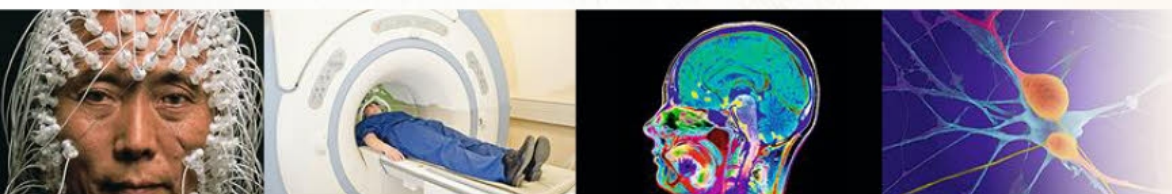


PLEINE LUNE
ELLE INFLUENCE BIEN
NOTRE SOMMEIL !

MATHÉMATIQUES
VERS UN NOUVEAU LANGAGE

MÉDITATION, NEUROFEEDBACK



GUÉRIR PAR, LA PENSÉE

La preuve en 15 expériences

**ÉVOLUTION
ELLE AVANTAGE
LES PETITS !**



**ÉTOILES
ON SAIT LES
FAIRE EXPLOSER**

France métro : 4,20 € - D : 6,90 € - BEL : 4,70 € - ESP : 4,90 € - GR : 4,90 €
- DOM surf : 4,90 € - DOM avion : 6,90 € - ITA : 4,90 € - LUX : 4,70 € -
PORT CONT : 4,90 € - CAN : 6,50 \$ - MAR : 480H - TOM : 5/750 CFP
- TOM A : 1400 CFP - CH : 8,5 FS - TUN : 7,5 DTU



+ Sportive + Intense

Nouvelle Audi S3 Berline. Un temps d'avance.



Modèle présenté : Nouvelle Audi S3 Berline 2.0 TFSI 300 ch quattro S tronic 6 avec options phares intégralement à LED, peinture nacrée et sièges sport S non incluses. Volkswagen Group France S.A. - RC Soissons B 602 025 538. Audi recommande **Castrol EDGE Professional**. Vorsprung durch Technik = L'avance par la technologie.

Consommations en cycle mixte (l/100 km) : 6,9. Rejets de CO₂ (g/km) : 159.

Audi
Vorsprung durch Technik



Flashez ce QR code
pour plus d'informations

audi.fr/s3bertine





McDo KIDS SPORT™

Chaque été depuis 2006, McDonald's™ organise des événements sportifs gratuits. C'est en partenariat avec le Comité National Olympique et Sportif Français que la tournée McDo Kids Sport™ va traverser toute la France. Conçue pour les enfants de 5 à 12 ans, la tournée leur donne l'occasion de s'initier à quatre sports : judo, basket, athlétisme et cyclisme.



Plus d'informations sur les dates et villes
de la tournée sur mcdonalds.fr



JE PENSE, DONC JE GUÉRIS

Salle de scanner IRM, université de Bangor, au pays de Galles. La séance finie, la patiente sort du tunnel, radiieuse, comme les autres avant elle. *“C’est très satisfaisant d’agir sur son propre cerveau et d’en ressentir immédiatement des effets bénéfiques sur son humeur”*, commente David Linden, le maître des lieux. Ici, le scanner n’est pas un outil d’analyse médicale visant à déceler une éventuelle pathologie, mais un outil de traitement d’une pathologie parfaitement connue et reconnue : la dépression. Quatre séances d’une heure suffiraient dans la plupart des cas pour venir à bout de ses redoutables symptômes. Que se passe-t-il donc dans ce tunnel ? Le malade y est invité à se concentrer sur sa propre activité cérébrale représentée en temps réel sur un écran. *“Nous avons ciblé la région cérébrale de l’amygdale dont on sait qu’elle s’active à la mesure des émotions positives, et trop peu chez les sujets dépressifs”*, nous explique David Linden. Si l’écran de contrôle faisant face au patient demeure bleu, c’est raté ; mais s’il vire au jaune ou, mieux, au rouge, c’est gagné.

A charge pour le patient de guider ses pensées pour voir s’allumer les couleurs les plus chaudes. Avec un peu d’entraînement, tous y parviennent. Et ? Et c’est tout. Le soulagement est immédiat.

Nous sommes restés bouche bée. Avec une furieuse envie d’en savoir plus. Nous avons compulsé la littérature scientifique, interrogé les spécialistes les plus en pointe sur ces questions, multiplié nos visites dans les lieux où ces pratiques se développent, et sommes revenus armés de preuves solides : oui, on peut guérir par le seul exercice de sa pensée. De la dépression, mais pas seulement. Par la force de l’esprit, on peut aussi renforcer ses défenses immunitaires, mettre en sourdine des crises d’épilepsie, apaiser toutes sortes de douleurs, ou encore doper la motricité de parkinsoniens. N’en déplaise à Descartes, le corps et l’esprit ont manifestement bien des choses à se dire... **S&V**



RENAULT SCÉNIC XMOD. LE SCÉNIC RÉINVENTÉ.

AVEC EXTENDED GRIP** POUR ADHÉRER À LA ROUTE EN TOUTES CONDITIONS.

Consommations mixtes min/max (l/100km): 4,1/6,4. Émissions CO₂ min/max (g/km): 105/145.
Consommations et émissions homologuées.

RENAULT QUALITY MADE : la qualité par Renault. * L'aventure. ** Disponible en option.

Renault préconise



RENAULT SCÉNIC

THE ADVENTURE* - VERSION FRANÇAISE



**CHANGEONS DE VIE
CHANGEONS L'AUTOMOBILE**



32

30

50



ACTUS

- 14 LABOS**
Une galaxie se vide de l'intérieur ; on sait comment le spermatozoïde protège son ADN ; des chercheurs ont créé un faux souvenir, etc.
- 22 FOCUS**
Goutte de poix : on l'a enfin vue tomber !
- 26 TERRE**
Il va pleuvoir toujours plus fort sur l'Europe ; le cactus montre la voie contre les marées noires, etc.
- 32 LES CLÉS POUR COMPRENDRE**
Pourquoi le photovoltaïque n'est pas plus développé en France
- 34 IDÉE NEUVE**
"Je peux extraire de l'or avec du sucre"

- 40 MÉDECINE**
Un pansement cellulaire réparera le cœur ; l'œil paresseux pourra être traité plus tard ; une bactérie fait souffrir pour mieux infecter ; la grippe est aussi affaire d'hormones ; six pesticides accélèrent le vieillissement, etc.
- 42 ON TENAIT À VOUS DIRE**
Il est encore trop tôt pour se parler par télépathie
- 44 TECHNOS**
Un cristal rend possible la mémoire éternelle ; un verre filtre à volonté les rayons du soleil ; sans fil ni pile, le dialogue reste possible, etc.
- 48 ON EN REPARLE**
Viande artificielle : le premier steak a été testé !

FONDAMENTAL

- À LA UNE**
- 50 GUÉRIR PAR LA PENSÉE**
LA PREUVE EN 15 EXPÉRIENCES
- 68 EXPLOIT**
ON SAIT ENFIN FAIRE EXPLOSER LES ÉTOILES !
- 80 ÉVÉNEMENT**
DIABÈTE
LA PISTE VIRALE SE CONFIRME

Les neuroscientifiques en ont désormais la preuve : l'esprit possède le pouvoir de soigner le corps ! Des expériences de méditation, de neurofeedback ou à base d'effet placebo ont démontré des effets thérapeutiques sur des maladies aussi graves que la dépression ou Parkinson. Et déjà, des hôpitaux sautent le pas... Une nouvelle médecine est en train de naître. Quelle médecine ? Notre dossier fait le point.

GUÉRIR PAR LA PENSÉE

LA PREUVE EN 15 EXPÉRIENCES

Évolution des espèces L'HYPOTHÈSE QUANTIQUE

Des verset les lois de Darwin à la physique quantique, les biologistes découvrent qu'il y a peut-être un lien entre l'évolution et la physique quantique.

PAR MARIE-CAI AVEC FRAN



84

124

EN PRATIQUE ZOOM DU MOIS

Risques, efficacité, sevrage, dosage... La cigarette électronique en 8 questions

Plus qu'un effet de mode, la cigarette électronique est-elle une véritable révolution ?



138



EN PRATIQUE

- 84 CASSE-TÊTE**
ÉVOLUTION DES ESPÈCES
L'HYPOTHÈSE QUANTIQUE
- 88 PERSPECTIVES**
PROJET "OPEN SOURCE ECOLOGY"
ET SI ON REPENSAIT
TOUTES LES MACHINES...
- 94 DÉCOUVERTE**
PLEINE LUNE
ELLE NOUS EMPÊCHE
BEL ET BIEN DE DORMIR
- 98 ENQUÊTE**
CLIMAT, ASTROPHYSIQUE, MÉDECINE...
LES TRÉSORS DES
ARCHIVES PERDUES

Un encart "S&V Agenda Quintess" est jeté sur les exemplaires d'une partie de la diffusion abonnés France métropolitaine. Un encart "VPC Boutique" est jeté sur les exemplaires de la vente en kiosque.

111 7 IDÉES NEUVES POUR LE XXI^e SIÈCLE

Quand les nouveaux savoirs bousculent les anciens dogmes... Une grande série de Science & Vie. Ce mois-ci, la septième et dernière leçon :

Penser types plutôt qu'ensembles

100 AND SCIENCE.VIE

7 IDÉES NEUVES pour le XXI^e siècle

Penser types plutôt qu'ensembles

PAR PHILIPPE BASTIEN

Dans les années 1970, les mathématiciens ont découvert les "mathématiques interactives", toutes les opérations mathématiques peuvent être effectuées à l'aide d'un ordinateur. Plus d'une centaine d'années après, les mathématiques ont fait un grand pas de plus : elles sont maintenant interactives à l'échelle humaine. Les mathématiques interactives sont une nouvelle façon de penser les mathématiques, qui permet de résoudre des problèmes complexes en utilisant des outils informatiques.

- 122 BON À SAVOIR**
- 124 ZOOM DU MOIS**
Risques, efficacité, sevrage, dosage...
La cigarette électronique en 8 questions
- 130 QUESTIONS / RÉPONSES**
- 136 TECHNOFOLIES**
La voiture qui conduit toute seule dans les bouchons ; le patch qui détecte vos chutes ; le premier siège "spécial téléphone et tablette" ; une souris hybride tactile, etc.
- 142 LE CIEL DU MOIS**
- 144 Contre-sommaire**



Assurez-vous une position confortable.

Nouvelle ŠKODA Superb TDi

Gamme à partir de

289 € /mois

sous conditions de reprise⁽¹⁾

4 ANS

garantie⁽²⁾
entretien⁽³⁾



● Détecteur de fatigue⁽⁴⁾ ● À partir de 109 g CO₂/km et 4,2 l/100 km⁽⁵⁾ ● Espace aux jambes à l'arrière de 1m57

IL Y A TOUJOURS QUELQU'UN DE BIEN DANS UNE ŠKODA.

(1) Location longue durée sur 48 mois. 1^{er} loyer 2 234 € et 47 loyers de 289 €. Offre valable du 01/07/2013 au 31/08/2013. Exemple pour une nouvelle Superb berline Active 1.6 TDI 105 ch en location longue durée sur 48 mois et pour 60 000 km maximum, hors assurances facultatives. Aide à la remise de 3 500 € TTC et aide à la reprise de 1 000 € TTC (conditions générales ArgusTM) déduites du tarif au 27/05/2013. Offre réservée aux particuliers chez tous les Distributeurs présentant ce financement, sous réserve d'acceptation du dossier par Volkswagen Bank GmbH - SARL de droit allemand - Capital 318 279 200 € - Succursale France : Paris Nord 2 - 22 avenue des Nations 93420 Villepinte - RCS Bobigny 451 618 904 - ORIAS : 08 040 267 (www.orias.fr). Modèle présenté : Nouvelle Superb Combi Élégance 2.0 TDI 140 GreenTec BVM6, avec options park assist et toit ouvrant panoramique. Aide à la remise de 3 500 € TTC et aide à la reprise de 1 000 € TTC (conditions générales ArgusTM) déduites du tarif au 27/05/2013 : 1^{er} loyer de 3 291 € suivi de 47 loyers de 435 €. (2) Garantie additionnelle de deux ans obligatoire souscrite auprès d'Opteven Assurances, Société d'assurance et d'assistance au capital de 5 335 715 € - Siège social : 35-37, rue L. Guérin, 69100 Villeurbanne. RCS Lyon n° 379 954 886 régie par le Code des assurances et soumises au contrôle de l'ACP (Autorité de Contrôle Prudentiel). (3) Forfait Service Entretien obligatoire souscrit auprès d'Opteven Services, SA au capital de 365 878 € - RCS Lyon B 333 375 426 siège social : 35-37, rue L. Guérin - 69100 Villeurbanne. (4) En option. (5) Sur Berline 1.6 L TDI 105 ch Greenline. * Voir conditions auprès de votre Distributeur. Simply Clever : Simplement Évident. Volkswagen Group France - Division ŠKODA - 02600 Villiers-Cotterêts - RCS Soissons B 602 025 538. Publicité diffusée par le concessionnaire en qualité d'intermédiaire de crédit, à titre non exclusif, de Volkswagen Bank.

ŠKODA recommande **Castrol EDGE Professional**. www.skoda.fr

Consommation mixte de la Superb Combi 2.0 TDI 140 GreenTec BVM6 : 4,6. Émissions de CO₂ (g/km) : 121. Consommations mixtes de la gamme Superb (l/100 km) : 4,2 à 9,4. Émissions de CO₂ (g/km) : 109 à 217.

Assistance 24h/24 pendant 7 ans*

215 Points Service ŠKODA partout en France

Renseignements : 0 969 390 904 (appel non surtaxé)

Les intraterrestres sont-ils les ancêtres de lignées actuelles ?

Très intéressant, votre article sur les "intraterrestres", nouveaux candidats pour nos origines... Mais ne peut-on pas vérifier si les ancêtres de ces organismes font partie de ceux d'une ou plusieurs lignées d'êtres vivants actuels ? Par quelque analyse ADN, ne peut-on déterminer leur éventuel lien de parenté avec telle ou telle autre lignée du vivant "traditionnel" ?

Jean-Pierre Coiquaud,
Carqueiranne

S&V Vous pointez à juste titre l'intérêt des analyses ADN pour établir des liens de parenté entre lignées et espèces... Toutefois, la difficulté à disposer de bons échantillons pour ces micro-organismes enfouis à plusieurs kilomètres sous terre et la très

grande diversité génétique du monde bactérien poussent ces techniques dans leurs retranchements ! Pour des analyses ADN fiables, il faut des prélèvements non contaminés par les microbes environnants ; pour ce faire, des forages sont en cours, et de nouvelles techniques d'isolation et d'extraction d'ADN testées.

Pour l'heure, les chercheurs font du séquençage "de masse" sur des bouts d'ADN collectés en vrac, ce qui permet de savoir de quoi sont capables les micro-organismes auxquels ils appartenaient, mais pas d'en déduire des liens de parenté. Une solution serait d'effectuer des prélèvements dans les profondeurs et de les faire croître en laboratoire afin d'étudier leur ADN directement... Mais, outre la difficulté d'une telle "pêche" intraterrestre, les spécimens remontés se cultivent très mal. Dernier souci, l'ADN ne dit pas tout : bien connaître le génome d'une bactérie ne permet pas forcément d'établir une généalogie fiable ! Les microbes échangent des gènes très librement, ce qui brouille les frontières entre les espèces et complexifie leur chemin évolutif.

