domestique sur la santé ne sont pas encore tous complètement bien évalués. Mais les connaissances actuelles suffisent pour agir

Vous avez dit "pollution intérieure" ?

Composés organiques volatiles (benzène, formaldéhyde, éthers de glycol...), particules fines, monoxyde de carbone, allergènes produits par les moisissures ou les animaux domestiques, dioxyde d'azote, radon, chloramines... Telles sont les substances toxiques susceptibles de se mêler à l'air que nous respirons à la maison. Les plus préoccupantes sont le benzène et le formaldéhyde des produits ménagers ou des matériaux de construction et d'ameublement. La loi Grenelle 2 en rendra la surveillance obligatoire à partir de 2015 dans les bâtiments accueillant du public.



chez soi. “Réduire toutes les sources de pollution possibles, bien aérer en ouvrant grandes ses fenêtres au moins dix minutes par jour, et bien ventiler”, conseille Gilles Aymoz, de l’Ademe.

Quelles sont au juste les principales sources de pollutions? Comment bien aérer? Quels sont les remèdes réellement efficaces et ceux qui, prétendus tels, ne le sont pas, voire aggravent la situation? Les pages suivantes apportent toutes les réponses pour assainir au mieux l’air que vous respirez chez vous.

Comment évaluer la qualité de l’air chez soi ?

Le taux d’humidité (la norme est entre 40 et 60 % à 18-22 °C) peut être mesuré via un hygromètre. Pour les polluants chimiques, il existe pour certains des valeurs de concentration bien établies en deçà desquelles il n’y a aucun risque pour la santé – hors personnes sensibles – (formaldéhyde : 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; benzène : 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$;

CO : 100 mg/m^3 , etc.). Mais on ne trouve pour l’instant pas d’appareils assez fiables pour indiquer quand ces doses sont atteintes. Reste donc à inspecter les lieux (moisissures, présence d’humidité) et à traquer les mauvaises odeurs, indices possibles de polluants. Cela ne suffit néanmoins pas toujours. Car certaines

moisissures sont invisibles à l’œil nu et le monoxyde de carbone, par exemple, est inodore. En cas de troubles avérés, on peut faire réaliser, sur prescription médicale, des mesures par les conseillers médicaux en environnement intérieur (Cmei), qui travaillent pour certaines mairies, centres hospitaliers ou médecins.



MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION, DÉCORATION, MOBILIER

Ils sont la cause principale de pollution intérieure

Ces matériaux émettent plusieurs substances toxiques, dont des cancérigènes avérés : formaldéhyde (panneau de bois aggloméré, matières plastiques, moquettes, peintures...), radon (bétons de schistes alunifères, roches granitiques...), benzène (produits de bricolage, moquettes...), styrène (matières plastiques, matériaux isolants...), etc. Les

meubles en bois aggloméré peuvent dégager des substances nocives pendant plusieurs mois après l'ouverture de l'emballage... Même les matériaux dits "naturels" peuvent émettre des polluants : c'est le cas des bois traités avec des pesticides. Depuis le 1^{er} janvier 2012, les produits de construction et de décoration sont étiquetés selon leur niveau de polluants

émis (sur une échelle de A+ à C). Or, selon l'association l'UFC - Que choisir, même un produit classé A contribue "fortement" à la pollution de l'air intérieur : il est autorisé à émettre jusqu'à 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de formaldéhyde alors que la valeur sans risque est 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. "En magasin, impérativement se cantonner aux produits classés A+", conseille l'association.

HUMIDITÉ

Près d'un foyer sur deux touché

L'humidité est produite par les bains, le lavage et le séchage du linge, la cuisson d'aliments, ainsi que par les rejets de vapeur d'eau du métabolisme humain et animal. Une humidité relative supérieure à 70 %, à une température de plus de 5 °C, favorise la prolifération de moisissures, acariens et autres indésirables

(blattes...), émetteurs d'allergènes, responsables de 15 à 20 % des allergies totales. Les moisissures se développent sur le papier, le bois, ou le cuir, dans des ambiances peu ventilées, humides, et à des températures comprises entre 15 °C et 30 °C. En France, ce sont 40 % des logements qui sont touchés par des moisissures, et

64 % de ces contaminations sont indétectables lors d'un simple examen visuel. Il peut aussi y avoir dégagement de polluants chimiques (formaldéhyde...) dû à la dégradation de certains matériaux de revêtements et construction et du mobilier (colles, par exemple...). Attention : en hiver le risque d'humidité est plus grand.

TABAC

C'est le polluant le plus dangereux

Vous y êtes exposés même si on ne fume qu'occasionnellement chez vous. Et aérer ne semble pas y faire grand-chose : "Même en fumant fenêtres ouvertes, les composants de la fumée restent dans l'air. Ils sont en partie absorbés par les rideaux, tissus, moquettes et continuent d'être émis plus tard dans l'air", sou-

ligne l'Institut national de prévention et d'éducation pour la santé (Inpes). La fumée de tabac renferme plus de 3000 substances volatiles nocives (formaldéhyde, benzène, toluène, particules, monoxyde de carbone, etc.), dont plus de 60 favorisent ou provoquent des cancers (formaldéhyde, benzène...). Les

effets sur la santé concernent les fumeurs mais aussi les non-fumeurs, dont les enfants et le fœtus (victimes de tabagisme passif) : irritation des yeux, du nez, asthme et allergies, cancers (des poumons, de la face...), maladies cardiovasculaires, retard de croissance du fœtus, etc. S'il n'y

a pas d'étude précise sur le sujet, les particules fines (cendres) dans un cendrier peuvent aussi être toxiques : mises en suspension dans l'atmosphère par un courant d'air, elles pourraient être inhalées et aggraver certains troubles : toux, respiration difficile, asthme, bronchite, maladies cardiaques, etc.





PRODUITS D'ENTRETIEN

Tous polluants !

Les produits de ménage multi-usages (Javel, lave-surface...) ou spécifiques (lave-vitre, décapant pour le four, nettoyeurs pour moquette, détachants, lessive...) émettent tous des substances toxiques (formaldéhyde, styrène, benzène, toluène, etc.). Qu'ils soient en liquide, crème, lingette, ou en poudre. Pour les nettoyeurs multi-usages, l'Institut national

de l'environnement industriel et des risques (Ineris) a établi le classement suivant, du moins polluant au plus nocif : lingettes, liquide, spray. Effets sur la santé : troubles respiratoires, irritation des yeux, du nez de la gorge, risques accrus d'allergies et de cancers. L'eau de Javel produit des chloramines qui peuvent irriter les yeux et les voies respiratoires

supérieures. Les produits naturels (vinaigre d'alcool, savon noir, bicarbonate de soude...) sont inoffensifs pour une utilisation domestique. Les insecticides (antimites...) et les produits de traitement du bois, des animaux domestique et des plantes émettent des pesticides, qui peuvent provoquer irritation des yeux, nausées et vomissements.

SOL RICHE EN RADON

Des régions à risque majoré

En Bretagne, dans le centre de la France, les Alpes, les Vosges ou en Corse, le risque de pollution par le radon (Rn), un gaz radioactif naturel, incolore et inodore, présent dans le sous-sol granitique ou volcanique de ces régions, est très important. Classé cancérogène certain, le Rn est le second facteur de risque de cancer du poumon, après le tabac (d'après

l'Institut national du cancer). Issu de la désintégration de l'uranium et du radium dans la croûte terrestre, il migre du sol jusqu'à l'atmosphère, et peut entrer dans l'habitat via une fissure dans la surface au contact du sol, un mur, ou une canalisation. Il peut se trouver piégé à l'intérieur si le logis est mal ventilé. Alors qu'en France la teneur en Rn d'un loge-

ment doit être inférieure à 400 becquerels par mètre cube (Bq/m³) et que l'OMS conseille 100 Bq/m³, des concentrations de plusieurs milliers de Bq/m³ ont été relevées dans certains bâtiments ; et une trentaine de départements (en Bretagne, Auvergne, Limousin...) sur 101 au total ont une dose moyenne dans les habitations supérieure à 100 Bq/m³ (Irsn).

CHAUFFAGE ET EAU CHAUDE

A l'origine de milliers d'intoxications

Gare au monoxyde de carbone (CO) ! Première cause de mortalité par intoxication en France, ce gaz incolore et inodore provoque 4 000 intoxications et une centaine de décès chaque année. Seul un Français sur 10 estime courir un risque d'être intoxiqué, alors que 77,5 % sont équipés d'au moins un appareil de chauff-

fage à combustion (ministère de la Santé). Le CO se forme lors d'une mauvaise combustion avec un appareil ou un moteur fonctionnant au gaz, au bois, au charbon, à l'essence, au fuel ou à l'éthanol : chaudières, chauffe-eau, poêles, radiateurs, convecteurs à combustibles (poêles à pétrole), cheminées, chauffages

d'appoint, groupes électrogènes ou pompes thermiques, ainsi que braseros et barbecues. Attention donc s'ils sont vétustes ou mal entretenus ; et aux chauffages d'appoint, conçus pour ne fonctionner que temporairement et par intermittence. Le CO s'accumule aussi en cas de mauvaise aération/ventilation

(grilles obstruées...), ou quand les conduits de fumée sont mal ramonés. Signes avant-coureurs d'une intoxication : vertiges, maux de tête, nausées, etc. Autres dangers : le NO₂ (irritation des yeux...) issu surtout des cuisinières à gaz ; et le SO₂ (toux, etc.), produit par la combustion de charbon ou de mazout.



PRODUITS PHOTOCATALYTIQUES

Rien ne prouve leur efficacité... ni leur innocuité

La photocatalyse dégrade les composés chimiques, en présence de dioxyde de titane et de lumière, naturelle ou artificielle. On trouve de nombreux produits "photocatalytiques" : peintures, papiers muraux, bétons, carrelages, objets de décoration... Ceux-ci sont souvent vantés comme une solution universelle contre les polluants chimiques et biologiques.

Or, si l'efficacité de la photocatalyse a été prouvée en laboratoire, ce n'est pas le cas aux conditions réelles d'un logement. De plus, l'innocuité des produits photocatalytiques n'a pas été démontrée. La photocatalyse de certains polluants chimiques, les composés organiques volatils, engendre parfois des produits dangereux pour la santé : formaldéhyde, com-

posés carbonylés, endotoxines... De plus, si elles sont libérées de leur support, les particules mêmes de dioxyde de titane pourraient provoquer des cancers du poulmon (risque déjà avéré chez le rat). "En l'état actuel des connaissances, nous ne recommandons pas les produits photocatalytiques", souligne Gilles Aymoz, expert à l'Ademe. Prudence, donc.

PLANTES

Elles ne

Non, les plantes d'intérieur n'ont pas de vertus "dépolluantes". Cette croyance se base sur des travaux réalisés en laboratoire par le chercheur américain Bill Wolverton au début des années 1980, dans des conditions contrôlées de température, d'humidité, et de polluants. Mais testées en logement, les plantes se sont avérées très peu efficaces pour dépolluer l'air. En 2011,



AÉRATION

Efficace, à condition d'ouvrir les fenêtres...

Lorsqu'il fait froid dehors, on est tenté de garder les fenêtres fermées pour ne pas perdre de chaleur : environ 23 % des Français n'ouvrent jamais ou quasi jamais lorsque leur chauffage "tourne" (Oqai). Or, la pollution de l'air intérieur ne s'arrête pas en hiver. Pis : à cette période, le risque d'humidité est plus grand. Notamment parce qu'on

est plus souvent à l'intérieur (rejet de vapeur d'eau par la respiration) et que l'on fait plus souvent sécher son linge dans son logis. Or, l'humidité favorise le développement de moisissures et d'autres sources de pollutions. Dès lors, aérer, fenêtres grandes ouvertes et si possible en créant un courant d'air, est indispensable pour diluer les pol-

luants et évacuer l'humidité en excès. Surtout si le logement est dépourvu de ventilation, rendue obligatoire seulement depuis 1982. Pour concilier bonne aération et perte limitée de chaleur, il est bon d'"éteindre les radiateurs sous les fenêtres, qui fonctionnent à pleine puissance quand l'air froid passe devant ; et les rallumer après", comme le

recommande Gilles Aymoz, chef du service Evaluation de la qualité de l'air, à l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (Ademe). Autre conseil : adapter l'aération aux activités. Ouvrir pendant et/ou après chaque activité polluante (aspirateur, douche, cuisine, bricolage, linge...), et utilisation de produits chimiques.

purifient pas l'air

l'étude française Phytair portait sur 3 plantes courantes (*Chlorophytum comosum*, *Dracaena marginata*, *Scindapsus aureus*) et 3 polluants majeurs (benzène, monoxyde de carbone - CO - et formaldéhyde) dans une maison de 140 m². Elle a montré que si les plantes, la terre et les microbes dans le pot, peuvent absorber benzène et CO, leur action est insignifiante par

rapport à une simple aération. "Pour obtenir le même résultat que celle-ci, il faudrait mettre... plusieurs centaines de plantes dans 8m³!", précise Benjamin Hanoune, chercheur à l'université de Lille-I, et co-auteur de l'étude. Attention, la terre du pot est souvent riche en moisissure dont les spores peuvent induire des allergies. Gare aussi aux produits phytosanitaires d'entretien des plantes.



DÉSODORISANTS

Ils font plus de mal que de bien !

Loin d'assainir l'air, ces produits sont de véritables "polluants d'ambiance", comme les a qualifiés dès 2004 l'association de consommateurs UFC - Que choisir. Qu'ils soient sous forme liquide ou solide, de spray ou de diffuseur, tous sont riches en composés toxiques, dont certains favorisent des cancers (formaldéhyde, benzène...) ou des allergies (terpènes). *Idem* pour les encens, le papier d'Arménie (papier à la résine de benjoin) et les bougies parfumées, dont la combustion dégage en plus du monoxyde de carbone, qui est mortel à forte dose. Selon une étude réalisée par l'Institut national de l'environnement industriel et des risques (Ineris), les encens sont les pires. En se basant sur la teneur en certains polluants (ben-

zène, toluène, etc.), l'institut est arrivé à la classification suivante, en allant des plus polluants aux moins nocifs : encens, diffuseurs lents (en gel ou liquide), diffuseurs électriques, sprays, et bougies (le papier d'Arménie n'a pas été étudié). Le "Plan d'actions pour améliorer la qualité de l'air intérieur", lancé en octobre dernier par le gouvernement, vise un étiquetage obligatoire des désodorisants, bougies et autres masquants d'odeur, en fonction de leurs émissions. "Les encens qui émettent plus de 2 µg/m³ de benzène seront bientôt interdits à la vente", précise Sylvie Dubrou, directrice du Laboratoire d'hygiène de la ville de Paris. Bref, privilégier l'aération et la ventilation, et réduire les sources polluantes !

CLIMATISATION ET VENTILATION

Mal entretenues, elles sont néfastes

Un système de ventilation encrassé renouvelle moins bien l'air intérieur. Pis, il y insuffle des polluants (poussières, pollens, etc.). Dans la moitié des logements français avec une ventilation mécanique contrôlée, les débits d'air extraits sont insuffisants, et plus de 70 % de ces carences sont liées – en partie – à des bouches

d'extraction en mauvais état (Oqai)... Pour l'entretien, astiquer les bouches d'extraction et d'insufflation environ deux fois par an, avec un chiffon sec ou légèrement humide. Changer (et non nettoyer) les filtres du caisson de ventilation une à trois fois par an, au moins une fois après la saison des pollens. Et faire réaliser un entretien

complet par un professionnel tous les trois ans. "Dans nos habitats où l'isolation de plus en plus performante empêche les entrées d'air 'parasites', une ventilation bien installée et bien entretenue est primordiale contre le confinement", souligne Pierre Deroubaix, spécialiste de la ventilation à l'Ademe. Une climatisation non entretenue peut

aussi insuffler des polluants. "Dépoussiérer les filtres de l'unité intérieure par aspiration, et la carrosserie de l'unité interne avec un chiffon; et s'assurer que l'unité extérieure est bien dégagée. L'entretien complet par un spécialiste est à faire tous les ans", précise Jérôme Balat, chef de produit "climatisation" chez le fabricant Atlantic.



EN PRATIQUE

QUESTIONS RÉPONSES





D'où vient que les femmes souffrent plus d'Alzheimer?

Question de Raymond Deville, Le Cannet (06)

A vrai dire, cette assertion n'est correcte qu'après 70 ans. Avant, ce sont les hommes qui sont un peu plus souvent touchés par la maladie d'Alzheimer. Entre 65 et 69 ans, ils sont environ 2 % à être concernés, contre 1,4 % des femmes. Un décalage somme toute assez faible, et à une période de la vie où les cas diagnostiqués sont encore rares. Mais les années passant, un basculement s'opère. A partir de 70 ans, la maladie touche presque 4 % des femmes, contre 3,2 % des hommes. Pour tous, le risque continue d'augmenter avec l'âge, mais l'écart entre les deux sexes

ne cessera plus de se creuser, les femmes payant un tribut de plus en plus lourd. Chez les plus de 95 ans, la proportion de malades culmine ainsi à 48,8 % chez ces dernières, contre 32,4 % du côté des hommes.

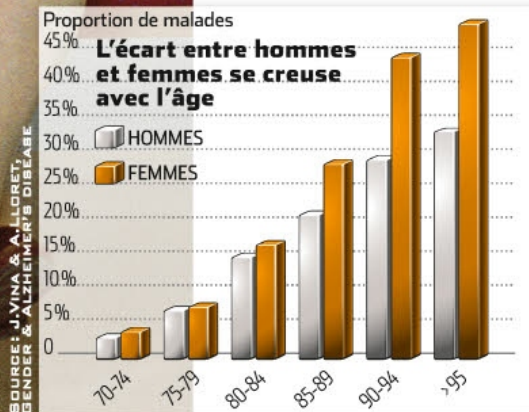
LA FAUTE À UNE PLUS LONGUE DURÉE DE VIE

En France, selon les estimations des épidémiologistes, 850 000 personnes vivraient avec la pathologie. Dont une majorité non diagnostiquée. Toujours est-il que parmi les 316 000 patients souffrant d'Alzheimer ou de démences apparentées officiellement déclarés en 2010 auprès de l'assurance maladie, 73 % sont des femmes.

L'explication la plus immédiate met en avant l'écart d'espérance de vie entre les deux sexes : 78,5 ans en moyenne chez les hommes, contre 84,9 ans pour les femmes. *"Dans les tranches d'âge les plus élevées, où la démence est plus fréquente, les femmes sont beaucoup plus nombreuses que les hommes. Elles sont donc également plus nombreuses à développer la maladie et à être diagnostiquées"*, précise

Carole Sereni, chef du service de neurologie de l'hôpital Léopold-Bellan, à Paris. Mystère résolu? Pas tout à fait. Dans le détail, le décalage entre l'espérance de vie des hommes et des femmes est bien un facteur significatif, mais uniquement pour la tranche d'âge la plus avancée. Car c'est au-delà de 90 ans seulement que la population devient très largement féminine, à 70 %. Chez les "plus jeunes", en revanche, entre 70 et 80 ans, il y a quasiment autant de femmes que d'hommes. Et pourtant, le nombre de femmes touchées reste supérieur...