Cela ne veut pas dire que rien n'est possible. De grands projets internationaux, comme le Census of Deep Life (Recensement de la vie des



profondeurs), ont déjà obtenu des résultats. Ils décrivent des bactéries, des archées, des champignons, etc., dont certains se rapprochent de familles déjà connues, à l'image de la bactérie *Candidatus Desulforudis audaxviator*, qui prospère à plus de 2 km de profondeur. Bien qu'isolée depuis des millions d'années, elle peut être rapprochée du genre "terrestre" bactérien *Candidatus*. Sans doute ces deux populations avaient-elles des ancêtres communs il y a des centaines de millions d'années, avant d'être séparées et d'évoluer, plus ou moins vite, chacune de leur côté. Et peut-être la version des profondeurs a-t-elle conservé des voies métaboliques ancestrales propres à nous raconter la vie à cette lointaine époque... Mais il n'est pour l'heure pas

possible de tracer un arbre évolutif entre eux.

Par ailleurs, vous avez été plusieurs à nous signaler une erreur de calcul dans ce même dossier. Page 55, il est écrit que "1 kg de roche mis au contact de l'eau dégage 50 joules, une quantité d'énergie suffisante pour augmenter de 50 °C la température d'un litre d'eau". Il s'agit d'une regrettable confusion emmêlant joules et calories, sans oublier une étourderie d'un facteur mille ! Par définition, la calorie est en effet la quantité d'énergie nécessaire pour élever d'un degré Celsius un gramme d'eau (soit 1 millilitre). Sachant qu'une calorie équivaut à 4,185 joules, les 50 joules cités plus haut ne parviendront en réalité à réchauffer un litre d'eau que de... 0,012 °C.

La boutique SCIENCE & VIE

Plus de **400**

Livres

Idées cadeaux

Objets scientifiques ou insolites

WWW
laboutiquescienceetvie.com



LE GOÛT À LA
FRANÇAISE

L'ABUS D'ALCOOL EST DANGEREUX POUR LA SANTÉ. À CONSOMMER AVEC MODÉRATION.

La réponse que nous avons apportée en août (n° 1151) à la question de l'influence du poids des cyclistes sur leur vitesse a suscité de nombreux témoignages, croquis, équations et explications complémentaires... Un retour sur la mécanique de la descente s'imposait.

En théorie, les cyclistes les plus lourds descendent bel et bien plus vite...

Dans votre réponse, vous faites intervenir la masse inertielle et la résistance aux frottements pour expliquer que, dans une descente, le cycliste le plus lourd arrivera le premier. Mais l'explication est autre: elle fait intervenir la vitesse limite des coureurs. Celle-ci est atteinte quand la force motrice (la pesanteur) est égale à la force résistante (les frottements de l'air). On peut facilement vérifier qu'elle est proportionnelle à la racine carrée de la masse du système. Le cycliste le plus lourd arrivera donc bien

en bas le premier, mais seulement à cause d'une vitesse limite plus grande que son concurrent léger.

Pascal Gresard, Internet

SV Vous avez raison: la vitesse limite du coureur (la vitesse maximale qu'il pourra atteindre, qui dépend de la racine carrée de sa masse) peut expliquer que le plus lourd soit le plus rapide en descente. Mais cette vitesse maximale est atteinte après un temps très long, donc sur une descente très longue, ce qui est

... mais pas toujours en pratique

Comment expliquez-vous qu'en étant plus légère que mon conjoint (- 11 kg), en partant quelques mètres derrière lui sur une pente et sans pédaler, je puisse arriver en bas avant lui?

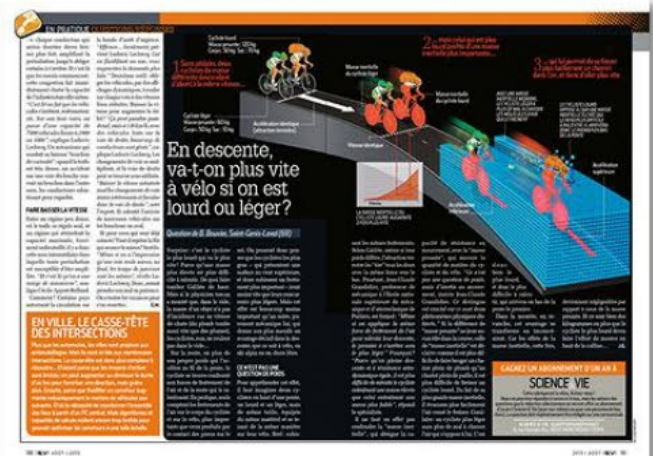
Brigitte Bonato, Internet

Si le poids avantageait le plus lourd, comme vous le prétendez, comment expliquez-vous que Michaël Prüfer ait battu le record du monde de ski de vitesse à

trois reprises entre 1987 et 1992, alors qu'il concourait avec des hommes qui pesaient 20 à 30 kg de plus que lui?

Philippe Saas, Internet

SV Nous avons pris le parti de considérer un cas théorique, un peu éloigné de la réalité, pour répondre à la question: les deux coureurs font la même taille, ont la même carrure et la même position sur leur vélo.



plutôt rare en réalité. Notre explication tient compte de la différence de vitesse entre les deux cyclistes dès la première phase de la descente, loin de la vitesse limite. On peut alors montrer mathématiquement qu'à tout instant, la vitesse du système (vélo + cycliste) dépend elle aussi de la racine carrée de sa masse. Quelques secondes seulement après le début de la descente, la différence de vitesse entre les deux sportifs est faible, mais

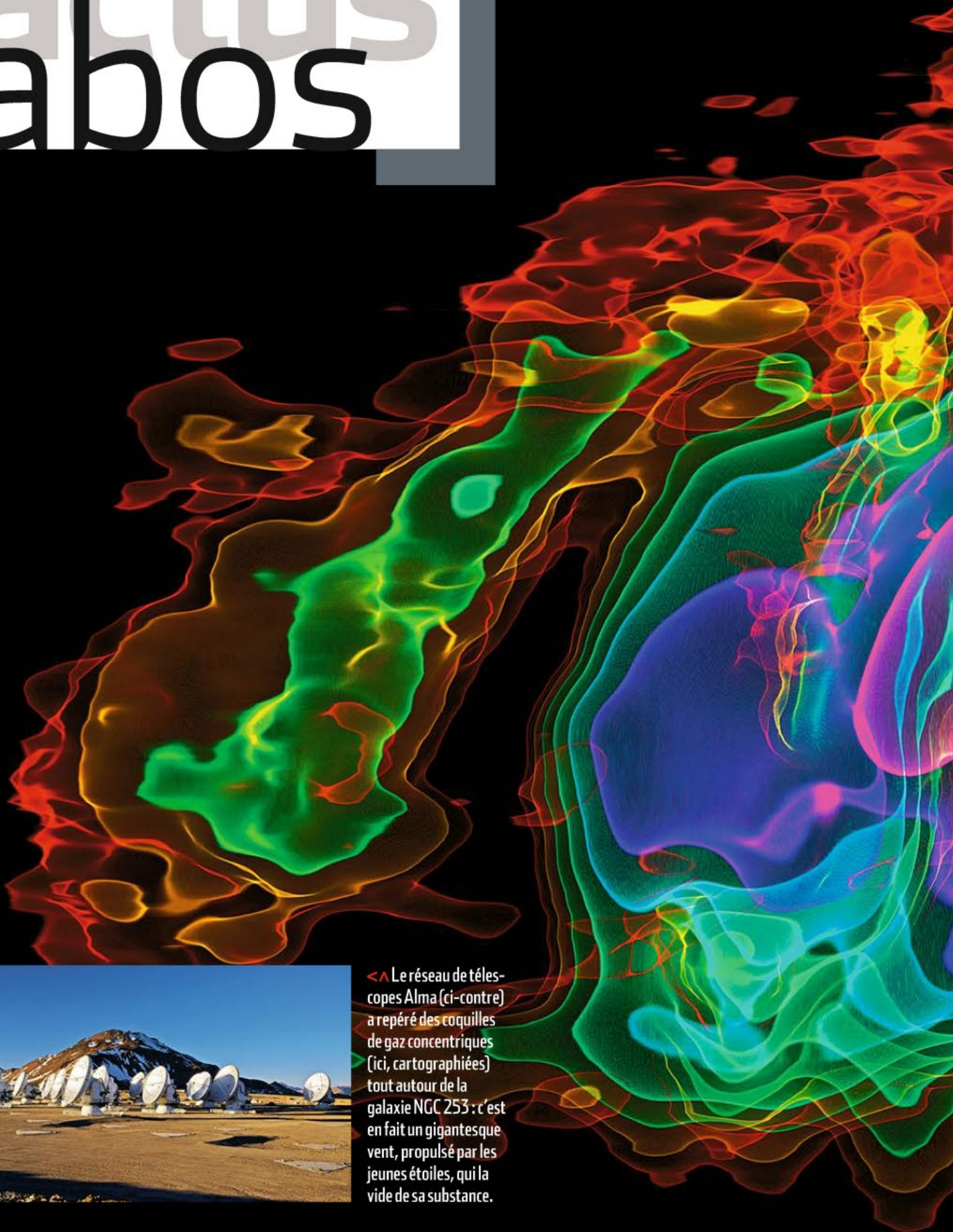
notable. Elle devient de plus en plus marquée au fil de la course. Le cycliste le plus lourd atteindra effectivement une vitesse limite plus élevée, mais il sera aussi avantagé dès la première phase de la pente. Lorsque les deux cyclistes arrivent en fin de pente, sur le plat, le plus lourd garde son avantage: restant moins freiné par l'air du fait de sa masse inertielle plus grande, il continue sa course plus loin avant de s'arrêter.

lactus labos

ESO - ALMA/ESO/NAOJ/NRAO/E. ROSOLOWSKY



◀ Le réseau de télescopes Alma (ci-contre) a repéré des coquilles de gaz concentriques (ici, cartographiées) tout autour de la galaxie NGC 253 : c'est en fait un gigantesque vent, propulsé par les jeunes étoiles, qui la vide de sa substance.





ASTROPHYSIQUE

CETTE GALAXIE SE VIDE DE L'INTÉRIEUR

“Lorsque nous avons vu apparaître de puissants vents galactiques dans les données, nous avons tout de suite su que nous avions obtenu un résultat important”, s’enthousiasme Alberto Bolatto. Pointant les télescopes chiliens du réseau Alma – inauguré il y a quelques mois – vers la galaxie NGC 253, cet astrophysicien de l’université du Maryland (Etats-Unis) et ses collaborateurs ont pu détailler la concentration et la

vitesse des molécules de monoxyde de carbone (CO) qui la peuplent. Ils ont alors découvert que de grandes quantités de gaz froids – au moins dix fois la masse du Soleil chaque année – semblent propulsées par les jeunes étoiles en formation du cœur de la galaxie, et s’étendent sous la forme de gigantesques bulles concentriques jusqu’à être expulsées à l’extérieur. “Ces vents montrent que NGC 253 laisse échapper plus de gaz qu’elle n’en puise par

gravité auprès des galaxies alentour, précise le chercheur. Elle est en train de se vider, à tel point que d’ici à 60 millions d’années, elle pourrait ne plus avoir assez de matière première pour donner naissance à de nouvelles étoiles.” Voilà qui expliquerait pourquoi les télescopes détectent beaucoup moins de galaxies massives dans l’Univers que ne le prévoient les modèles: les premières flambées d’étoiles font le vide autour d’elles.

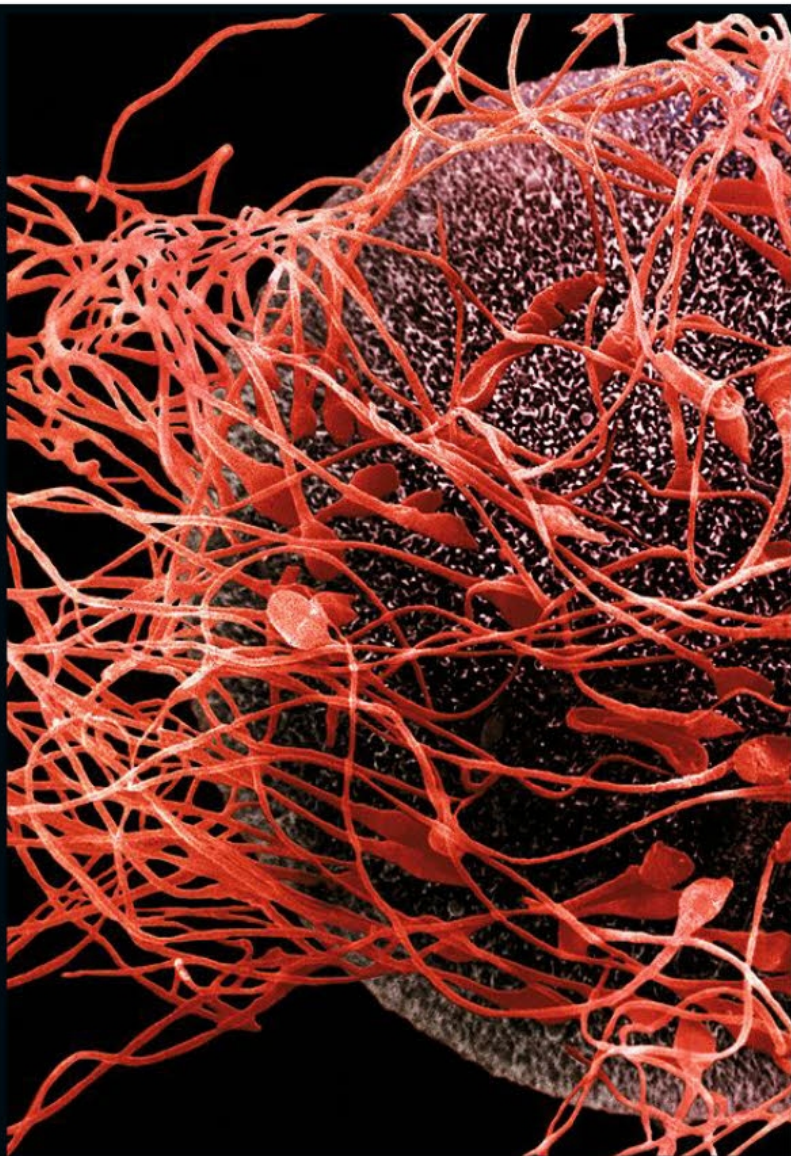
M.F.