Une deuxième hypothèse considère le facteur de l'obésité, qui concerne plus souvent la gent féminine. Selon les dernières enquêtes sur le poids des Françaises, elles sont 17,5 % à souffrir d'obésité entre 45 et 55 ans, pour 14,5 % des hommes. Or, d'après une étude de 2005, le surpoids à l'âge adulte augmente le risque de développer, plus tard, la maladie d'Alzheimer ou une démence liée à l'âge. Il s'élève en effet à 17 % chez les personnes obèses, contre 5 % pour celles de poids moyen. →



➔ Passé 70 ans, la maladie affecte de plus en plus les femmes; le risque augmente moins vite chez l'homme.



→ Troisième raison possible: le traitement hormonal substitutif (THS), prescrit aux femmes lors de la ménopause afin de remplacer les hormones œstrogènes qui ne sont plus produites par leurs ovaires. *“Si les œstrogènes n’augmentent pas le risque de démence quand ils sont pris à 50 ans, l’âge auquel on peut commencer à les prescrire, ils accroissent ce danger lorsqu’ils sont administrés après 65 ans. Or, cela était souvent le cas jusqu’au milieu des années 2000, avant que la durée maximale du THS soit limitée à cinq ans”*, explique Carole Sereni. En 2002, près de 7 % des femmes de plus de 65 ans suivaient un THS.

Dernière piste, certains facteurs psychosociaux, plus fréquents chez les femmes, favoriseraient la maladie: en particulier, leur moindre activité professionnelle et leur plus faible niveau d’éducation. En 1960-61, les jeunes filles (aujourd’hui des femmes de plus de 70 ans) représentaient, selon l’Observa-

toire des inégalités, 43 % des étudiants à l’université. Or, en 2005, une grande étude a montré que 80 % des femmes avec une expression écrite pauvre sur le plan linguistique développaient la maladie d’Alzheimer en vieillissant, contre seulement 10 % de celles avec une certaine “densité linguistique”. Les activités intellectuelles, des jeunes années au grand âge, semblent protéger le cerveau.

PLUS D’ÉTUDES, MOINS D’ALZHEIMER ?

Aujourd’hui, si certaines inégalités entre hommes et femmes persistent, notamment dans le milieu professionnel – par exemple, huit travailleurs à temps partiel sur dix sont des femmes –, d’autres s’atténuent. C’est le cas pour l’accès aux études. En 2012-2013, 58 % des étudiants étaient des étudiantes. Ce phénomène contribuera-t-il à réduire la fréquence de la maladie d’Alzheimer parmi les femmes âgées des années 2070 et 2080 ? La question reste ouverte. **K.B.**

UNE MALADIE QUI DÉTRUIT LES NEURONES

Découverte en 1906 par Aloïs Alzheimer, la maladie qui porte son nom est une affection du cerveau dite neurodégénérative (qui entraîne une disparition progressive des neurones). Deux types de lésions apparaissent dans les cellules nerveuses du cerveau: une accumulation anormale de protéines Tau et la formation de plaques amyloïdes, ou “plaques séniles”, qui asphyxient les neurones. L’hippocampe, siège de la mémoire, est généralement la première région atteinte. Les patients commencent par ressentir des difficultés à reconnaître des odeurs, des objets ou des personnes, puis à s’exprimer... Au fur et à mesure, tandis que d’autres zones du cerveau sont touchées, les capacités d’orientation dans le temps et dans l’espace disparaissent progressivement. **C.T.**

Quelle est la taille de l’Univers ?

Question de Rolland-Pierre Baqué, Bobigny (93)

La réponse à votre question est on ne peut plus simple: les cosmologistes n’en ont pas la moindre idée ! Ce qui peut sembler étonnant dans la mesure où la théorie de la relativité générale permet de décrire l’évolution de l’Univers entier depuis sa naissance. Sauf que la théorie est peu diserte en ce qui concerne les propriétés géométriques du cosmos. Même nourrie des observations les plus précises, elle n’est finalement capable de se prononcer que sur une chose: la courbure de l’Univers, qui serait nulle. Ce qui veut simplement dire que si l’on prend trois points de l’espace-temps, on obtient un objet plat – un triangle, et non une pyramide.

Cette donnée ne suffit pas à déterminer la taille de l’Univers, qui, selon les lois de la topologie (l’étude des déformations spatiales), pourrait aussi bien être finie qu’infinie. Sachant que d’après la théorie de l’inflation, qui complète depuis trente ans le modèle du big bang, le cosmos aurait connu une période d’expansion brutale dans ses premiers instants et pourrait être devenu aujourd’hui infiniment grand.

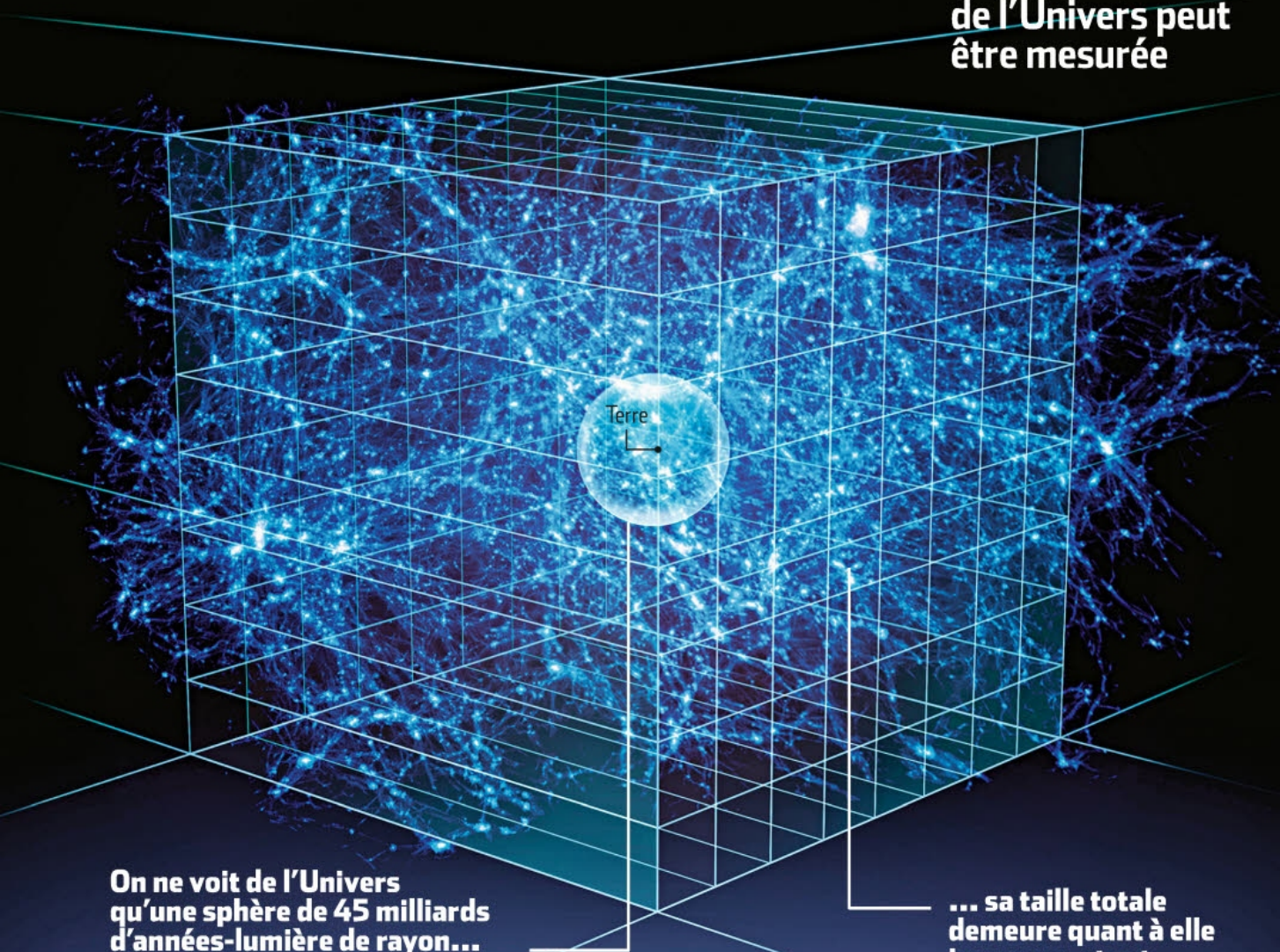
Au sein de ce cosmos aux frontières si floues, il existe

une “bulle” dont la taille est toutefois connue: l’Univers observable. Soit sa partie visible, qui englobe tous les points de l’espace suffisamment proches de nous pour avoir eu le temps de nous faire parvenir leur lumière.

LES CONFINES DU COSMOS NE CESSENT DE S’ÉLOIGNER

Pour mesurer sa taille, faisons un rapide calcul. Aucune particule de lumière n’a pu voyager plus longtemps que l’âge de l’Univers (estimé à 13,8 milliards d’années), et celles qui ont voyagé tout ce temps avant de nous parvenir proviennent fatalement des régions les plus lointaines que nous puissions voir depuis la Terre. La taille de cet Univers observable est donc de 13,8 milliards d’années-lumière, serait-on tenté de répondre... Pas si simple. Car à cause du phénomène d’expansion de l’Univers, le lieu d’origine de ces particules de lumière s’est éloigné de nous en même temps que ces dernières se propageaient dans notre direction. D’après le modèle cosmologique en vigueur, ses confins se situeraient en fait aujourd’hui à 45 milliards d’années-lumière, faisant de l’Univers observable une

**Seule une partie
de l'Univers peut
être mesurée**



**On ne voit de l'Univers
qu'une sphère de 45 milliards
d'années-lumière de rayon...**

Les plus lointaines particules de lumière qui peuvent nous parvenir sont situées à 13,8 milliards d'années-lumière (l'âge de l'Univers). Mais du fait de l'expansion du cosmos, leur lieu d'origine ne cesse de s'éloigner. L'Univers visible serait ainsi une boule, dont la Terre occupe le centre, de 45 milliards d'années-lumière de rayon.