GÉNÉTIQUE

ON SAIT COMMENT LE SPERMATOZOÏDE PROTÈGE SON ADN

Des chercheurs grenoblois ont découvert comment le spermatozoïde parvenait à conserver intact son patrimoine génétique durant le grand voyage qui le mène jusqu'à l'ovule. On savait que, durant la spermatogenèse, les cellules sexuelles mâles voient leur matériel génétique devenir plus compact : les protéines histones, des "bobines" autour desquelles s'enroule la molécule d'ADN, sont alors remplacées par les protamines. Ce sont elles qui permettent de compacter l'ADN, et de le protéger des dommages physiques ou des mutations. Mais quelle est l'actrice principale de cette transition ? Emilie Montellier et son équipe l'ont identifiée :

il s'agit de la protéine histone TH2B, connue depuis 1975. Mais son rôle demeurait obscur. Grâce à des souris génétiquement modifiées dépourvues de TH2B ou porteuses d'une version modifiée de la molécule, les scientifiques ont montré que celle-ci est indispensable au remplacement des histones par les protamines. Et son rôle ne s'arrête pas là : après la fécondation, dans l'œuf, TH2B participe à l'inversion du mécanisme, aidant au remplacement des protamines par des histones, et rendant ainsi l'ADN à nouveau lisible. Une découverte importante, car on sait que certaines stérilités masculines résultent d'un mauvais compactage de l'ADN. L.C.



-26°C

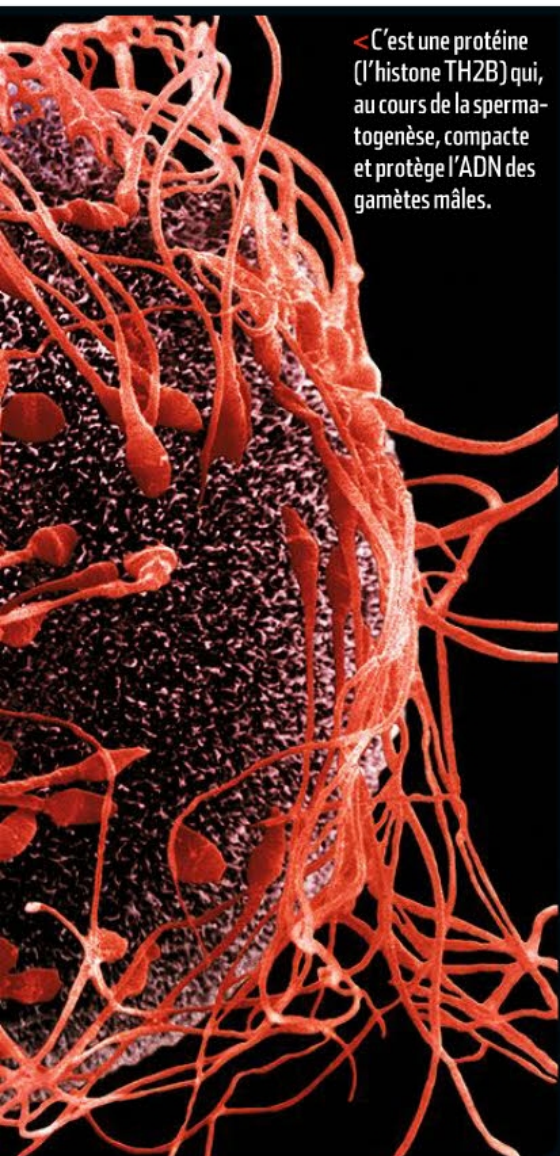
C'est la température minimale de la vie. En dessous, les micro-organismes cessent de proliférer. Des Britanniques viennent d'établir ce seuil (entre -10 °C et -26 °C selon les espèces unicellulaires). L'oxygène et d'autres composés issus du métabolisme ne peuvent plus circuler. Même si cela ne signifie pas forcément la mort du microbe, son cycle de vie s'en trouve gelé. V.N.

ÉVOLUTION

Sous l'eau, les faux yeux trompent mais n'effraient pas

Le rôle des formes évoquant des yeux qui ornent certains poissons n'est pas d'effrayer, mais de dévier une attaque pour faciliter la fuite. Des chercheurs finlandais ont testé l'effet de leurres de différentes tailles sur des épinoches, de petits poissons prédateurs : ceux-ci foncent vers un faux œil plus petit que le leur (une proie potentielle), alors qu'ils ne sont pas intimidés par un faux œil plus gros (un prédateur pour eux-mêmes). V.G.





< C'est une protéine (l'histone TH2B) qui, au cours de la spermatogenèse, compacte et protège l'ADN des gamètes mâles.



PLANÉTOLOGIE

LA VRAIE COULEUR D'UNE EXOPLANÈTE A ÉTÉ DÉVOILÉE

Plus de 900 planètes tournant autour d'autres soleils que le nôtre ont été identifiées, mais jusqu'ici personne ne savait à quoi elles pouvaient ressembler si on les regardait à l'œil nu. Pour la première fois, la couleur visible d'une de ces exoplanètes a été déterminée par une équipe internationale d'astronomes. Une prouesse quand on sait que leur lumière est noyée dans celle de leur étoile. Ils ont suivi, grâce au télescope spatial *Hubble*, le spectre lumineux du couple lorsque la planète passe derrière son étoile. Voyant que seule la partie du spectre correspondant au bleu était affaiblie, les autres couleurs restant inchangées, ils en ont conclu qu'elle était bleue, comme la Terre ! Mais la comparaison s'arrête là. Le bleu de HD 189733b, planète gazeuse torride à peine plus grosse que Jupiter, située à 63 années-lumière dans la constellation du Petit Renard, n'est pas dû, comme sur Terre, à la présence d'oxygène et d'azote dans l'atmosphère ni à celle d'océans d'eau liquide. Son bleu, d'ailleurs plus sombre, proviendrait plutôt de très fines particules de silicates, ressemblant un peu à des morceaux de verre et diffusant une lumière bleue. Cette particularité ne fait qu'ajouter à l'aspect inhospitalier de cette exoplanète, dont on savait déjà qu'elle affiche environ 1000 °C, et dont l'atmosphère est ponctuellement balayée par des tempêtes de rayons X venus de son étoile.

A.D.



▲ Dans la constellation du Petit Renard, HD 189733b est cachée par son étoile. Mais sa couleur visible a pu être déterminée à partir de cette image d'*Hubble*.

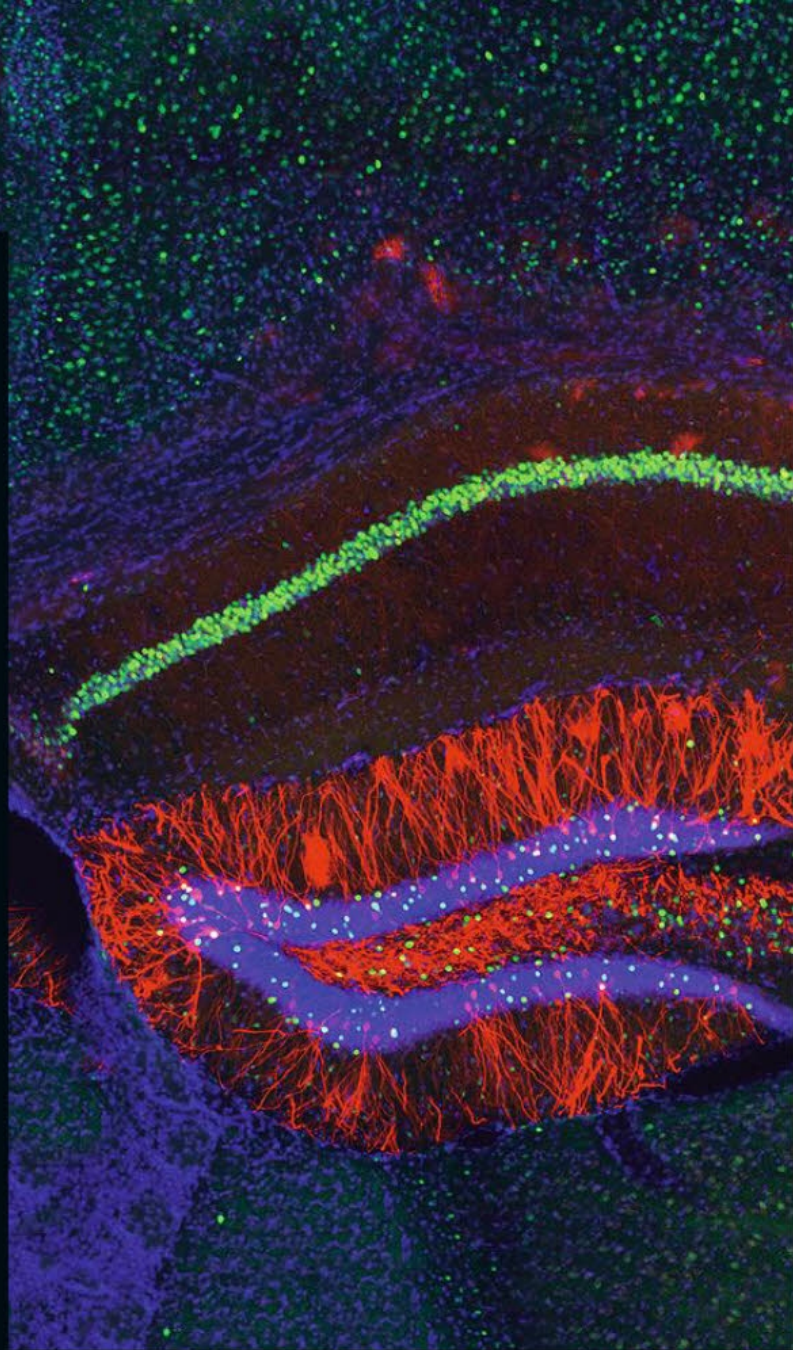
A. ISCH/UNIV. OF CHICAGO - S. RAMIREZ/J. LIU/MIT - GREG RETALLACK/UNIV. OF OREGON

NEUROSCIENCES

DES CHERCHEURS ONT CRÉÉ UN FAUX SOUVENIR

Manipuler des souvenirs, comme dans *Total recall* ou *Inception*? Ce n'est plus de la science-fiction, du moins chez des souris. Steve Ramirez et Xu Liu avaient déjà réussi il y a un an, en stimulant des neurones ciblés avec des flashes laser, à réactiver un souvenir. Grâce à cette technique, l'optogénétique, ces chercheurs du MIT (États-Unis) ont carrément modifié un souvenir. Ils ont d'abord placé des souris dans une boîte, où les neurones actifs (dont ceux encodant le souvenir de cet environnement) ont été "marqués". Puis, dans un cadre différent, les rongeurs ont reçu des chocs électriques pendant que le

souvenir du premier environnement était réactivé, via la stimulation des neurones marqués. De retour dans la première boîte, les souris restaient figées de peur: elles se souvenaient (à tort) avoir reçu des décharges dans ce lieu. *"La mémoire n'est pas un enregistreur fidèle, commente Steve Ramirez. A chaque fois que nous nous remémorons un souvenir, il est susceptible d'être modifié, même si, la plupart du temps, les changements passent inaperçus."* Une piste pour modifier les souvenirs des victimes de stress post-traumatique? *"Dans le principe, oui, répond Xu Liu. Mais pas avant longtemps."* **V.E.**



> *M. mammaliaformis* possédait les traits des prédecesseurs des mammifères mais aussi, déjà, une fourrure.



ÉVOLUTION

IL SERAIT LE PLUS VIEIL ANCÊTRE

Découvert dans le nord-est de la Chine, un fossile très bien préservé malgré ses 165 millions d'années pourrait être le plus vieil ancêtre connu des mammifères. *Megaconus mammaliaformis* avait la taille d'un rat, se déplaçait à quatre pattes mais ne pouvait pas monter aux arbres. L'animal possédait

LE CHIEN VOIT LES COULEURS

Les chiens utilisent bien les deux types de récepteurs à la couleur (cônes) de leur rétine. Des chercheurs russes les ont habitués à obtenir de la viande dans une boîte jaune clair : ils préféreront toujours les boîtes jaunes, même foncées, aux boîtes bleues, même claires. A.D.

LES ÉTOILES FROIDES RECHAUFFENT LEURS ASTRES

Plus une étoile est froide, moins ses planètes risquent de se couvrir de glace. Une modélisation américaine révèle que la glace absorbe le rayonnement des étoiles froides, proche de l'infrarouge (et peut ainsi fondre) et réfléchit le rayonnement des étoiles chaudes, plus proche des ultraviolets. A.D.

ARGENT ET JEU

Observé via IRMf par une équipe française, le cerveau de personnes dépendantes aux jeux d'argent ne montre pas de sensibilité exacerbée aux gains monétaires. En revanche, il serait relativement moins sensible que la moyenne aux sources de plaisir primaire, comme le sexe ou la nourriture. A.D.

DES MAMMIFÈRES

dait sur ses membres postérieurs des épérons connectés à des glandes à venin. Mais plus étonnant : s'il était doté de la plupart des traits anatomiques des reptiles mammaliens qui ont précédé l'arrivée des premiers mammifères, il possédait déjà des traits plus modernes, comme une fourrure. O.D.

PALÉONTOLOGIE

LA VIE EST SORTIE DE L'EAU BIEN PLUS TÔT QUE PRÉVU

Si l'origine de la vie reste un mystère, certains points de l'histoire semblaient posés : une planète formée il y a 4,56 milliards d'années ; la vie apparue vers -4 milliards d'années, dans un océan primordial, via les cellules les plus simples. Puis l'apparition, il y a 2 milliards d'années, de cellules dotées d'un noyau ; enfin la formation d'organismes pluricellulaires il y a 600 millions d'années – époque où quelques audacieux se seraient hissés sur la terre ferme. Mais ce scénario fondateur se fissure un peu plus tous les ans... En 2010, une équipe française annonçait la découverte de pluricellulaires vieux de 2 milliards d'années (S&V n° 1115, p. 20). Aujourd'hui, c'est la sortie des eaux qui prend de l'âge ! Le géologue Gregory Retallack, de l'université de l'Oregon, vient en effet de prouver que la vie avait déjà colonisé les terres émergées il y a 2,2 milliards d'années ! Une révélation obtenue après l'analyse chimique et aux rayons X de 153 fossiles sud-africains de *Diskagma buttonii*. Long de 1 mm, celui-ci rappelle le champignon Géosiphon avec sa forme en urne : doté d'une base tubulaire, il est surmonté d'un corps central puis d'une coupe potentiellement garnie de filaments. Cette découverte oblige à réexaminer d'autres fossiles jusque-là problématiques et dessine des terres primitives insoupçonnées ! E.R.



▲ Ce fossile, *D. buttonii*, qui rappelle un champignon, repousse l'âge de la sortie de l'eau de 1,6 milliard d'années.



ÉTHOLOGIE

CHAQUE DAUPHIN SE FAIT APPELER PAR SON NOM

Incroyable, la facilité qu'ont les dauphins de savoir siffler ! Un sifflement qui est une signature vocale personnelle dont ils se servent pour signaler un objet, ou bien pour s'annoncer auprès de leurs congénères. Mais on était loin de se douter que cette signature vocale est aussi un moyen de se faire appeler. Deux biologistes de l'université de Saint-Andrews au Royaume-Uni, Stephanie King et Vincent Janik, ont enregistré les signatures vocales de

200 grands dauphins sauvages vivant au large de la côte est de l'Ecosse. Puis ils leur ont retransmis chaque signature en modifiant légèrement l'enregistrement pour faire croire qu'elle était émise par un autre cétacé. Résultat : les dauphins ont répondu à leur signature en sifflant à plusieurs reprises, montrant qu'ils reconnaissent leur "nom" à l'appel d'un ami. Les chercheurs pensent donc qu'ils peuvent non seulement apprendre à émettre d'autres sons, mais

aussi à s'appeler les uns les autres par leur nom. Ce qui, en dehors de l'homme, est unique dans le monde animal. Mieux encore : selon un autre biologiste de l'université de Chicago aux Etats-Unis, Jason Bruck, qui a étudié des dauphins captifs cette fois, les cétacés peuvent non seulement retenir la signature vocale d'un de leurs congénères, mais ils sont aussi capables de s'en rappeler après plus de vingt ans passés sans se voir. Sacrée mémoire ! **O.D.**

▲ Les grands dauphins ont chacun une signature vocale, qui leur permet de se reconnaître et de s'appeler, même après des années sans se voir.

NEUROSCIENCES

LA DOPAMINE DOPE L'EFFORT SOUTENU

La motivation nécessaire pour mener à bien une tâche à long terme viendrait d'une libération croissante de dopamine dans une région du cerveau, le striatum. Plus nous approchons du but et plus il est important, plus la quantité de dopamine sera élevée, fournissant un moteur pour accomplir les efforts nécessaires. Découvert par Mark Howe du MIT (Etats-Unis) chez le rat, ce mécanisme est sans doute à l'œuvre chez l'homme, car un déficit en dopamine (par exemple dans la maladie de Parkinson) est lié à des difficultés pour mener une tâche à son terme. **V.E.**

PALÉONTOLOGIE

Neandertal nous a légué ses outils

L'homme de Neandertal aurait transmis sa technologie à l'homme moderne ! Des archéologues français et allemands ont découvert sur deux sites de Dordogne où vivaient des néandertaliens il y a 50 000 ans, des fragments d'outils en os de cervidés ayant servi à façonner des peaux. Des lisseurs comparables à ceux des tanneurs actuels. Selon les archéologues, ce sont les plus vieux outils en os trouvés à ce jour en Europe occidentale et utilisés bien avant l'arrivée de l'homme moderne en Europe il y a environ 40 000 ans. **O.D.**



◀ Ce lisseur néandertalien servait à travailler les peaux des animaux.



Nouveau Hyundai ix35 Inspiration. Engineered.



Chez Hyundai "Inspiration. Engineered" est la manière dont nous concevons nos véhicules. Une Hyundai c'est plus que du métal et de la mécanique. Une Hyundai est faite d'inspiration, de cette force qui nous anime pour transformer quelque chose d'ordinaire en extraordinaire. Dessinée pour être remarquée, conçue pour votre plaisir.

Nouveau Hyundai ix35 à partir de 17 950 € TTC ⁽¹⁾.
À découvrir sur Hyundai.fr



NEW THINKING.
NEW POSSIBILITIES.

Consommations mixtes de la gamme Hyundai ix35 (l/100km) : de 5,2 à 6,9. Émissions de CO₂ (g/km) : 135 à 182.

Modèle présenté : Nouveau Hyundai ix35 1.7 CRDI 115 Blue Drive PACK Premium Limited à 28 810 € (32 250 € - 2 500 € de remise - 1 500 € de reprise + 560 € de peinture métallisée). ⁽¹⁾ Offre réservée aux particuliers, non cumulable et valable jusqu'au 31.12.2013. Prix TTC au 07.08.2013, additif n°1 au tarif client n°3 au 2 avril 2013 hors options du Nouveau Hyundai ix35 1.6 GDI 135 PACK Evidence Blue Drive (21 950 € - 2 500 € de remise - 1 500 € de reprise).

New Thinking. New Possibilities : Nouvelles idées. Nouvelles possibilités. Inspiration. Engineered : De l'inspiration à la réalisation.

HYUNDAI MOTOR FRANCE RCS Paris B 411 394 893

GOUTTE DE POIX

ON L'A ENFIN VUE TOMBER !

Elle n'en finissait pas de vouloir tomber. Le 11 juillet dernier, la goutte l'a enfin fait, sous l'œil d'une caméra, mettant fin à l'une des plus interminables expériences de laboratoire.

Soixante-neuf ans qu'il prenait la poussière dans un coin de laboratoire du prestigieux Trinity College, à Dublin (Irlande). Un entonnoir en verre, rempli de la matière noire, posé au-dessus d'un bécher, près d'une horloge égrenant les heures. Un simple dispositif installé pour répondre à une question telle que pouvaient se la poser les physiciens dans les années 1940, avec les moyens dont ils disposaient à l'époque : la poix, entre la résine et le goudron, est-elle un solide ou un liquide qui s'écoule très lentement ?

MISE EN PLACE EN 1944 !

A température ambiante, la poix est si dure qu'on peut la briser au marteau ; mais chauffée, elle devient visqueuse. L'idée était donc de faire fondre cette poix, de la mettre dans un entonnoir, et de la laisser refroidir. Si une goutte finissait par tomber, une fois la poix revenue à température ambiante, alors celle-ci serait un liquide, et on pourrait mesurer sa viscosité. Il ne restait plus qu'à attendre. Sauf que personne

n'imaginait que la chute durerait... une dizaine d'années.

Au Trinity College, on raconte que l'expérience a été lancée en 1944, par un professeur du cru et prix Nobel de physique, Ernest Walton, connu pour ses travaux sur la transmutation des noyaux atomiques. Mais bien vite, le dispositif fut mis de côté, laissant s'égoutter la poix dans l'oubli le plus total. Personne ne s'inquiéta du fait qu'une expérience jumelle était déjà en cours de l'autre côté de la Terre, en Australie (voir encadré). Et que là-bas, deux gouttes étaient déjà tombées (en 1938 et 1947), démontrant que la poix est un liquide. Depuis, aucun physicien n'avait vu une goutte s'écraser au Trinity College, ni même ne pouvait dire combien de gouttes l'avaient peut-être déjà fait, faute de témoin pour l'attester... jusqu'en avril dernier.

Le physicien Shane Bergin, passant par hasard, voit qu'une belle goutte pointe son nez. Il décide avec ses collègues de braquer une webcam sur le dispositif pour suivre l'évène-

FAITS & CHIFFRES

La première expérience de la goutte de poix a été lancée il y a **86 ans (1927)**, à l'université du Queensland (Australie) par le physicien Thomas Parnell, ce qui en fait l'expérience scientifique en cours la plus longue au monde, à raison d'une goutte **tous les 7 à 13 ans** pour une chute qui ne dure... qu'un dixième de seconde.

➤ Au Trinity College de Dublin, la goutte de poix avait une caméra braquée sur elle depuis le mois d'avril 2013...



L'EXPÉRIENCE AUSTRALIENNE FRAPPÉE DE MALCHANCE

Le professeur John Mainstone espérait vivre cet événement depuis 52 ans. Avant son arrivée à l'université du Queensland (Australie), trois gouttes étaient déjà tombées, en 1938, 1947 et 1954. Quatre autres suivirent en 1962, 1970, 1979 et 1988, sans qu'il en soit témoin.

L'une tomba au beau milieu de la nuit et une autre lors de sa pause thé... Pas de chance non plus quand, le 28 novembre 2000, la caméra installée au début des années 1990 tombe en panne pile quand se décroche la huitième goutte. Fair-play, John Mainstone n'a pas manqué de féliciter ses collègues irlandais. Malheureusement, il ne pourra voir la neuvième goutte, qui devrait tomber d'ici la fin de l'année. Il vient de décéder d'une crise cardiaque, le 23 août dernier, à l'âge de 78 ans.

ment en direct. Et le 11 juillet à 17 heures, le miracle se produit : une goutte fine et très longue s'écrase. *"Nous étions très excités, raconte Shane Bergin. C'était un grand sujet de conversation entre collègues et nous étions tous curieux de connaître la viscosité de notre échantillon."* Ce qu'ils se sont empressés de mesurer, en étudiant l'évolution de la forme de la goutte pendant sa chute. Résultat : deux millions de fois plus visqueuse que le miel ou vingt milliards de fois plus que l'eau. Soit une viscosité environ dix fois moindre que ce qui avait été estimé après la chute de la dernière goutte australienne, en 2000. Un tel écart

n'est pas si étonnant, surtout compte tenu des différences de composition entre les deux poix, mais aussi des variations de température, de pression et des vibrations environnantes qui ont dû se produire durant toutes ces années, modifiant inmanquablement la vitesse de formation de la goutte.

Les physiciens du Trinity College, eux, se préparent à la prochaine chute : *"Qui sait quelles technologies seront disponibles dans dix ans, se demande Shane Bergin. Mais nous serons bien là pour capturer cet instant magique dans toute sa stupéfiante beauté."* Une belle récompense pour qui sait attendre. **O.D.**

◀ De g. à dr. : la goutte de poix les 3, 11 et 12 juillet. Le mélange de résine et de goudron est donc liquide, et sa viscosité a été calculée.





< Après avoir été tranchée, la tête du ver *Planaria* se régénère. Avec ses souvenirs !

BIOLOGIE ANIMALE

LA MÉMOIRE DE CE VER N'EST PAS DANS SA TÊTE

Le ver *Planaria* peut perdre la tête, il ne perd pas pour autant la mémoire ! Ce petit ver plat, prisé des scientifiques qui lui coupent régulièrement les extrémités pour observer ses capacités de régénération, n'en finit pas d'étonner : une fois son cerveau régénéré, il retrouve en effet ses anciens souvenirs. C'est ce qu'ont démontré les biologistes Tam Shomrat et Michael Levin de l'université Tufts, aux Etats-Unis. En laboratoire, ils ont habitué le petit ver d'eau douce à aller chercher de la nourriture au milieu d'un espace ouvert et lumineux, un environnement qu'il n'apprécie guère habituellement – le ver préfère rester sur les parois. Puis ils ont véri-

fié que l'animal gardait bien le souvenir de cet apprentissage au moins quatorze jours, le temps nécessaire pour régénérer sa tête. Ils ont alors décapité *Planaria* avant de renouveler l'expérience : après une première séance peu concluante, le ver a retrouvé le chemin de la nourriture. Comme si la mémoire, une fois sa tête repoussée, lui était revenue ! Ce résultat suggère que la mémoire serait conservée en dehors du cerveau. Les scientifiques avouent ne pouvoir, à ce jour, expliquer le phénomène, mais émettent néanmoins une hypothèse : l'entraînement aurait réussi à modifier les cellules souches à partir desquelles le ver renouvelle ses organes perdus. **R.B.**

PHYSIQUE

L'effet Doppler joue aussi dans la rotation

L'effet Doppler modifie la fréquence des ondes émises par un objet en mouvement : la sirène d'une ambulance nous arrive plus aiguë lorsque le véhicule s'approche qu'à l'arrêt. Des chercheurs britanniques ont montré qu'il existait un effet Doppler pour les objets en rotation. En envoyant de la lumière sur un disque tournant, ils ont observé un décalage dans les fréquences lumineuses réfléchies. On pourrait ainsi mesurer la vitesse de rotation des exoplanètes, ou celle de l'atmosphère terrestre. **S.D.**



ASTROPHYSIQUE

L'OR TERRESTRE NAÎT DE COLLISIONS CÉLESTES

On a peut-être découvert l'origine de l'or dans l'Univers. En juin, le satellite *Swift* a détecté un rayonnement gamma très puissant et très court (une fraction de seconde). Autant les physiciens savent que les "sursauts gamma" longs (plus de 2 s) sont le signe de l'explosion d'étoiles massives (supernovae), autant les sursauts courts restaient énigmatiques. Or, celui-ci était accompagné d'une lueur infrarouge, pouvant correspondre à la décroissance radioactive d'éléments lourds créés lors de la fusion de deux étoiles à neutrons (résidus d'étoiles massives), et qui aboutirait à la formation d'or ou de platine. D'après l'Américain Edo Berger, chacune de ces fusions cosmiques serait capable de produire une masse d'or environ 10 fois plus grande que celle de la Lune. **A.D.**

CE QUE VOUS ATTENDIEZ :



CE QUE VOUS N'ATTENDIEZ PAS :

CHAMBRE PRIVILÈGE MERCURE.

Offrez-vous l'expérience de notre chambre grand confort dotée d'une literie haut de gamme, d'une station d'accueil ihome, d'une machine expresso et bien d'autres attentions.

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

MERCURE NICE CENTRE NOTRE DAME. PHOTO © CYRIL CHAUVIN/ABACA.

REDÉCOUVREZ
MERCURE

Mercure

**LE CLUB ACCOR
HOTELS**

REJOIGNEZ NOTRE PROGRAMME DE FIDÉLITÉ
MONDIAL SUR ACCORHOTELS.COM

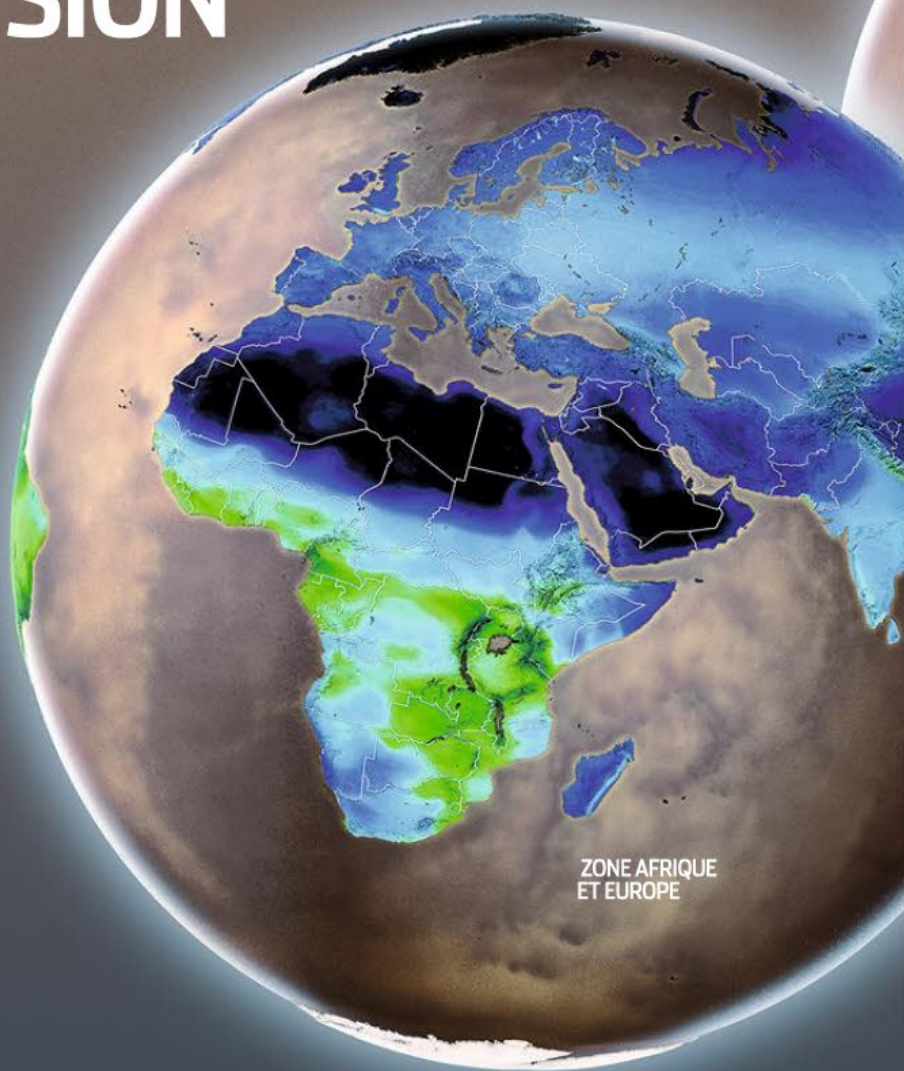
PLUS DE 700 HÔTELS
DANS LE MONDE.