**... sa taille totale
demeure quant à elle
inconnue, et est
peut-être infinie**

Il est impossible d'observer quoi que ce soit en dehors de la partie visible de l'Univers, dans ces régions si lointaines que la lumière n'a toujours pas eu le temps de voyager jusqu'à nous.

sphère centrée sur la Terre de 45 milliards d'années-lumière de rayon – soit 450 000 milliards de milliards de kilomètres.

Mais la taille de cette partie visible, pas plus que les observations au sein de cette gigantesque sphère cosmique, ne renseigne sur les

proportions de l'ensemble ni sur l'existence d'une éventuelle frontière... La taille de l'Univers pris dans son intégralité va donc bien au-delà. Aussi floue soit-elle, c'est la réponse la plus précise qu'il est aujourd'hui possible d'apporter à cette vieille interrogation. **M.G.**

GAGNEZ UN ABONNEMENT D'UN AN À

SCIENCE & VIE

Cette rubrique est la vôtre, écrivez-nous !

Nous ne pourrions répondre à toutes et à tous, mais les auteurs des questions que la rédaction sélectionnera se verront offrir un abonnement d'un an à Science & Vie (pour eux-mêmes ou pour une personne de leur choix). La question doit impérativement être rédigée sur une carte postale.

SCIENCE & VIE, QUESTIONS/RÉPONSES
8, rue François-Ory, 92543 MONTRouGE CEDEX.

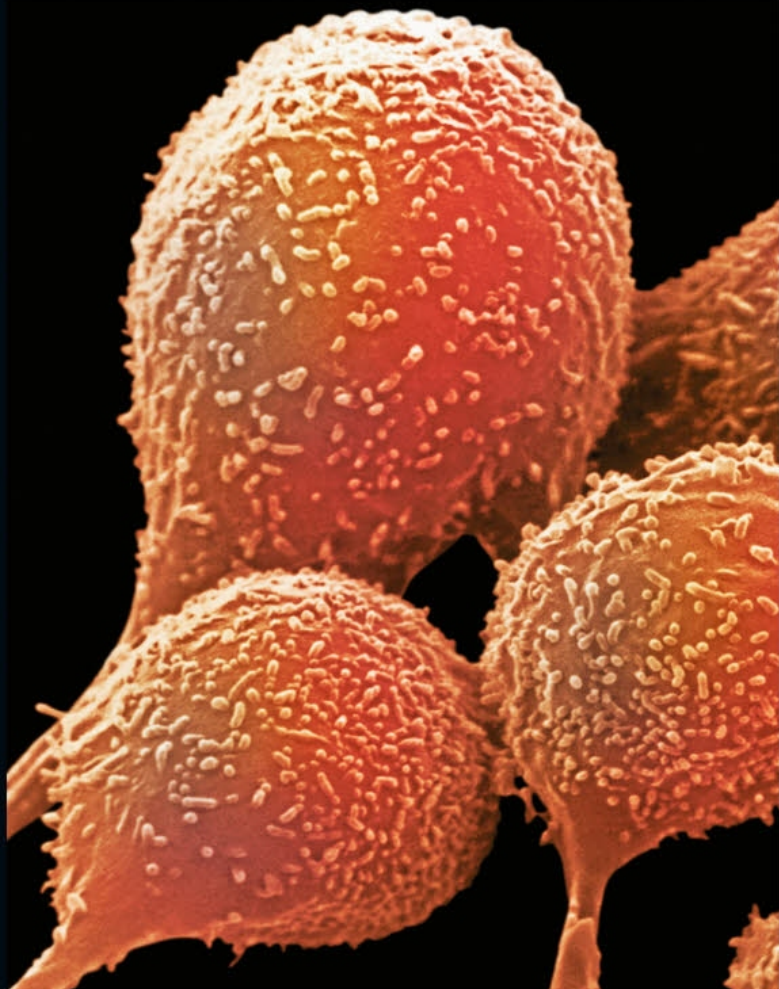


Pourquoi se gratter apaise-t-il les piqûres d'insecte ?

Question de Raphaël Germain, Mareil-Marly

Parce que la douleur provoquée par le grattement est salvatrice ! Quand la femelle moustique pique, elle injecte sous la peau un peu de salive aux vertus anticoagulantes. Cette substance étrangère est aussitôt détectée par notre système humain. Les mastocytes, des globules blancs assurant la défense de l'organisme, libèrent alors une molécule, l'histamine, qui va envoyer des messages nerveux au cerveau pour le prévenir de la présence de l'intrus. C'est cette réaction qui

déclenche l'apparition d'un bouton et la sensation de démangeaison. Or, en nous grattant, nous "agressons" notre peau : les récepteurs à sa surface envoient à leur tour un message au cerveau, pour signaler la douleur. Ce message d'alerte supprime celui qui annonçait la démangeaison, inhibant la désagréable sensation. Mais le répit est de courte durée, car détourner ainsi l'attention du cerveau est temporaire, et ne calme en rien la réaction inflammatoire au niveau du bouton. **M.Go.**



Voyons-nous tous les mêmes couleurs ?

Question de Marc Pierrard, Morville, Belgique

En théorie, oui : sauf malformation génétique, nous possédons tous les mêmes "outils" anatomiques pour appréhender les couleurs. En pratique, cependant, la réponse est plus compliquée. Pour définir une couleur, les physiciens utilisent ce qu'ils appellent la "longueur d'onde", un paramètre mesurable des ondes électromagnétiques qui composent la lumière visible, souvent exprimé

en milliardièmes de mètre (nanomètres). Chaque couleur est ainsi caractérisée par une longueur d'onde bien connue, comprise entre 400 nanomètres pour le violet et 700 pour le rouge.

Comment captons-nous ces différentes couleurs ? La lumière excite les cônes, des cellules nerveuses logées sur la rétine, la membrane qui tapisse le fond du globe oculaire. Certains cônes sont sensibles aux petites

longueurs d'onde (les bleus), d'autres aux moyennes (les verts), d'autres encore aux grandes (les rouges). C'est la combinaison des signaux qu'ils envoient au cerveau qui compose les couleurs telles qu'on les perçoit.

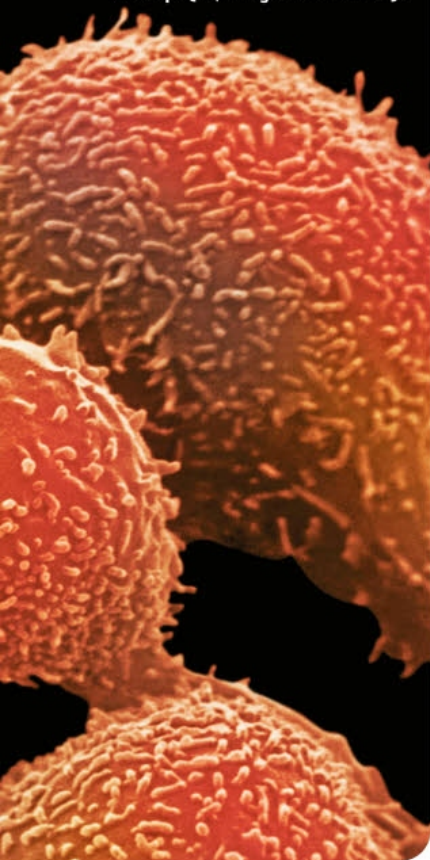
Il arrive que des personnes présentent une déficience ou une absence totale d'un ou plusieurs types de cônes. Dans ce cas, la perception des bleus, des verts ou des rouges peut être amoindrie, voire carrément supprimée. De telles anomalies affectent environ 8 % des

Français. Ces exceptions mises à part, deux personnes aux cônes fonctionnels devraient logiquement distinguer les mêmes couleurs. Mais "*dans le détail, nous sommes tous un peu différents*", indique Françoise Viénot, professeur au Muséum national d'histoire naturelle. Qui précise que "*l'âge ou le sexe peuvent avoir un effet sur notre perception des couleurs*".

CELA DÉPEND AUSSI DE NOTRE ÉTAT D'ESPRIT

A partir de 60 ans, une partie de la population est en effet sujette à la cataracte, une opacification progressive du cristallin qui, en affaiblissant la sensibilité aux bleus,

< La douleur causée par le grattement court-circuite la sensation de démangeaison, réponse de défense du corps (ici, des globules blancs).



Les oiseaux ont-ils froid aux pattes en hiver?

Question de Jean Spaczeka, Gurcy-le-Châtel

Normalement, non. Certes, les pattes de la plupart des oiseaux, dépourvues de plumes, ne sont pas directement protégées. Mais au cours de l'évolution, les volatiles ne migrant pas l'hiver ont développé plusieurs mécanismes pour supporter le froid. Ainsi, la mésange et le cygne se tiennent sur une seule patte, abritant l'autre dans les plumes de leur flanc. Et lorsque la température chute davantage, ils s'accroupissent sur un perchoir afin de couvrir leurs deux pattes.

D'autres oiseaux, comme le goéland ou le pingouin,

sont capables de marcher sur la glace grâce à un système particulier de circulation sanguine, constitué de deux types de vaisseaux adjacents: des artères transportent du sang chaud du corps vers les pattes, tandis que des veines véhiculent un sang plus frais dans le sens inverse. Grâce à ce système d'échange de chaleur, le sang allant vers les pattes est progressivement refroidi, tandis que celui remontant vers le corps est réchauffé. Résultat: la température des pattes, très inférieure à celle du corps, est proche de la température

ambiante. Chez le canard ou la mouette, par exemple, le corps est à 40 °C environ, contre à peine plus de 0 °C pour les pattes! La perte de chaleur depuis les pattes vers l'extérieur est par conséquent très faible. Or, la sensation de froid est directement liée à cette perte de chaleur. L'oiseau dont les pattes ont une température de quelques degrés seulement ne ressent donc pas le froid quand il marche sur un sol gelé.