CONSERVATION DES ESPÈCES

L'ÉTAT DE LA BIODIVERSITÉ EST ENFIN GÉOLOCALISÉ AVEC PRÉCISION

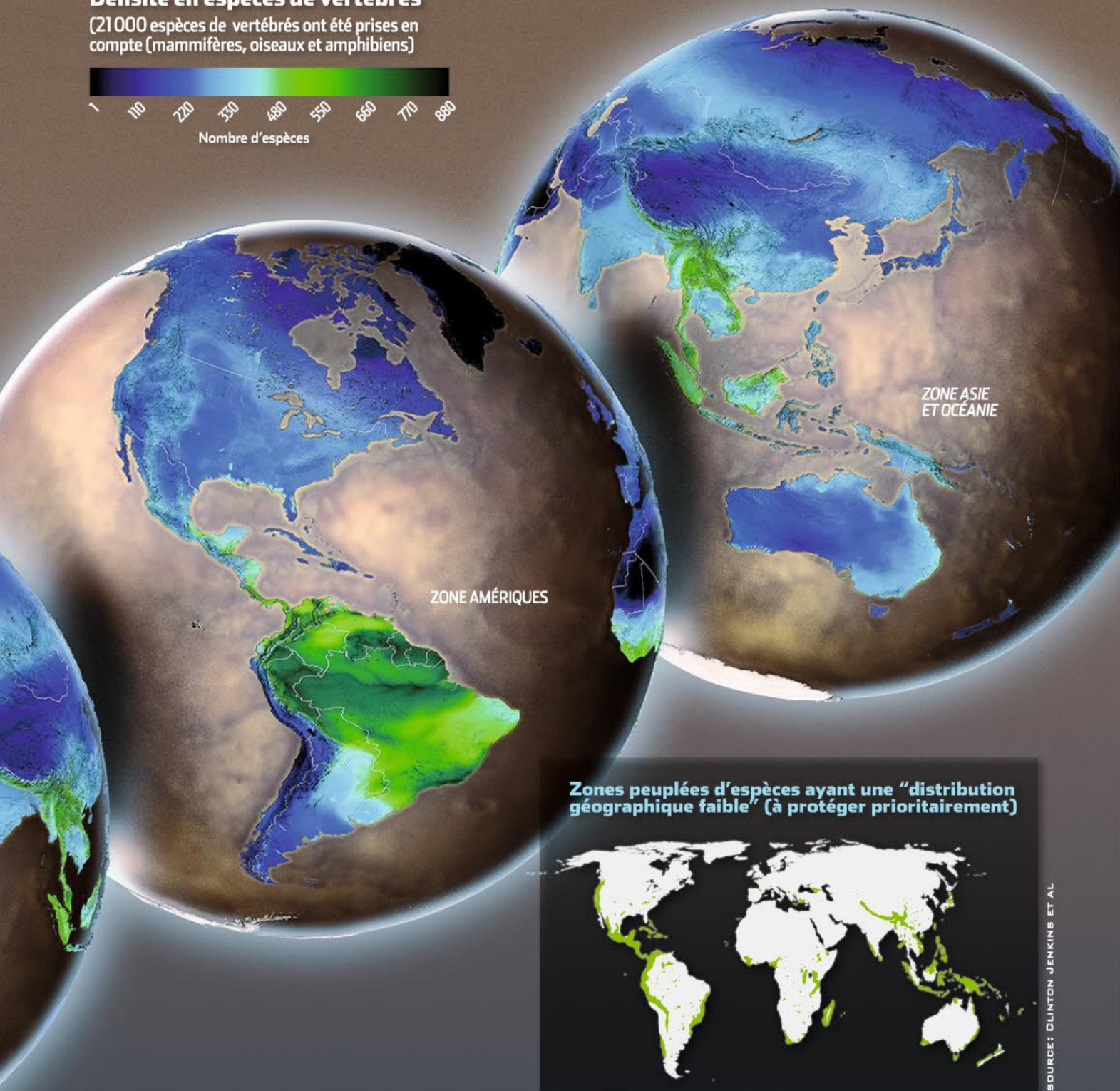
“Pour protéger les animaux, il faut savoir où les trouver”. Partant de ce constat, Clinton Jenkins (université de Caroline du Nord) et son équipe ont recensé, sur le globe, plus de 21 000 espèces de vertébrés, en analysant les données disponibles à une échelle très fine : 10 km sur 10 km. Résultat : leur atlas de la biodiversité est cent fois plus précis que ce qui existait jusque-là ! “*Il est important de regarder le monde avec l’objectif utilisé pour mener les actions de protection locale : on s’en approche à cette échelle*”, note le chercheur. C’est en Amazonie, en Afrique et en Asie du Sud-Est que l’on trouve le plus d’espèces de vertébrés. Mais comment identifier les zones à protéger prioritairement ? Les chercheurs ont recensé les espèces ayant une “distribution géographique faible” (on les trouve dans peu de zones différentes), plus facilement en danger d’extinction que les autres. Les régions concentrant le plus grand nombre de ces espèces doivent bénéficier d’un effort marqué : Andes, Madagascar, Asie du Sud-Est... Parce que “*ce qui est fait aujourd’hui est encore insuffisant*.” L’étude a également fait émerger de nouvelles zones prioritaires : la Nouvelle-Guinée, ou encore la côte est australienne.

M.S.

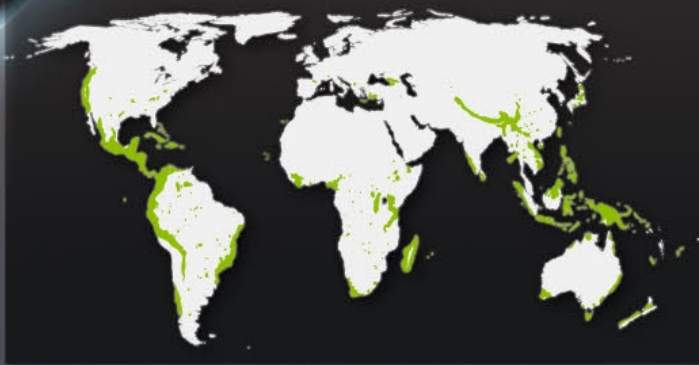


Densité en espèces de vertébrés

(21 000 espèces de vertébrés ont été prises en compte (mammifères, oiseaux et amphibiens))



Zones peuplées d'espèces ayant une "distribution géographique faible" (à protéger prioritairement)



SOURCE: CLINTON JENKINS ET AL

8% de la surface émergée du globe est considérée comme prioritaire

93% des vertébrés sont concentrés dans ces zones prioritaires

19% des zones prioritaires sont d'ores et déjà protégées

MÉTÉOROLOGIE

IL VA PLEUVOIR TOUJOURS PLUS FORT SUR L'EUROPE

Plus de doute: les pluies exceptionnelles qui se sont abattues ces dernières années sous nos latitudes sont dues en majeure partie aux rivières atmosphériques, un phénomène climatique observé depuis une vingtaine d'années. Il s'agit de courants d'altitude gorgés de vapeur d'eau, qui peuvent atteindre 300 km de largeur et 1 000 km de longueur. Des chercheurs des universités de Reading (Angleterre) et de l'Iowa (États-Unis) ont établi une corrélation entre les pluies journalières maximales et l'occurrence des rivières atmosphériques dans de nombreux pays d'Europe

(Grande-Bretagne, France et Allemagne en particulier). Ce lien expliquerait la plupart des tempêtes extratropicales et des inondations majeures sur le continent. D'après les modélisations, le réchauffement devrait faire doubler leur nombre dans les décennies à venir. *"La hausse de la fréquence et de l'intensité de ces phénomènes va au-delà de la variabilité naturelle du climat; c'est une réponse au réchauffement généré par l'homme"*, affirme David Lavers, coauteur de l'étude. Il faut donc s'attendre à de nouvelles catastrophes... pas si naturelles. **D.H.**

Reperées dans le ciel, des "rivières atmosphériques" sont à l'origine des pluies hors normes de ces dernières années. Et cela va continuer.

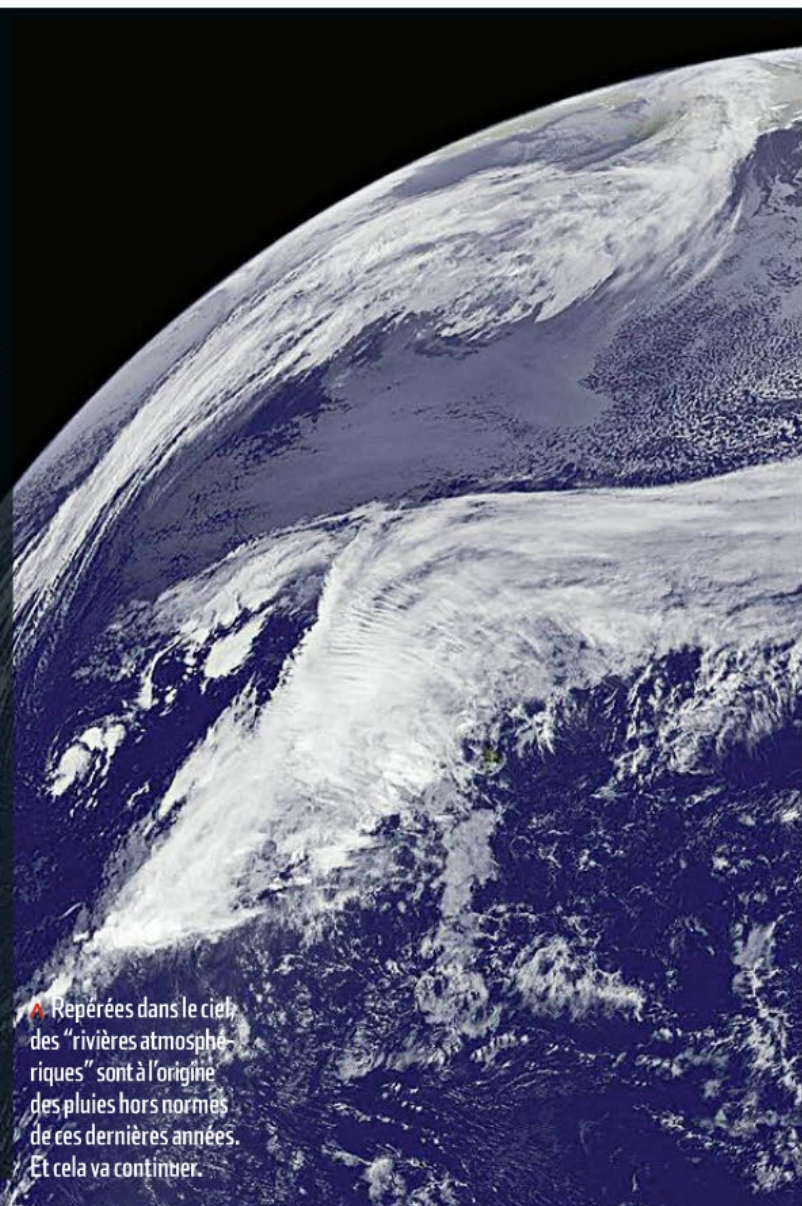


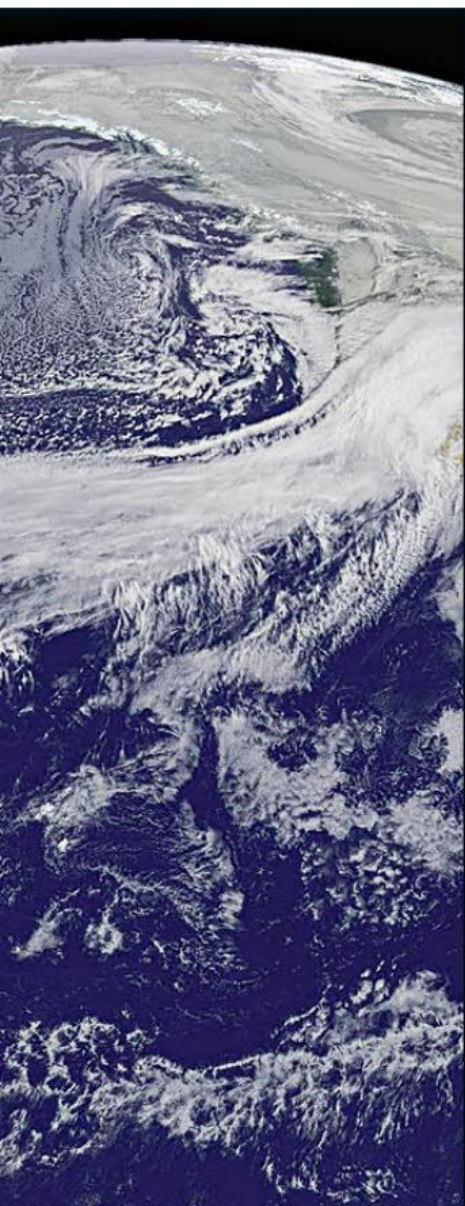
AGRONOMIE

LE COCHON GAGNE À ÊTRE NOURRI

Pour éviter les odeurs et la pollution issues des élevages porcins, ne donnez pas de la confiture aux cochons, mais... de la chabazite! Incorporée à l'alimentation des porcs sous forme de poudre, cette zéolithe, une roche volcanique poreuse comme une éponge, *"réduit les odeurs et piège jusqu'à 30 % de l'azote*

ammoniacal présent dans les effluents d'élevage", indique Nadine Guingand, de l'Institut du porc. Une fois les lisiers épandus dans les champs, la chabazite aurait la capacité de restituer cet azote ammoniacal selon les besoins des cultures. Elle limiterait ainsi son lessivage vers les nappes phréatiques





L'ARCTIQUE SERA BIENTÔT LIBRE DE GLACE

L'Arctique perdrait toute sa glace en été d'ici à 2054-2058. Des chercheurs de l'université d'Albany (Etats-Unis) ont affiné cette prévision en confrontant modèles et observations. Une aubaine pour le transport maritime et l'exploration pétrolière... une catastrophe pour les écosystèmes et le climat. **D.H.**

UN SUPER-CONTINENT EST EN FORMATION

Des géologues australiens ont découvert, au large du Portugal, une nouvelle zone de subduction. Elle annonce le début d'un cycle au cours duquel l'Europe va se rapprocher de l'Amérique jusqu'à former un supercontinent, d'ici quelque 200 millions d'années. **D.H.**

DES PESTICIDES OMNIPRESENTS

Presque tous les cours d'eau français (93 % des 2 360 sites examinés) sont contaminés par des pesticides. D'après le bilan 2011 des agences de l'eau, dans 17 sites (0,8 %), situés dans les zones très cultivées du Nord, du Bassin parisien et du Sud-Ouest, leur concentration dépasse 5 µg/l : l'eau ne peut plus être transformée en eau potable. **V.E.**

DE CHABAZITE

et les rivières à l'origine de la prolifération des algues vertes, qui échouent chaque été par milliers de tonnes sur le littoral breton et sont hautement toxiques à l'état de décomposition. Après l'expérimentation en porcherie, des essais en plein champ sont actuellement menés dans les Côtes-d'Armor. **D.H.**

MUTUALISME

UNE PLANTE "PUNIT" LES FOURMIS TROP VORACES

En Guyane, une plante qui abrite habituellement des fourmis n'hésite cependant pas à les punir... si celles-ci l'empêchent de fleurir ! C'est ce que vient de découvrir l'équipe de Pierre-Jean Malé, de l'université de Toulouse. Pour la première fois, un mécanisme de sanction permettant de maintenir une relation mutualiste (où chacun des partenaires tire profit de la présence de l'autre) entre une plante et un insecte est démontré. En effet, l'arbuste *Hirtella physophora* et les fourmis *Allomerus decemarticulatus* ont l'habitude de s'entraider : ces dernières habitent dans les poches foliaires (à la base des feuilles) de la plante, qui est ainsi protégée d'autres insectes susceptibles de la manger. Mais voilà : parfois, les fourmis voudraient plus de feuilles pour agrandir leur habitat... Elles peuvent alors détruire plus des deux tiers des boutons floraux, afin que l'énergie de la plante soit redirigée vers la production de feuilles. Cependant, *Hirtella physophora* ne se laisse pas faire ! Pour répondre à cette véritable castration, elle se met à produire des poches foliaires si petites que la plupart des fourmis ne peuvent les utiliser. De plus, les quantités de nourriture (son nectar) diminuent et, avec elles, la croissance et la reproduction de la colonie de fourmis. C'est ainsi que, progressivement, la relation retrouve son équilibre. **S.F.**



▲ En modifiant sa croissance, *Hirtella physophora* oblige les fourmis à tempérer leurs ardeurs.

OCÉANOGRAPHIE

LE MONDE MARIN RÉAGIT VITE AU RÉCHAUFFEMENT

Comment le changement climatique influe-t-il sur la vie marine? Pour répondre à cette question, des chercheurs de dix-sept institutions ont uni leurs efforts afin de compiler toutes les observations déjà effectuées sur le sujet. Ils ont décortiqué 208 études, récoltant des données sur plus de 850 espèces marines partout sur la planète. Répartition géographique, abondance, calcification (formation de coquilles)... la synthèse montre que la réaction des organismes marins au changement climatique est parfois plus forte que celle de leurs homologues terrestres. Ainsi, sous l'effet du réchauffement des eaux de surface, les habitants des

océans se déplacent vers les pôles de 72 km par décennie en moyenne – sur terre, cette migration climatique est dix fois plus lente. Les plus pressés de se mettre au frais sont le phytoplancton (plancton végétal), le zooplancton (animal) et les poissons osseux. Autre constat: les températures printanières étant atteintes plus tôt dans l'année, les événements associés au printemps, tels que la floraison du phytoplancton, gagnent en précocité. Ils se décalent de quatre jours tous les dix ans, soit deux fois plus vite que sur terre. Autant d'informations cruciales pour mieux prédire le devenir des ressources océaniques. L.C.



80 m/jour

C'est la vitesse record à laquelle le magma du volcan Irazú, au Costa Rica, est remonté à la surface lors de sa dernière grosse éruption, entre 1963 et 1965. La composition de cristaux d'olivine indique que son passage de la chambre magmatique (où il s'accumule avant l'éruption) à la surface, à travers les 35 km de croûte terrestre, aurait duré à peine plus d'un an. Ce chiffre contredit l'idée selon laquelle, dans les gros volcans, ce trajet prendrait des centaines, voire des milliers d'années. A.D.

ÉCOTECHNOLOGIES

Le cactus montre la voie contre les marées noires

Des épines en silicone, inspirées de celles des cactus, peuvent absorber les microgouttelettes de pétrole, les plus difficiles à récupérer dans l'eau, affirme le Chinois Kan Li. Le pétrole adhère à la silicone et remonte à la base des aiguilles, comme l'eau sur les épines de cactus. Le pétrole serait ainsi séparé de l'eau avec une efficacité de 99 %.v.E.





< Les poissons osseux (ici, *Kyphosus cinerascens* et *Caesio cuning*, du bassin Indo-Pacifique) sont parmi les plus rapides à migrer vers les pôles.



< Des aiguilles en silicone "boiraient" le pétrole comme les épines du cactus absorbent l'eau.

ÉCOLOGIE MICROBIENNE

POUR SE PROTÉGER, UNE AMIBE CULTIVE SES PROPRES PESTICIDES

On savait que des amibes *Dictyostelium discoideum* cultivaient des bactéries comme nourriture... et voilà qu'elles les utilisent aussi pour se protéger des champignons parasites ! C'est la conclusion de Pierre Stallforth, biochimiste à la faculté de médecine de Harvard (Etats-Unis). Le premier fait est connu depuis qu'en 2011, l'Américaine Debra Brock découvrit une forme d'agriculture primitive chez cet être unicellulaire. "Mais un jour, elle a réalisé qu'un clone de 'Dicty' contenait non pas une, mais deux souches de bactéries : en effet, les colonies cultivées avaient des formes différentes", raconte Pierre Stallforth. Le chercheur tente alors de comprendre le rôle de cette seconde souche : elle fabrique de la pyrrolnitrine, une substance qui détruit les champignons parasites. Plus étonnant : les bactéries comestibles seraient apparues par mutation de la souche pourvoyeuse de pesticides. "Dicty" s'est donc d'abord associée avec des bactéries la protégeant des infections, à qui elle offrait en échange le gîte et le transport. Puis, certaines de ces bactéries sont devenues comestibles. L'avantage pour les bactéries ? Un hôte bien nourri augmente leurs chances de survie, même si cela implique le sacrifice de certaines d'entre elles. **V.E.**

> L'amibe *Dictyostelium discoideum* héberge des bactéries qui la protègent des champignons parasites.



R.DIRSCHERL/VISUAL UNLIMITED/GETTY - M.RUEGNER/GETTY - A.WILD

POURQUOI LE PHOTOVOLTAÏQUE N'EST PAS PLUS DÉVELOPPÉ EN FRANCE

Non polluant et inépuisable, le solaire photovoltaïque ne manque pas d'atouts face au nucléaire. Pourtant, la France rechigne devant les coûts nécessaires à sa mise en place.

Depuis une dizaine d'années, l'énergie photovoltaïque connaît une croissance fulgurante dans le monde. La puissance totale des panneaux solaires installés au sein de grandes centrales ou sur les toits des maisons dépasse désormais les 100 000 MW ! Non polluante, cette énergie ne produit ni déchets ni gaz à effet de serre. Elle provient d'une ressource renouvelable et inépuisable (le rayonnement solaire) et, contrairement à l'éolien, elle est silencieuse et s'intègre assez bien dans le paysage. Au classement des pays qui ont choisi de développer le photovoltaïque, la France est néanmoins à la traîne : 4 000 MW installés fin 2012, contre 32 000 MW en Allemagne (premier parc mondial).

La transition énergétique engagée depuis le début des années 2000 vise pourtant à se défaire progressivement du nucléaire pour produire notre électricité.

Mais les objectifs en matière de photovoltaïque sont restés modestes. En 2009, le Grenelle de l'environnement ne visait que 4 % d'électricité renouvelable produite à partir de cette énergie (soit 5 400 MW) d'ici à 2020, contre 40 % à partir de l'éolien. La raison ? Trop chère...

L'ÉTAT FAIT MARCHÉ ARRIÈRE

Pour soutenir son développement, les autorités avaient mis en place, en 2006, des mesures incitatives, comme l'achat par EDF de l'électricité produite à des tarifs avantageux pour les vendeurs. Les installations avaient alors fleuri sur tout le territoire, notamment chez les particuliers. Entre 2006 et 2010, le parc photovoltaïque est ainsi passé de 4 à... 880 MW ! Devant un tel engouement et craignant que la facture d'électricité des Français ne flambe (le surcoût des tarifs d'achat est répercuté dessus),



REPÈRES

Dès 1986 (après Tchernobyl), l'Union européenne encourage les énergies renouvelables. **En 2005**, la France envisage de produire 21 % d'électricité d'origine renouvelable **en 2010** (objectif non atteint : seulement 8 % en 2011). Le Grenelle de l'environnement fixe, **en 2009**, la part du solaire photovoltaïque dans l'électricité "propre" à 4 % **d'ici à 2020**, objectif qui devrait être atteint plus tôt que prévu.

l'Etat a décidé, en 2011, de revoir ses tarifs d'achat à la baisse, entraînant un fort ralentissement du marché. Selon un rapport récent de la Cour des comptes, l'électricité photovoltaïque en France coûte toujours plus cher aujourd'hui que le nucléaire. Et même si elle sera compétitive dans quelques années, son essor dépend de la volonté des autorités. "L'Allemagne, elle, a mené une politique constante et en récolte les fruits", compare Cédric Philibert, analyste à l'Agence internationale de l'énergie.

L'autre frein tient à la nature de cette énergie. Dépendante du soleil, la production photovoltaïque est fluctuante la journée et nulle la nuit. Donc en inadéquation avec la consommation d'électricité... Il s'agit alors de faire évoluer le réseau électrique français en conséquence et de trouver des solutions de stockage économiques. **L.B.**



CLÉ N° 1

Malgré le potentiel solaire du pays...

Du fait de sa situation géographique, la France possède le cinquième "gisement" solaire européen. L'ensoleillement est plus faible dans le Nord (1 000 kWh/m²) que dans le Sud-Est (1 900 kWh/m²). Le pourtour méditerranéen et les DOM se partagent d'ailleurs 30 % du parc photovoltaïque français. Une maison équipée de panneaux solaires bien orientés peut produire 3 000 kWh par an, soit l'équivalent de la moitié de la consommation d'électricité d'un ménage.



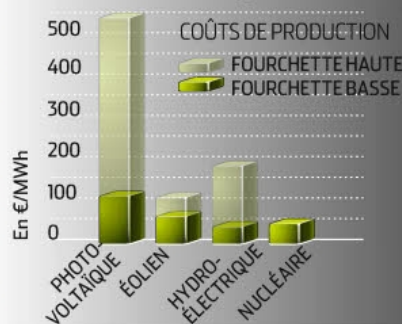
Ensoleillement annuel de la France



SOURCE: COMMISSION EUROPÉENNE

CLÉ N° 2

... cette énergie coûte encore cher à produire.



En moyenne, le photovoltaïque est le plus coûteux : de 114 €/MWh pour une centrale solaire dans le sud de la France à 547 €/MWh pour des panneaux chez un particulier du Nord. Mais les prix des panneaux ne cessant de baisser et ceux de l'électricité (tarifs EDF) d'augmenter, cette énergie devrait être compétitive dès 2016.

SOURCE: COUR DES COMPTES

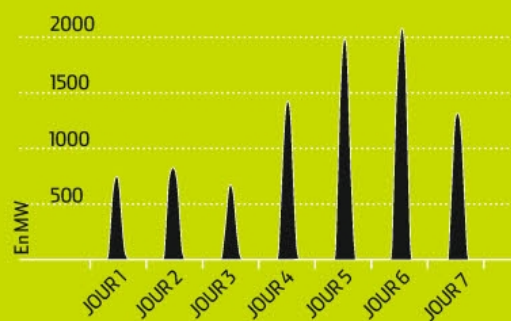
▲ Une maison équipée de panneaux solaires peut produire jusqu'à la moitié des besoins annuels en électricité d'un ménage.

CLÉ N° 3

Soumise aux aléas de la météo...

Dépendante du soleil, la production photovoltaïque n'est possible que le jour et varie en fonction des conditions météorologiques. Ainsi, dans la même semaine, elle est maximale autour de midi par une belle journée d'été, nulle à partir de 19 heures, puis très faible le lendemain par temps nuageux. Or, cette fluctuation est en décalage avec les pics habituels de consommation électrique, notamment celui de 19 heures en hiver. A l'échelle d'un foyer, lorsque cette énergie est utilisée sur place, il est donc nécessaire de recourir à un dispositif de stockage pour amortir ces variations. Mais le coût actuel des batteries est encore trop important.

Production solaire type en France

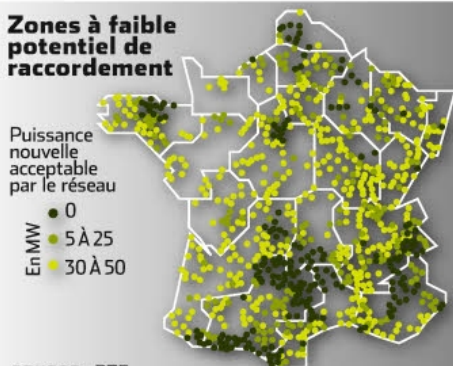


SOURCE: RTE

Zones à faible potentiel de raccordement

Puissance nouvelle acceptable par le réseau

- 0
- 5 À 25
- 30 À 50



SOURCE: RTE

CLÉ N° 4

... elle nécessite d'adapter le réseau électrique national.

Dans la majorité des cas, l'électricité photovoltaïque est réinjectée dans le réseau national. Or, ses capacités de raccordement sont aujourd'hui saturées, notamment dans la moitié sud du pays. Il est prévu de le renforcer. Le réseau n'est de plus pas conçu pour gérer et stocker cette énergie intermittente. La solution devrait, en partie, venir des futurs réseaux intelligents, qui seront capables de mesurer et anticiper en temps réel les variations de production et de consommation.

S.CAUTIER/SAGAPHOTO - M.KONTENTE

JE PEUX EXTRAIRE DE L'OR AVEC DU SUCRE



SON IDÉE

ZHICHANG LIU, chimiste à la Northwestern University dans l'Illinois (États-Unis)

Science & Vie : Comment vous est venue cette idée ?

Zhichang Liu : Tout à fait par hasard. Elle m'est venue après avoir mélangé le contenu de deux tubes à essai. L'un contenait une solution de sels de potassium et d'or ; l'autre de l'alpha-cyclodextrine, un sucre dérivé de l'amidon qui est produit par une bactérie. A l'origine, je pensais obtenir des petites structures cubiques à larges spores, capables de stocker des gaz. Mais à ma grande surprise, en moins d'une minute, j'ai vu se former de minuscules aiguilles brun pâle et brillantes. Au microscope électronique, je me suis alors rendu compte qu'il s'agissait de plusieurs milliers de nano-fils d'ions or, retenus prisonniers dans les molécules d'alpha-cyclodextrine. Vu la rapidité avec laquelle ces nanoparticules d'or se sont agrégées, j'ai rapidement réalisé que ce procédé pourrait intéresser l'industrie aurifère.

Science & Vie : De quelle manière ces aiguilles d'or se forment-elles ?

Z.L. : Tout vient de la forme du sucre en question, l'alpha-cyclodextrine. C'est en effet un assemblage de six molécules de glucose qui forment un anneau. Les ions potassium et or sont piégés au centre de cet anneau. Une succession d'anneaux vont alors spontanément s'empiler les uns au-dessus des autres, alternant, au milieu, les ions potassium et les ions or... Jusqu'à former ces aiguilles dorées de 1,3 nanomètre de diamètre.

S&V : Mais le sucre ne peut-il pas aussi piéger d'autres métaux ?