Cependant, certaines espèces, peu adaptées à un climat froid, comme les tourterelles tristes, peuvent souffrir de températures trop basses, au point d'y perdre parfois quelques orteils... **K.B.**

entraîne un jaunissement des couleurs. Par ailleurs, selon des recherches récentes, certaines femmes seraient munies d'une plus grande variété de cônes, ce qui aiguiserait leur sensibilité à certaines nuances.

Plus généralement, la perception même ne se limite pas à l'activité de nos capteurs sensoriels: les représentations que le cerveau tire de nos sens sont influencées par notre mémoire, notre expérience, notre état mental... L'attention, les perceptions passées et les émotions sont donc susceptibles de faire en sorte que deux personnes observent une même couleur de manière différente. **S.D.**



▲ Cette cigogne, censée passer l'hiver au chaud, n'est sans doute pas à son aise... mais les oiseaux non migrateurs ont, eux, mis en place des mécanismes pour résister au froid.



EN PRATIQUE

TECHNOFOLIES

La “balle” qui photographie tout au bond

Le Panono est une petite “balle” électronique qui, lorsqu'on la lance en l'air, prend simultanément 36 photos, assemblées en une seule vue... sphérique. Image où l'on se balade à 360° en largeur, mais aussi en hauteur !

Imaginez jeter au-dessus de votre tête une balle aussi grosse qu'un pamplemousse – 11 cm de diamètre, 300 grammes sur la balance – embarquant trente-six objectifs miniatures à focale fixe,

les mêmes que ceux utilisés sur la face avant des téléphones mobiles, capables de se déclencher tous en même temps. Qu'obtenez-vous ? Une image entièrement sphérique de 72 mégapixels de résolution, couvrant la totalité de votre environnement. C'est ce qu'offre Panono, un appareil pouvant aussi être pris en main ou déclenché en haut d'un point fixe, tige ou trépied par exemple.

MÉMOIRE FLASH INTERNE

Panono embarque un accéléromètre capable d'identifier le point le plus haut atteint lors du lancer afin de déclencher les trente-six appareils photo en simultané, juste avant que la balle n'amorce sa descente. Une prévisualisation est aussitôt disponible via Bluetooth ou wi-fi sur l'application mobile “maison” – déjà téléchargeable sur l'App Store ou l'Android Market. L'image définitive s'affichant quant à elle, en moins de deux minutes, le temps d'un bref passage par l'espace de stockage en ligne.

Le temps, surtout, que soient calculées les “coutures” entre chacune des images, assurant la qualité finale du panorama sphérique.

Chaque zone des sphères panoramiques peut alors être visualisée depuis une tablette (ou un smartphone) en la pointant dans n'importe quelle direction : à droite, à gauche, en bas, vers le ciel. Il est aussi possible de zoomer, en écartant ou pinçant deux doigts sur l'écran.

Au cœur de la “balle”, une mémoire flash, capable de stocker 400 vues sphériques, et une batterie rechargeable par USB. L'enveloppe extérieure transparente est réalisée en plastique dur – du polycarbonate. La balle résiste ainsi à des chutes de plus de 5 mètres.

L'idée de Panono a germé dans la tête d'un étudiant en génie informatique de l'université technique de Berlin, Jonas Pfeil, lors d'un voyage

▲ L'enveloppe de la sphère (11 cm de diamètre) est en polycarbonate, capable de résister à des chutes de 5 m.

sur les îles Tonga en 2007. Afin d'immortaliser les paysages qui s'offraient à lui, le jeune inventeur souhaite réaliser des panoramiques. Mais la technique classique – qui implique de faire pivoter très lentement un appareil photo puis de réunir manuellement les photos ainsi obtenues – lui semble alors trop complexe et trop lente. “Je me suis alors demandé s'il n'était pas plus facile de réaliser un cliché unique directement plu-

3 DATES CLÉS

1857

Quinze ans après les travaux de Morton et Puchberger sur la photo panoramique, le Britannique Garella invente l'appareil rotatif qui prend une image à 360°.

1994

Apple lance QuickTime VR qui permet d'obtenir des images virtuelles à 360° à partir de plusieurs clichés.

2009

L'étudiant Jonas Pfeil présente à Berlin son premier prototype de balle qui réalise des images à 360°.





Déclencheur à main

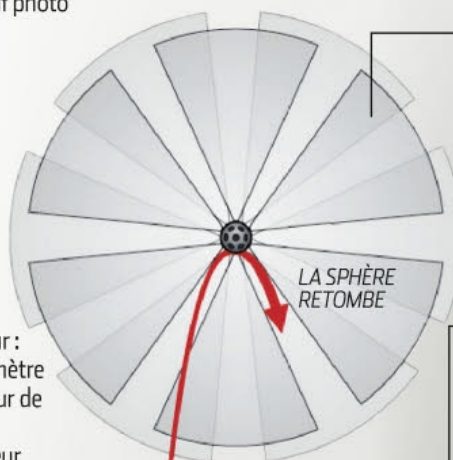
Revêtement antichoc

Objectif photo

A l'intérieur :
- accéléromètre
- calculateur de trajectoire
- déclencheur automatique

Comment ça marche ?

Le Panono est lancé en l'air : à l'instant de retomber, les 36 appareils photos répartis uniformément à sa surface se déclenchent. Assemblées automatiquement, les images donnent une prise de vue sphérique de l'environnement.



2. La prise de vue en rafale se déclenche

L'accéléromètre détermine le moment où la sphère est à son apogée pour déclencher la prise de vue. Les 36 images sont assemblées en une vue globale par un algorithme.

3. La photo est un panoramique à 360°

Connectée par wi-fi ou Bluetooth sur une tablette ou un smartphone, la sphère affiche l'image, que l'on peut parcourir à 360° horizontalement et verticalement.

1. La balle est lancée en l'air

Lorsque l'utilisateur lance le Panono, le circuit électronique interne mesure son accélération initiale.



tôt que de les assembler après coup sur ordinateur", confie Jonas Pfeil. Il a alors l'idée de lancer une balle en l'air. Bingo ! Il va y consacrer son sujet de mémoire de master. Puis il réalise un premier prototype en 2009. Présenté en 2011 à Hong Kong, lors d'une conférence spécialisée dans l'imagerie numérique et interactive, il reçoit un vif succès.

Ont suivi près de trois ans de mise au point, pour aboutir à la version de novembre dernier. "Le premier modèle était trop gros et trop cher pour une production de masse", admet l'inventeur.

EN PRÉ-COMMANDE

Principales difficultés rencontrées : sur le plan matériel, la miniaturisation de l'électronique et la robuste

tesse de l'ensemble. Sur le plan logiciel, l'amélioration indispensable de l'algorithme, pour combiner les trente-six images en un seul panorama. Des difficultés surmontées avec l'aide de deux camarades de promotion et un ancien membre du directoire de la société Leica.

Début janvier 2014, Jonas Pfeil et ses associés réu-

nis en société ont achevé une campagne de financement sur Internet (www.indiegogo.com) afin de pouvoir lancer la commercialisation grand public en Europe à la prochaine rentrée de septembre. Les pré-commandes sont, elles, ouvertes depuis mi-novembre.

Etienne Thierry-Aymé

Prix : env. 410 €.

Rens. : www.panono.com



Un bracelet en guise de mot de passe universel

Comment s'affranchir des nombreux codes et mots de passe que nous utilisons pour déverrouiller notre ordinateur ou payer un achat? Le bracelet biométrique Nymi pourrait être une solution. Conçu par l'entreprise canadienne Bionym, il identifie l'utilisateur grâce aux battements du cœur.

Le rythme cardiaque est en effet propre à chaque personne et non reproductible. Ce bracelet l'enregistre au préalable *via* deux électrodes : l'une, sur l'envers, en contact avec le poignet ; l'autre, au-dessus, sur laquelle on pose

le doigt de la main opposée pour former un circuit électrique (de faible voltage). Un algorithme spécifique compare alors l'électrocardiogramme de l'utilisateur à celui préenregistré. Le bracelet communique alors, par Bluetooth 4.0, avec divers appareils : smartphone, terminal de paiement... Son accéléromètre et son gyroscope intégrés lui permettent même de reconnaître des mouvements simples, comme celui d'ouvrir une portière de voiture par exemple. Les applications prévues au lancement, dès ce printemps, ne sont pas encore connues. **L.B.**

Prix : env. 70 €.
Rens. : www.getnyimi.com

> L'utilisateur est identifié grâce à son rythme cardiaque – propre à chacun – préalablement mémorisé par le bracelet.

Ce petit réchaud recharge également les smartphones

Alors que les réchauds de camping fonctionnent au gaz, celui du fabricant américain Biolite utilise des ressources renouvelables (brindilles, pommes de pins...). Mais, surtout, il recharge votre smartphone ! Son générateur convertit en effet la chaleur du feu en électricité. L'énergie est stockée dans une batterie lithium-ion qui alimente un petit ventilateur interne pour entretenir le feu. Le surplus sert alors à recharger toutes sortes d'appareils mobiles. **L.B.**

Prix : env. 200 €.
Rens. : www.biolitestove.com

> Ce réchaud de camping brûle du bois ou des brindilles tout en rechargeant vos appareils mobiles.





LE CASQUE QUI DIFFUSE LA STÉRÉO DANS UNE OREILLE

C'est la promesse de la société américaine Yuni, tenue grâce au casque audio du même nom. Pour localiser un son, le cerveau utilise la différence de temps qu'il met à parvenir à chacune de nos oreilles mais également la déformation du son due à la forme de nos oreilles. Yuni s'appuie sur ce dernier principe en plaçant les deux haut-parleurs de son casque d'un seul de ses côtés, l'un légèrement au-dessus et l'autre légèrement en dessous du conduit auditif. De cette manière, il devient possible d'entendre en stéréo d'une oreille ! S.F.