Z.L. : En fait, non. Et c'est justement son intérêt. Sa structure géométrique crée un environnement atomique particulièrement favorable à la liaison des ions potassium et des ions or qui s'y imbriquent parfaitement. Des métaux comme le platine, le palladium, le cuivre

ou le zinc, eux, n'arrivent pas bien à s'y fixer. L'alpha-cyclodextrine fait donc naturellement le tri et ne précipite au bout du compte que de l'or. De par sa structure particulière en forme d'anneau, un sucre dérivé de l'amidon est capable de piéger des particules d'or, et de les faire s'agréger en fils très fins. Pourquoi ne pas tirer profit de cette particularité pour extraire simplement et écologiquement l'or des minerais ? On se passerait ainsi des procédés ultra-toxiques largement utilisés par l'industrie minière...

ou le zinc, eux, n'arrivent pas bien à s'y fixer. L'alpha-cyclodextrine fait donc naturellement le tri et ne précipite au bout du compte que de l'or.

S&V : Ce sucre pourra-t-il, à terme, remplacer les produits utilisés aujourd'hui pour extraire l'or des minerais ?

Z.L. : Nous l'espérons. Parce qu'il est facile à produire et qu'il ne coûte donc rien. Sur-tout, c'est un produit totalement écologique en comparaison du cyanure, ce poison particulièrement dangereux pour l'environnement et les mineurs, utilisé dans l'industrie minière. Or, on n'avait encore jamais pu trouver d'alternative à ce produit encore utilisé à 80 % par les industriels. Nous avons déjà élaboré tout le processus chimique d'extraction. Il ne reste qu'à le développer : une cinquantaine de compagnies dans le monde se disent déjà intéressées par des partenariats.

Propos recueillis par O.D.

ATTENDEZ-VOUS À L'INATTENDU.

Leo Burnett

NOUVELLE JEEP® GRAND CHEROKEE. L'INNOVATION EST SANS LIMITE

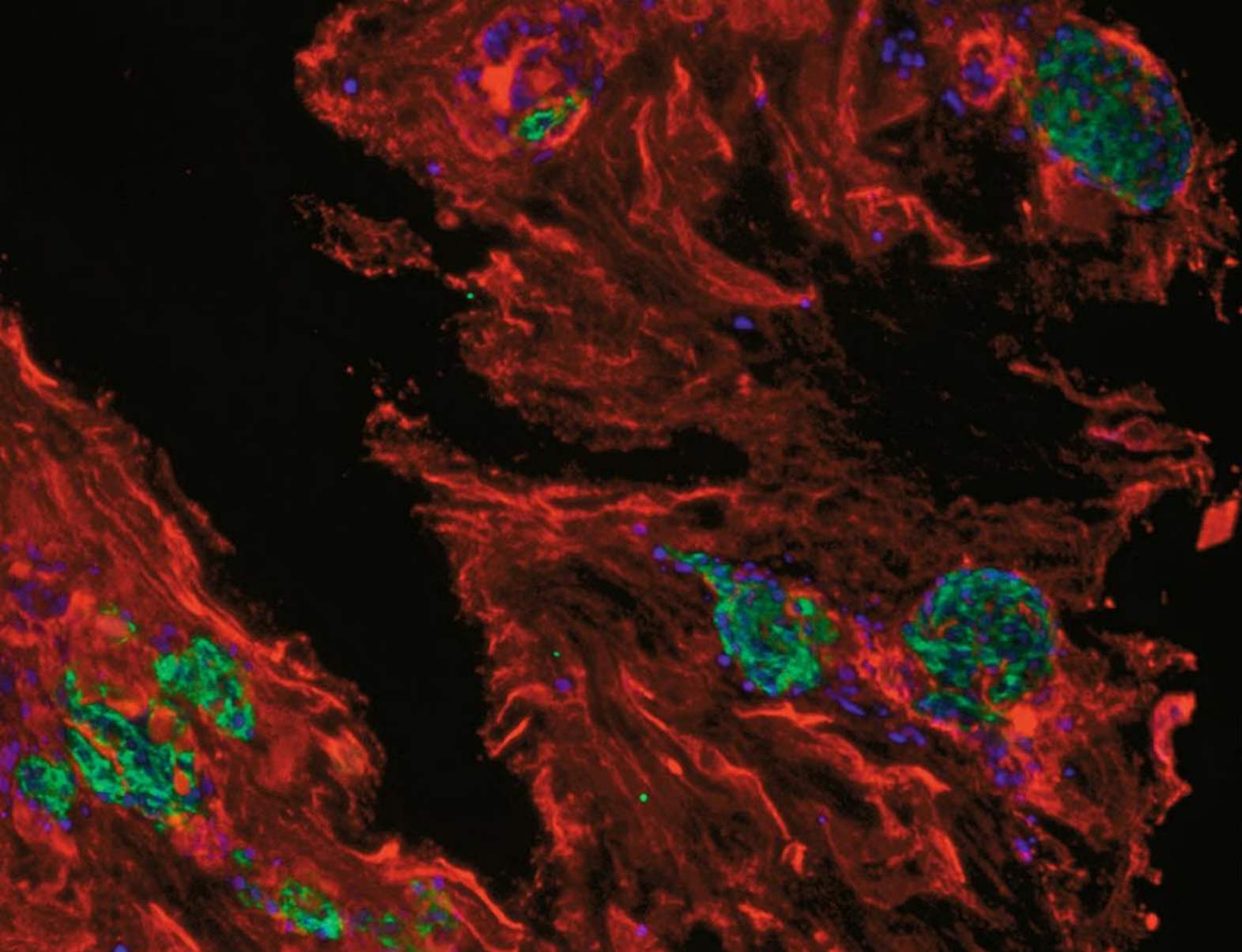
Découvrez le Nouveau Grand Cherokee équipé de série⁽¹⁾ d'un radar qui observe en permanence les mouvements présents devant le véhicule. Ainsi, en cas de risque de collision, un système s'enclenche pour alerter le conducteur et optimiser le freinage du véhicule. Toutes les technologies de la nouvelle Jeep® Grand Cherokee avec sa nouvelle boîte automatique à 8 rapports vous apportent sécurité et confort quelles que soient les conditions.

Consommation mixte (l/100 km) moteur 3,0 l V6 CRD : 7,5. Émissions de CO₂ (g/km) : 198. [1] De série sur Overland et Summit. I am Jeep® : « Je suis Jeep® ». Jeep® est une marque déposée de Chrysler Group LLC.

actus médecine

UNIV. OF PITTSBURGH

▲ Recouvert de cellules humaines, ce cœur de souris réduit à l'état de simple charpente de collagène s'est remis à battre ! Un espoir pour de futurs patches cardiaques.



CARDIOLOGIE

UN PANSEMENT CELLULAIRE RÉPARERA LE CŒUR

Et si, un jour, un cœur malade était réparé par de simples rustines de muscle cardiaque cultivées *in vitro*, capables d'assurer localement les contractions normales de l'organe défectueux ? C'est l'un des objectifs poursuivis par des chercheurs de l'université américaine de Pittsburgh. Dans leur laboratoire, ils ont réussi à faire pousser

des cellules cardiaques humaines sur la charpente d'un cœur de souris. La méthode consiste d'abord à passer l'organe du rongeur au détergent, pour le débarrasser de ses cellules. N'en subsiste qu'un "moule" translucide, composé de protéines de structure comme le collagène. Cette armature est ensuiteensemencée avec des cellules humaines préparées

à partir de cellules souches, capables de donner naissance aux principaux types de cellules cardiaques. En quelques semaines, elles recouvrent la charpente, reconstruisant le cœur dans ses moindres détails. Et ce n'est pas tout, ce cœur chimérique peut même se contracter... Sous perfusion de liquide nutritif, il bat *in vitro*, au rythme de 40 à

50 pulsations par minute ! Ces battements, désynchronisés, sont encore trop faibles pour pomper le sang dans les vaisseaux. Mais il s'agit d'un premier pas avant de tester cette technique pour fabriquer des pansements ou patches cardiaques, à partir de matrices de collagène humaines repeuplées par les propres cellules des malades. **L.C.**

NEUROLOGIE

L'ŒIL PARESSEUX POURRA ÊTRE TRAITÉ PLUS TARD

Une piste inédite pour soigner l'amblyopie vient d'émerger des travaux menés par Sandra Kuhlman à l'université de Californie. Souvent appelé "syndrome de l'œil paresseux", ce trouble correspond à une diminution de l'acuité d'un œil. Le traitement principal actuel consiste à cacher l'œil qui fonctionne le mieux pendant plusieurs semaines, voire mois, afin d'obliger l'autre à travailler plus. Mais encore faut-il dépister le trouble suffisamment tôt. Car passé l'âge de 6 ans, le système nerveux qui conduit les informations visuelles au cerveau perd de sa plasticité. Incapable de se réorganiser, il ne peut plus rattraper ses erreurs de

développement. Or, c'est en essayant de percer le secret de cette "période critique" chez la souris que la chercheuse américaine a découvert le rôle de neurones bien particuliers, dits interneurons parvalbumine-positifs. Pour que le développement visuel reprenne, il faut les mettre en sommeil. Des rongeurs âgés ont ainsi été traités par injection d'une molécule qui freine ces neurones. *"Une diminution de leur activité pendant vingt-quatre heures suffit à restaurer une plasticité similaire à celle de souris jeunes"*, écrivent les auteurs. Un traitement quasi instantané et sans limite d'âge, voilà qui mérite d'être validé chez l'homme. **K.B.**



1,2 carie

C'est la moyenne chez les enfants de 12 ans, selon le dernier rapport de la Direction de la recherche, des études, de l'évaluation et des statistiques. Une nette amélioration par rapport aux générations précédentes. En 1987, on trouvait environ 4,2 dents cariées chez les enfants du même âge. Ceux exempts de ces soucis dentaires étaient alors 12 %, contre 56 % aujourd'hui. **M.S.**

DERMATOLOGIE

Voilà pourquoi le soleil démange

La sensation de démangeaison après un coup de soleil tient à une particularité de l'épiderme, selon Wolfgang Liedtke (université Duke). A cause des UVB, la membrane des cellules de la couche superficielle de la peau laisse passer plus facilement les ions calcium, liés à la fabrication d'une molécule causant douleur et démangeaisons. **E.D.**





< Actuellement, le diagnostic de ce déficit visuel d'un œil doit absolument être posé avant l'âge de 6 ans.



< Si l'on a envie de se gratter après un coup de soleil, c'est à cause d'une molécule, l'endothéline.

NEURO-IMMUNOLOGIE

UNE BACTÉRIE FAIT SOUFFRIR POUR MIEUX INFECTER

On croyait que lors d'une infection, la douleur était déclenchée par l'activation de nos défenses immunitaires, notamment l'inflammation. Mais Isaac Chiu, chercheur en neuro-immunologie à la faculté de médecine de Harvard (Etats-Unis), révèle que les bactéries peuvent induire directement la sensation de douleur à l'aide de leurs toxines... et que cette action faciliterait le développement de l'infection. Grâce à une expérience menée sur des souris infectées par le staphylocoque doré, le chercheur a découvert que certaines toxines de la bactérie stimulent les neurones à l'origine de la douleur. Plus étonnant encore, une fois activés, ces neurones diminuent la réponse immunitaire. Autrement dit, en faisant mal, la bactérie endort le système de défense chargé de combattre les pathogènes. Et le staphylocoque doré ne serait pas la seule bactérie à utiliser cette parade. *"Nos découvertes pourraient être valables pour d'autres types d'infections douloureuses, comme les infections urinaires ou les abcès dentaires"*, suggère Isaac Chiu. Or, la plupart des antidouleurs prescrits lors d'une infection visent le système immunitaire. *"En ciblant certains des mécanismes que nous avons découverts, nous pourrions non seulement mieux traiter la douleur, mais aussi restaurer l'efficacité du système immunitaire affaibli par le message douloureux"*, propose le chercheur.

V.E.



> Les toxines du staphylocoque doré (en vert) stimulent les nerfs de la souris infectée (en rouge), suscitant la douleur.

LEMOINE/BSIP - M. SACCO/GETTY - HARVARD MEDICAL SCHOOL



◀ En perturbant le cycle hormonal de la femme (ici, radio de son système reproductif), le virus exacerbe l'inflammation, donc les symptômes.

IMMUNOLOGIE

LA GRIPPE EST AUSSI AFFAIRE D'HORMONES

Les femmes développent des symptômes grippaux plus sévères que les hommes... alors qu'elles sont souvent porteuses d'une moindre quantité de virus! Selon Sabra Klein, de l'université Johns-Hopkins (Etats-Unis), ce paradoxe s'expliquerait par une perturbation du cycle hormonal par le virus de la grippe. Au cours de la première partie du cycle, dite phase folliculaire (entre les règles et l'ovulation), la réponse immunitaire est en effet plus importante en raison des faibles taux d'œstrogènes et de progestérone, des hormones connues pour atténuer la réaction inflammatoire en se fixant sur certaines cellules immunitaires. L'éli-

mination des virus est donc plus efficace, mais l'inflammation est aussi exacerbée... ce qui aggrave les symptômes grippaux. Or, chez les souris femelles, l'infection par le virus de la grippe allonge cette phase. Pour y remédier, la chercheuse leur a administré des doses d'hormones. Résultats: symptômes et mortalité ont diminué. La pilule contraceptive et les traitements hormonaux pourraient ainsi atténuer les symptômes grippaux, mais cela reste à vérifier. Ces résultats soulignent l'importance du sexe biologique dans la recherche biomédicale, où beaucoup d'études sont effectuées uniquement sur des rongeurs mâles. **V.E.**

L'HYGIÈNE FAVORISE LA CROISSANCE

Les enfants de moins de 5 ans qui ont accès à de l'eau propre et du savon sont plus grands d'un demi-centimètre en moyenne. Selon l'Ecole de Londres d'hygiène et de médecine tropicale, en limitant infections et diarrhées, la propreté préserverait les nutriments essentiels à la croissance. **M.S.**

POLLUTION ET APPENDICITE

L'exposition à une forte concentration d'ozone dans l'air pendant une semaine augmente de 22 % le risque d'appendicite perforée, une des formes les plus graves. Selon une étude menée sur plus de 35 000 personnes au Canada, la pollution de l'air jouerait un rôle dans le développement de réactions inflammatoires. **M.S.**

NAÎTRE PRÉMATURÉ DÉPEND DU STATUT SOCIAL

Les femmes cadres ont près de deux fois moins de risques de donner naissance à un bébé prématuré (3,7 %) que les ouvrières (6,1 %) ou personnels de service (7,9 %). Les causes sont multiples: santé de la mère, surveillance pendant la grossesse, exposition plus ou moins importante à des facteurs de risque. **M.S.**

TOXICOLOGIE

SIX PESTICIDES ACCÉLÈRENT LE VIEILLISSEMENT

L'exposition à certains pesticides agirait comme un accélérateur de l'horloge biologique, en faisant vieillir plus rapidement les cellules. L'analyse, par une équipe de chercheurs internationale, de cellules prélevées dans la bouche de 1234 agriculteurs montre en effet qu'une forte exposition à 6 des 48 pesticides testés (incluant des herbicides et des insecticides) correspond à une diminution de la taille des télomères. Situées à l'extrémité des chromosomes, ces régions d'ADN rétrécissent à chaque nouvelle division cellulaire, jusqu'à ce que les cellules ne puissent plus se renouveler et meurent. Le lien entre ce phénomène et l'apparition plus fréquente de certains cancers reste à étudier. **M.S.**

> Une forte exposition à certains pesticides entraîne un raccourcissement plus rapide des chromosomes.