Prix : 60 € (pré-commande).

Rens : www.yuniheadphones.com



LE COIN DES PROTOTYPES

UN KIT POUR ASSEMBLER LE MOBILE DE SON CHOIX

Dévoilé dans le cadre du projet Ara de Motorola, ce smartphone en kit, qui s'assemble à la façon d'un Lego, pourrait révolutionner l'univers des téléphones mobiles, en permettant aux utilisateurs de choisir et de changer à volonté les composants de leur appareil. Inspiré du concept Phone-blocks proposé par le designer néerlandais Dave Hakkens, ce smartphone est constitué d'un châssis sur lequel l'utilisateur peut emboîter des composants interchangeables, proposés par le constructeur aussi bien que par des entreprises indépendantes : clavier, caméra ou capteur photo de performance variable, mémoire vive... De quoi optimiser les fonctionnalités de son smartphone à l'aune de ses usages. Sachant aussi que si l'un des modules tombe en panne, il devient possible de changer le composant défectueux. J.G.



Rens : <http://motorola-blog.blogspot.fr/search/label/ARA>

LA LUMIÈRE DU JOUR GRÂCE À DES LENTILLES DE FRESNEL

Pourquoi gaspiller l'énergie à éclairer des pièces sans fenêtres alors qu'il fait jour dehors ? Deux polytechniciens, Florent Longa et Quentin Martin-Laval, ont trouvé le moyen ingénieux de transporter la lumière du soleil jusqu'à l'intérieur des bâtiments (entreprises, écoles, magasins...). Leur système Echy est constitué d'un panneau de 72 lentilles de Fresnel posé sur le toit. Ces lentilles dirigent la lumière naturelle dans des fibres optiques vers la pièce à éclairer. Des lampes spéciales, à base de fibres optiques elles aussi, diffusent alors la lumière du soleil, une lumière suffisante pour illuminer des pièces de 50 à 80 mètres carrés. Et, en fin de journée ou lorsque le ciel s'assombrit, l'éclairage électrique prend automatiquement le relais. En moyenne, l'économie sur la facture est de 20 % dans les régions ensoleillées. La version finale d'Echy devrait être prête fin 2014. L.B.

Rens : www.echy.fr





Un bureau qui vise le confort maximal

En modulant sa hauteur (de 63,5 cm à 129,5 cm) grâce à ses pieds motorisés, Kinetic Desk vous permet de changer de position de travail. Mieux : son microprocesseur mémorise vos habitudes, et vous invite à vous asseoir ou vous lever régulièrement ! Vous pourrez ensuite suivre sur son écran tactile l'évolution de vos postures, la quantité de calories brûlées, et synchroniser votre bureau avec d'autres applications ou appareils de conditionnement physique ! De quoi améliorer votre circulation sanguine et réduire la fatigue musculaire. Une solution aux troubles musculo-squelettiques (TMS), première cause de maladie professionnelle en France ? Il est effectivement reconnu que la position assise prolongée favorise l'apparition de TMS et de problèmes circulatoires. Selon l'INRS, *"un poste de travail doit dans l'idéal être aménagé pour qu'on puisse y travailler debout ou assis"*. D'après ses concepteurs (Stir, une start-up américaine), le Kinetic Desk est également utile... pour la qualité du travail : *"Alterner sa position de travail améliore également la productivité et la créativité"*. Employeurs et travailleurs sont donc servis.

D.H.

Prix : env. 3 000 €. Rens. : www.stirworks.com



▲ Non seulement il s'adapte à votre morphologie, mais son système électronique corrige votre posture régulièrement.

LE DISQUE QUI VOUS DIT CE QUI SE PASSE À LA MAISON

Spotter, du fabricant américain Quirky, est un multicapteur connecté à Internet.

Ce petit disque (7,6 cm x 2,5 cm) détecte la température de l'endroit où il se trouve, le taux d'humidité, le bruit, la lumière, les mouvements même infimes qu'il subit. Par exemple, placé sur la machine à laver, il prévient quand celle-ci s'arrête de tourner en envoyant un message sur votre smartphone. Les scénarios possibles sont innombrables, il ne reste plus qu'à les imaginer et à les programmer grâce à l'application disponible sur le téléphone.

O.L.

Prix : env. 70 €. Rens. : www.quirky.com



Le gant pour téléphoner à moto

Motocyclistes, skieurs et snowboarders peuvent désormais garder leurs gants pour décrocher un appel ou changer de piste musicale sur leur téléphone mobile. Grâce à une batterie et un module Bluetooth cachés dans leur poignet, les modèles ("classique", "moto" et "neige") du fabricant américain Beartek permettent de le piloter à distance. Le long des doigts du gant, six empiècements conducteurs d'électricité font office de boutons de contrôle. Il suffit de les toucher avec le bout du pouce, lui aussi conducteur, pour fermer le circuit électrique, et ainsi activer la commande associée, qui sera transmise au smartphone rangé à l'abri dans une poche. Un module spécifique pour

piloter les caméras GoPro, ces petites caméras hautes définition résistant aux chocs et à l'humidité, est aussi disponible.

O.L.

Prix : à partir de 260 €.

Rens. : www.beartekgloves.com



> Sur les doigts du gant, six empiècements servent à commander le mobile par simple pression du pouce.

EMBARQUEZ POUR LA CROISIÈRE CAP NORD DE SCIENCE & VIE DU 31 MAI AU 11 JUIN 2014

Laissez-vous envoûter par les fjords de Norvège, la beauté des îles Lofoten et le soleil de minuit sur le mythique Cap Nord

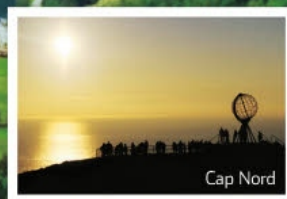


"Rejoignez-moi pour cette nouvelle croisière exceptionnelle."

En présence de Michel Chevalet, maître de cérémonie*



îles lofoten



Cap Nord

Geiranger (Norvège)

BERGEN - FJORDS - ILES LOFOTEN - TROMSO - CAP NORD

12 jours / 11 nuits
à partir de

1995€

EN PENSION COMPLÈTE

Vol Paris/Hambourg inclus

Prix par pers. en cabine double cat. IC.

PLACES LIMITÉES

Croisière gratuite
pour les enfants de -18 ans⁽¹⁾
en cabine triple ou quadruple avec les parents
hors taxes portuaires, vol(s), transferts
et forfait de séjour à bord



LE PROGRAMME* DE VOTRE CROISIÈRE CAP NORD

SCIENCE & VIE

✓ Des conférences passionnantes

- Jean Jouzel, prestigieux climatologue honoré à titre collectif du prix Nobel de la Paix avec le GIEC en 2007 vous expliquera les enjeux liés au réchauffement climatique et à la fonte des glaces.
- Michel Chevalet, journaliste scientifique et maître de cérémonie interviendra sur la bataille de Narvik et l'épopée de l'eau lourde, deux événements majeurs de la II^e guerre mondiale.
- André Brahic, astronome et astrophysicien vous dévoilera les mystères de la naissance de l'univers.

✓ Une excursion «Spécial Lecteurs» Science & Vie

- ✓ Tous les secrets de votre magazine Science & Vie dévoilés par le Directeur d'édition.

À BORD DU COSTA MEDITERRANEA



*Ce programme non contractuel est susceptible d'évoluer.

RENSEIGNEMENTS & RESERVATION AU :

0 811 020 033

OU SUR LE SITE :
<http://capnord.scienceetvievoyages.com>

Du lundi au samedi de 9h30 à 17h30 - (0,09€ TTC/min depuis un poste fixe en métropole)

En précisant
le code avantage :
«SCIENCE ET VIE»

Cette croisière est organisée en partenariat avec Costa Croisières : Costa Crociere S.p.A. France - Atout France 092100081.
Science et Vie est une publication du groupe Mondadori France Siège Social : 8 rue François Ory - 92 543 Montrouge Cedex * Sauf cas de force majeure

Complétez, découpez et envoyez ce coupon à SCIENCE & VIE CROISIÈRES - B 845 - 60643 CHANTILLY CEDEX

☐ **OUI, JE SOUHAITE RECEVOIR GRATUITEMENT ET SANS ENGAGEMENT LA DOCUMENTATION COMPLÈTE**

de la croisière CAP NORD proposée par Science & Vie Croisières.

☐ Mme ☐ Mlle ☐ M

Nom :

Adresse :

Code postal :

Date de naissance :

Email :

☐ Oui je souhaite bénéficier des offres de Science et Vie et de ses partenaires.

Avez-vous déjà effectué une croisière (maritime ou fluviale) ☐ OUI ☐ NON

Prénom :

Ville :

Tél. :

Code avantage : SCIENCE ET VIE C14SV1P

SCIENCE & VIE
CROISIÈRES

Conformément à la loi "Informatique et Liberté" du 6 janvier 1978, nous vous informons que les renseignements ci-dessus sont indispensables au traitement de votre commande et que vous disposez d'un droit d'accès, de modification, de rectification des données vous concernant.

Costa
CROISIÈRES



EN PRATIQUE

CIEL DU MOIS

Par Serge Brunier

NORD

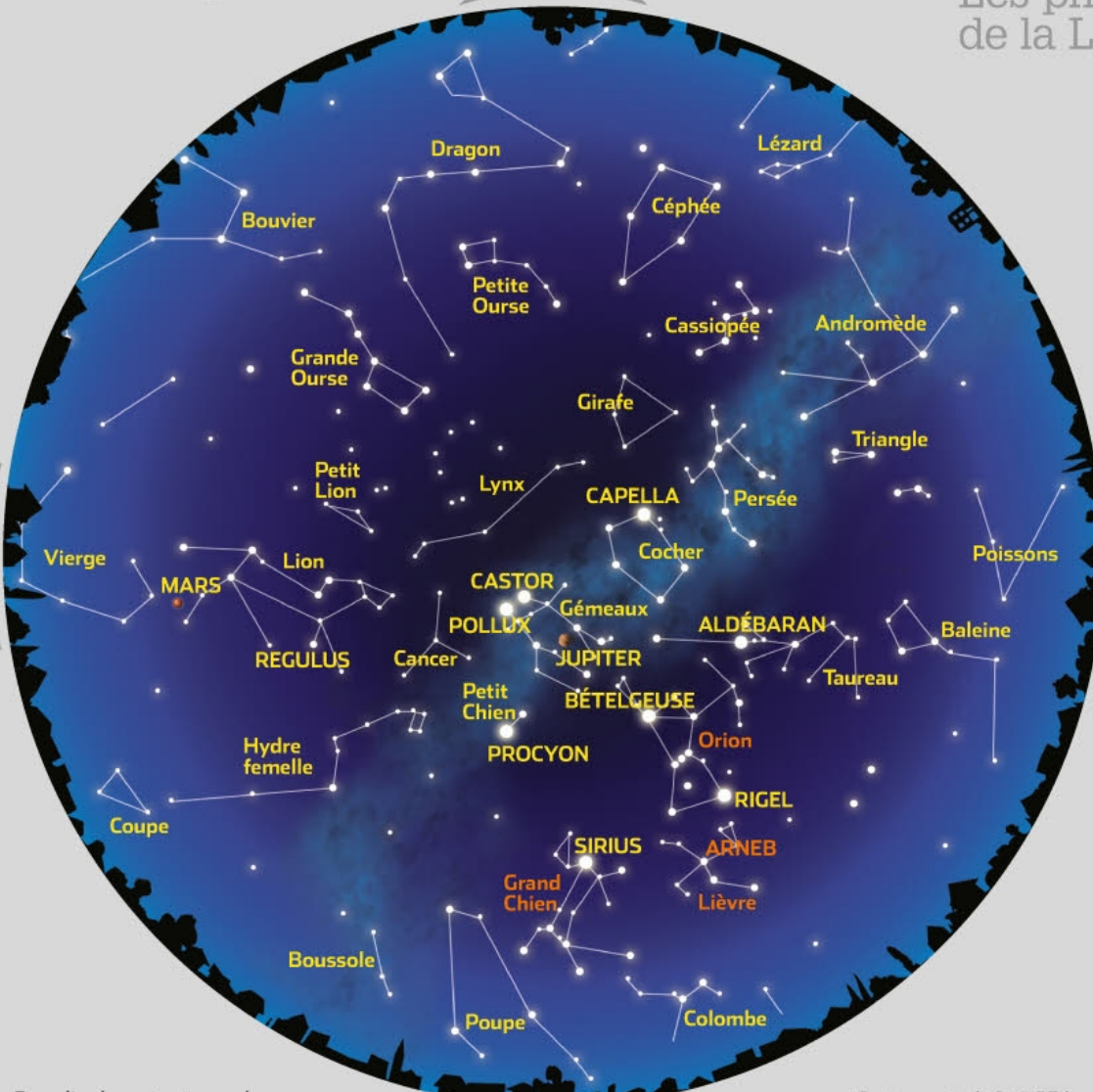
Les phases de la Lune



EST

OUEST

SUD



Pour lire la carte, tenez-la au-dessus de votre tête et orientez le nord avec le nord réel : les quatre points cardinaux seront ainsi bien orientés.

Carte exacte le 1^{er} à 23 heures

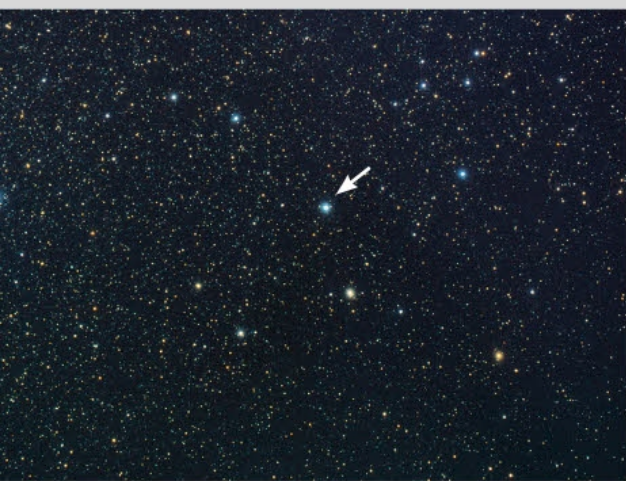
A. MARSOLLIER/NOVAPIX - A. FUJII - D. HALINE/NOVAPIX

À NE PAS MANQUER... LE 26

Deux croissants brillants, côte à côte, dans le ciel, c'est le spectacle saisissant qui attend les astronomes amateurs dotés d'une petite lunette ou d'un télescope grossissant une cinquantaine de fois : au petit matin du 26 février, au-dessus de l'horizon sud-est, la Lune et la planète Vénus se présenteront à peu près sous la même phase. Le spectacle sera aussi impressionnant à l'œil nu et aux jumelles : Vénus, éclatante "étoile du berger", dominant le croissant de Lune dans les lueurs de l'aube.

< Au petit matin, l'"étoile du berger" sera bien visible au-dessus de la Lune.





▲ Dans la constellation du Lièvre, la vieille étoile géante Arneb peut exploser d'un moment à l'autre.

LA FIN IMMINENTE D'UNE GÉANTE

La discrète étoile Arneb du Lièvre est facile à repérer, entre les brillantes constellations d'Orion et du Grand Chien. D'un éclat modeste mais visible à l'œil nu, même en pleine ville, Arneb est située à plus de 1300 années-lumière de la Terre. C'est un astre monstrueux, mesurant 100 millions de kilomètres de diamètre. S'il remplaçait le Soleil dans le ciel de la Terre, il apparaîtrait 70 fois plus grand et 13000 fois plus brillant que notre étoile !

Agée de seulement quelques millions d'années, Arneb est déjà une vieille étoile, qui a cessé de brûler son combustible principal, l'hydrogène. Elle pourrait exploser d'un moment à l'autre avant de s'éteindre progressivement...



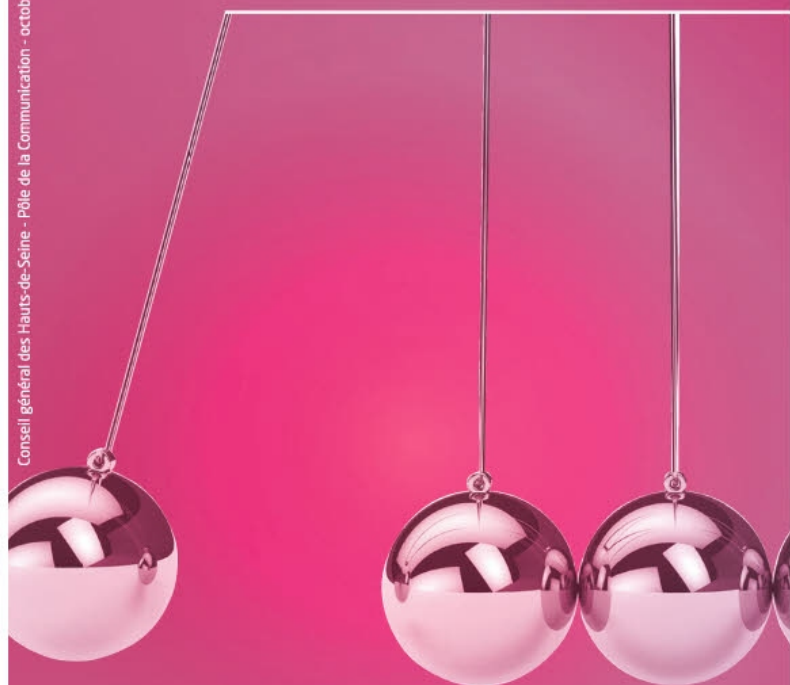
Retrouvez la chronique "Du côté des étoiles" sur France Info

tous les samedis et sur www.france-info.com

la science se livre

LE TEMPS

Conseil général des Hauts-de-Seine - Pôle de la Communication - octobre 2013 - KA



Gratuit

25 Janv > 15 fév 2014

Ateliers, spectacles, conférences, débats

le rendez-vous de la science dans les Hauts-de-Seine



hauts-de-seine
LE DÉPARTEMENT



www.hauts-de-seine.net

La Science se Livre est un événement du Conseil général des Hauts-de-Seine



(BnF) Bibliothèque nationale de France

dte la bibliothèque un lieu université



CONTRE-SOMMAIRE

Petit florilège des mots de ce numéro... par A.G.

A couteaux tirés.....	p. 98	Inutile de bluffer.....	p. 117
A l'abri des regards.....	p. 92	Jouant les cracks.....	p. 100
Attendons la suite.....	p. 69	L'appel de la forêt.....	p. 98
Au-delà des mots.....	p. 98	L'heure de manger.....	p. 33
Baisser les bras.....	p. 95	L'Ouest américain.....	p. 99
Bien lui en a pris.....	p. 11	La première buse venue	p. 84
Braconnage.....	p. 25	Les bavards	
Caresses affectueuses ...	p. 98	et les gourmands.....	p. 84
Ce frisson qui		Malentendu.....	p. 112
parcourt l'échine.....	p. 98	Marcher sur la glace	p. 129
Chef de meute.....	p. 100	Mot de passe.....	p. 132
Club trop fermé.....	p. 85	Ne nous racontons	
Cochons en fuite.....	p. 101	pas d'histoire:.....	p. 100
Copeaux, rognures,		Ne pouvait rêver mieux	p. 78
ébarbures.....	p. 79	On n'en sait fichtre rien	p. 84
Conquistadores.....	p. 98	Onctueux	
Coup de théâtre.....	p. 67	ronronnements.....	p. 100
Crinière au vent.....	p. 98	Peines de cœur.....	p. 40
De mémoire de berger ..	p. 99	Petit Prince.....	p. 102
Derviches tourneurs.....	p. 13	Physique de peluche ...	p. 102
Des lieux sans retour	p. 92	Poignée de carnivores ..	p. 66
Donne si gentiment		Pour construire une île..	p. 26
la papatte.....	p. 100	Prendre la clé	
Du pain sur la planche ..	p. 81	des champs?.....	p. 99
Effet de mode.....	p. 112	Quelques orteils.....	p. 129
Entre un caillou		Réchauds de camping ..	p. 132
et un panda.....	p. 84	Repos éternel.....	p. 66
Estampe japonaise.....	p. 112	Rupture amoureuse.....	p. 40
Etre un VIP.....	p. 79	S'éclipser sous les flots	p. 26
Figurines		Sale boulot.....	p. 92
de superhéros.....	p. 76	Sans nous!.....	p. 98
Font la loi.....	p. 101	Taper le carton.....	p. 68
Forcément arbitraire.....	p. 86	Tourterelles tristes.....	p. 129
Gagnant-gagnant.....	p. 117	Tout est possible!.....	p. 101
Grève inopinée.....	p. 92	Trou à creuser.....	p. 77
Havre de paix.....	p. 54	Tueurs-nés.....	p. 101
Hérésie?.....	p. 84	Un brin insolente.....	p. 112
Horoscope.....	p. 116	Un monde	
Il revient au galop.....	p. 100	moins sauvage.....	p. 110
Impétueux et libres.....	p. 98	Vent de liberté.....	p. 101

SCIENCE & VIE

Une publication du groupe

MONDADORI FRANCE

PRÉSIDENT : Ernesto Mauri

RÉDACTION

8, rue François-Ory
92543 Montrouge CEDEX.
Tél. : 01 46 48 48 48 - Fax : 01 46 48 48 67
E-mail : svmens@mondadori.fr

DIRECTEUR DE LA RÉDACTION

Matthieu Villiers,
assisté de Christelle Borelli

RÉDACTEUR EN CHEF

Hervé Poirier

RÉDACTEURS EN CHEF ADJOINTS

Grégoire Bouillier (édition),
François Lassagne

DIRECTRICE ARTISTIQUE

Yvonne Diraison

CHEFS DE SERVICE

Valérie Greffoz (actualités),
Caroline Tourbe (médecine)

CHEF DE RUBRIQUE

Muriel Valin (technologies)

RÉDACTEURS

Elsa Abdoun, Boris Bellanger, Mathilde Fontez,
Vincent Nouyrigat, Emilie Rauscher

SECRÉTAIRE GÉNÉRAL DE RÉDACTION

Jean-Luc Glock

SECRÉTAIRES DE RÉDACTION

Anne Riera, Clara Baudel

MAQUETTISTES

Valérie Samuel-Charrier (1^{re} maquettiste),
Elisabeth de Garrigues

SERVICE PHOTO-INFOGRAPHIE

Anne Levy (chef de service photo),
Clémence Gérard ; Emmanuel Jullien
(chef de service infographie)

DOCUMENTATION

Marie-Anne Guffroy

ONT COLLABORÉ À CE NUMÉRO

Anyform Design, S. Aquino, S. Barge,
K. Bettayeb, L. Blancard, P.-Y. Bocquet,
B. Bourgeois, L. Boyssou, L. Brasier, R. Brillaud,
S. Brunier, O. Capronnier, P. Carril, L. Cavicchioli,
G. Cirade, F. Couchat, S. Devos, V. Etienne, S. Fay,
E. Friedrich, M. Godher, F. Gracci, J. Grenèche,
M. Grousson, E. Haentjens, C. Hancok,
D. Humbert, J. Jongwane, M. Kontente,
O. Lapirot, A. Laymant, M. Laverdet, P. Lefèvre,
E. Leroy-Terquem, E. Monnier, B. Rey,
Y. Serra, M. Spee, E. Thierry-Aimé

DIRECTION-ÉDITION

DIRECTION PÔLE

Carole Fagot

DIRECTEUR DÉLÉGUÉ

Vincent Cousin

DIFFUSION

Jean-Charles Guérault (directeur diffusion),
Siham Daassa (responsable diffusion marché)

MARKETING

Sandra Boixel (responsable marketing),
Michèle Guillet (chargée de promotion),
Nathalie Carrère (abonnements)

PUBLICITÉ

Valérie Camy (directrice exécutive), Caroline Soret
(directrice de groupe commercial titres Automobile

et Science), Virginie Commun (directrice de publicité adjointe), Lionel Dufour (directeur de clientèle), Christine Chesse (assistante), Stéphanie Guillard, Angélique Consoli, Sabrina Rossi-Djenidi (planning), Stéphane Durand (trafic), Jean-Jacques Benezech, Grégory Gounse, Anne-Sophie Chauvière (opérations spéciales)

Grande-Bretagne : Publieurope LTD (info@lodon@publieurope.com - 44 (0)20 7927 9800

Allemagne : Publieurope Munich (info@munich@publieurope.com - 0049 89 2908150) ;

Suisse : Publieurope Lausanne (info@lausanne@publieurope.com - 0041 21 323 3110) ;

Espagne : Publimedia Madrid (info@madrid@publim-gestion.es - 0034 91 212 83 00)

FABRICATION

Gérard-Laurent Greck, Nadine Chatry

FINANCE MANAGER

Guillaume Zaneskis

DÉPARTEMENT INTERNATIONAL

Mathilde Janier-Bonnichon, Murielle Luche

EDITEUR MONDADORI MAGAZINES FRANCE

Siège social : 8, rue François-Ory

92543 Montrouge Cedex

DIRECTEUR DE LA PUBLICATION

Carmine Perna

ACTIONNAIRE PRINCIPAL

Mondadori France SAS

IMPRIMEUR : ELCOGRAF - ITALIE

N° ISSN : 0036-8369

N° DE COMMISSION PARITAIRE :

1015 K 79977. Tarif d'abonnement légal :

1 an, 12 numéros : 42,80 € ;

1 an, 12 numéros + 4 HS : 52,80 €.

Dépôt légal février 2014

RELATIONS CLIENTÈLE ABONNÉS

Désormais, pour tout contact merci de taper dans la barre de navigation : abo.scienceetvie.fr
Par téléphone : 01 46 48 48 96.

Par courrier : Science & Vie Abonnements

B341, 60643 Chantilly Cedex.

Par internet : <http://www.kiosquemag.com>

Etats-Unis et Canada : Express Mag, Tél. : 1 800 363-1310 (français) et 1 877 363-1310 (anglais).
Suisse : Edigroup, 022 860 84 50 - mondadori-suisse@edigroup.ch. Belgique : Edigroup Belgique, 070 233 304 - mondadori-belgique@edigroup.be
Autres pays : nous consulter.

À NOS ABONNÉS

Pour toute correspondance relative à votre abonnement, envoyez-nous l'étiquette collée sur votre dernier envoi. Les noms, prénoms et adresses sont communiqués à nos services internes et organismes liés contractuellement avec S&V sauf opposition motivée. Les informations pourront faire l'objet d'un droit d'accès ou de rectification dans le cadre légal. Les manuscrits envoyés ne sont pas rendus.

À NOS LECTEURS

RENSEIGNEMENTS

Par courrier : 8, rue François-Ory,

92543 Montrouge Cedex.

Par mail : sev.lecteurs@mondadori.fr

COMMANDE D'ANTIENS

NUMÉROS, RELIURES ET VPC

tél. : 01 46 48 48 96

relations.clients@mondadori.fr



EN KIOSQUE CE MOIS-CI



NOUVEAU



Retrouvez vos magazines Science & Vie
sur votre iPhone ou iPad.

SCIENCE & VIE



Télécharger dans
l'App Store



PRÉVOYEZ DES WEEK-ENDS IMPRÉVISIBLES.

Nouveau
ŠKODA Yeti

à partir de

17 290 €

sous conditions de reprise⁽¹⁾



SUV, 2 ou 4 roues motrices



● 3 sièges arrière amovibles



● Toit ouvrant panoramique



● Caméra de recul



● Toit de couleur personnalisable



● Phares avant bi-Xénon avec LED

IL Y A TOUJOURS QUELQU'UN DE BIEN DANS UNE ŠKODA.

Suivez-nous sur



Pour en savoir plus, rendez-vous sur le site skoda.fr

(1) Prix TTC conseillé au 01/01/2014 du Nouveau Yeti Active TSI 105 ch BVM6 neuf, déduction faite de 2 010 € de remise et 1 000 € de reprise sous condition de reprise d'un véhicule de plus de 8 ans (conditions détaillées chez les distributeurs ŠKODA participant ou sur www.skoda.fr). **Modèle présenté : Yeti Elegance GreenTec 1.4 TSI 122 ch avec option park assist au prix de 23 375 € TTC remise et reprise déduites du tarif au 01/01/2014.** Offre spéciale non cumulable, aux particuliers en France métropolitaine, dans le réseau ŠKODA participant, pour toute commande d'un Nouveau Yeti Active TSI 105 ch BVM6 neuf jusqu'au 28/02/2014 et dans la limite des stocks disponibles. Simply Clever : Simply Evident. Volkswagen Group France - Division ŠKODA - 02600 Villers-Cotterêts - RCS Soissons B 602 025 538.

ŠKODA recommande **Castrol EDGE Professional**.

Consommations mixtes de la gamme Yeti (l/100 km) : 4,6 à 6,3. Émissions de CO₂ (g/km) : 119 à 164.