Le Salon de la Photo vu par Thibault Stipal



Se rencontrer, s'informer, s'équiper

**DU 7 AU 11
NOVEMBRE 2013**

PARIS | PARIS EXPO
PORTE DE
VERSAILLES

Bon Angle

www.lesalondelaphoto.com

SCIENCE & VIE

vous offre une **ENTRÉE GRATUITE** (d'une valeur de 11€)

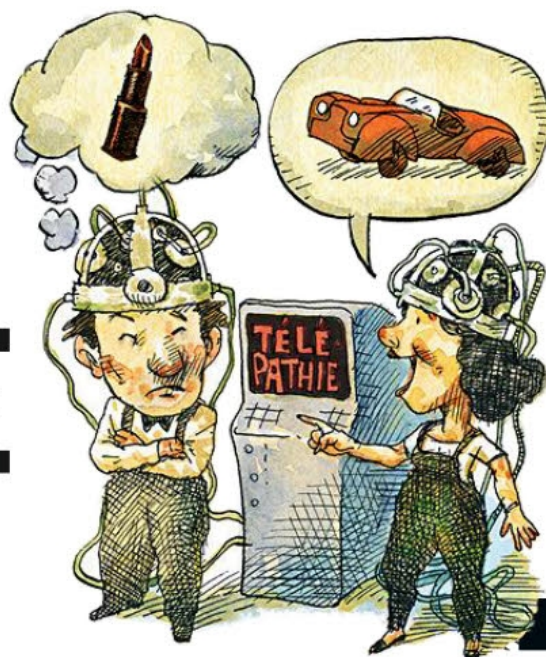
Obtenez votre invitation en vous enregistrant
sur www.InvitationPhoto.com et entrez le code : **SCIE13**

Paris Expo Porte de Versailles - Pavillon 4
Du 7 au 11 novembre 2013 - Horaires d'ouverture : 10h - 19h
Ouverture à 9h le samedi et fermeture à 18h le lundi.



IL EST ENCORE TROP TÔT POUR SE PARLER PAR TÉLÉPATHIE

Par François Lassagne



L'annonce a de quoi fasciner. En août, des chercheurs de l'université de Washington ont affirmé avoir établi "*une communication directe de cerveau à cerveau entre humains*". Comme, quatre mois plus tôt, une autre équipe avait rapporté le même exploit avec des rats, l'affaire a fait grand bruit: voici venue l'ère de la télépathie high-tech!

Sauf qu'il n'en est rien. Rats ou humains, pas un être n'a échangé la moindre pensée. A la publication des résultats obtenus sur les rats, nous avons enquêté. Excités à l'idée d'être convaincus: quelle découverte fantastique si elle était confirmée! D'autant que l'instigateur de l'expérience (Miguel Nicolelis) et son laboratoire (université Duke, Etats-Unis) jouissaient d'une bonne réputation et que le dispositif et les statistiques semblaient soigneux. Las: de l'aveu même du chercheur, en aucun cas une quelconque pensée n'était passée du cerveau d'un rongeur à celui d'un autre.

Et il en va de même avec le nouvel "exploit" revendiqué chez l'homme. Certes, l'activité cérébrale de la personne "émetteur", enregistrée par un casque muni d'électrodes, déclenche une modification de l'activité cérébrale de la personne "récepteur" via un stimulateur magnétique. Mais aucune information autre que "marche" ou "arrêt" ne circule entre les deux casques. Point de télépathie. L'émetteur n'envoie pas une pensée, mais un signal binaire: 0 ou 1. Le récepteur effectue une tâche unique, pré-programmée. L'illusion est cependant parfaite: l'"émetteur" pense à un mouvement; le "récepteur" exécute le même mouvement. De quoi attirer tous les regards – et même en rajouter: un livre intitulé *Objectif télépathie* paraît ce mois chez Flammarion, signé... Miguel Nicolelis.

Au vrai, les neurosciences pourvoient aujourd'hui l'imagination en résultats fascinants. Certains sont solides, d'autres rapidement invalidés. Comme dans toute science jeune

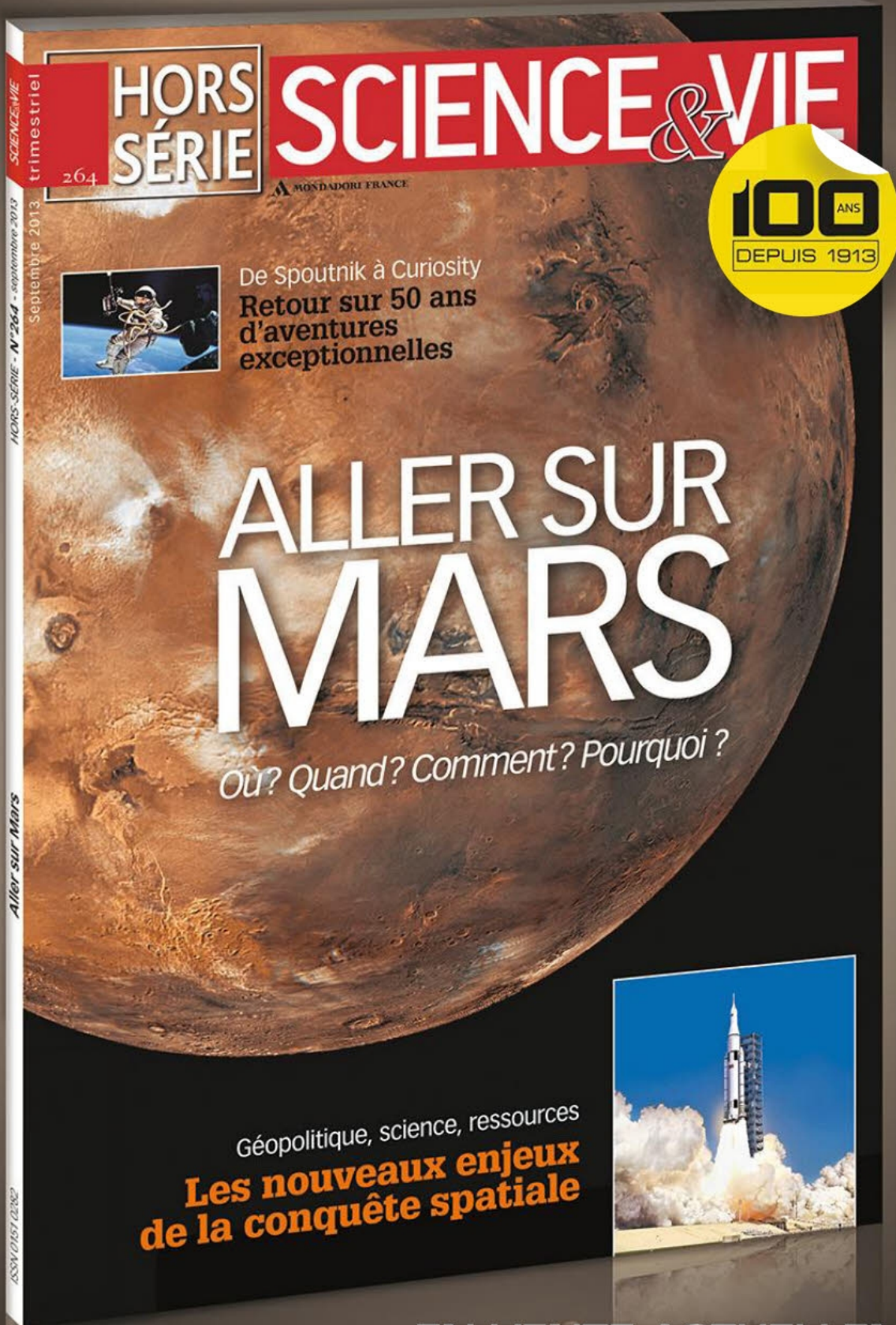
et en plein essor, on y fait les promesses les plus osées. A garder la tête froide, que faudrait-il pour que la technologie nous offre réellement la télépathie? Que soit établi un authentique échange d'information entre les cerveaux: "*J'ai faim*", par exemple. Puisqu'à chaque pensée correspond un état physico-chimique cérébral, il faudrait produire, dans le cerveau du récepteur, un état cérébral induisant la même pensée que celle de l'émetteur.

Techniquement, cela reste une gageure. Côté récepteur, aujourd'hui, la stimulation modifie l'activité des neurones "à la louche", sur plusieurs dizaines de millimètres au bas mot. Côté émetteur, les enregistrements de l'activité cérébrale sont myopes en dessous de quelques millimètres. De quoi loger bien des pensées différentes...

Et quand bien même ces techniques atteindraient l'échelle inespérée du neurone, rien ne dit qu'activer un groupe précis de neurones, chez le récepteur, provoque la pensée associée, chez l'émetteur, au même groupe. Car s'agissant des grandes catégories de fonctions cérébrales (perceptions sensorielles, émotions, commandes motrices), nos cerveaux sont à peu près les mêmes. Mais s'agissant des grandes catégories de concepts (animaux, véhicules, personnes, verbes de mouvement), même si nous avons tous une "carte mentale des idées" à peu près similaire, dans le détail, chacune de nos pensées a toute chance d'être encodée de manière unique. De là à converser de cerveau à cerveau... il y a donc, à tout le moins, d'immenses progrès à faire avant de crier victoire.

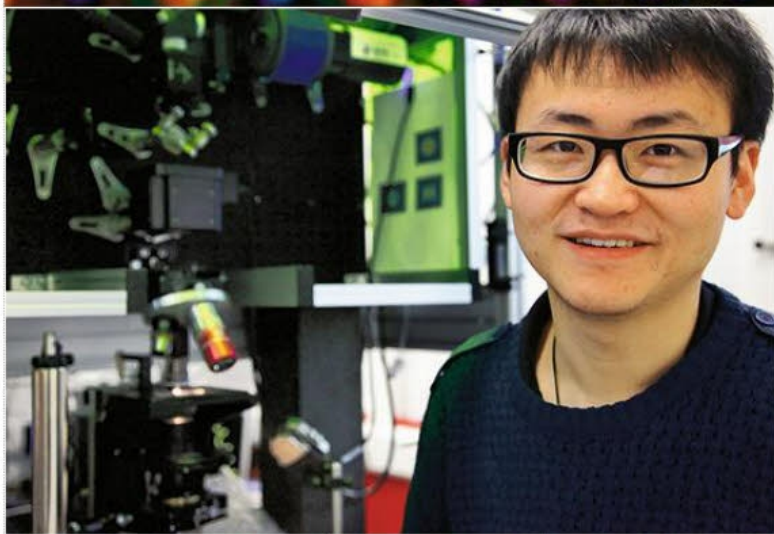
**RELAYER UN
SIGNAL BINAIRE
NE SIGNIFIE PAS
TRANSMETTRE
UNE PENSÉE!**

[EXPLORER L'UNIVERS]



EN VENTE ACTUELLEMENT

actus technos



^> Sur chaque point lumineux de ce cristal, façonné par Jingyu Zhang, sont codés 5 bits de données, qui pourront être lues au microscope sans jamais se dégrader, tant la structure est stable.



MATÉRIAU

UN CRISTAL REND POSSIBLE LA MÉMOIRE ÉTERNELLE

Jingyu Zhang est entré dans la postérité: le résumé de ses recherches pourra être lu dans des millions d'années, pour peu que l'humanité dispose toujours d'un microscope! Ce physicien et son équipe de l'université britannique de Southampton sont en effet parvenus à modifier la structure d'un cristal de silice pour y inscrire 300 kilobits

de données, soit un texte de deux pages décrivant leur méthode. *"L'idée de stocker des données dans ce type de cristal n'est pas nouvelle: on sait depuis les années 1990 que toute modification de sa structure est particulièrement stable. Elle paraît même illimitée dans le temps,* précise Jingyu Zhang. *Seulement, jusqu'à présent, tous ceux*

qui avaient essayé avaient rencontré des problèmes techniques, et aucune donnée réelle n'avait pu être inscrite." C'est un laser ultrarapide, dont les impulsions lumineuses ne durent que 280 femtosecondes (soit 280 milliardièmes de microseconde), qui a permis au chercheur de franchir le pas. En dirigeant sa lumière sur différents points du cristal

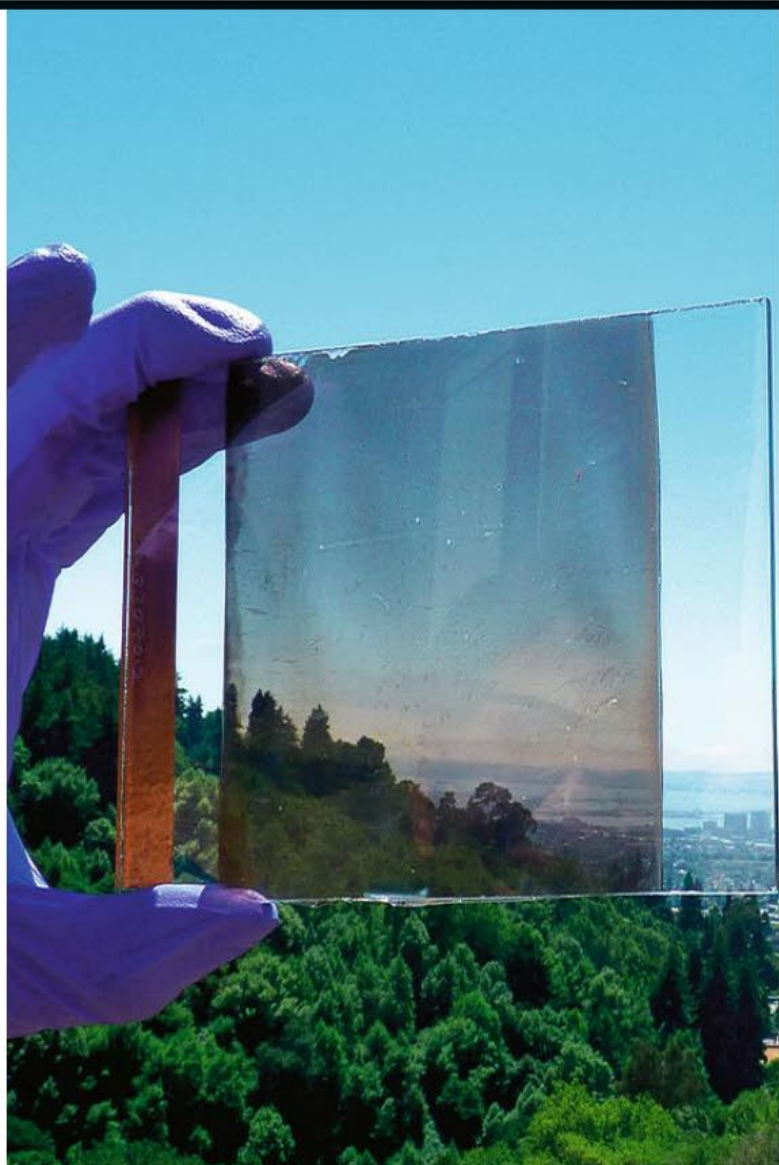
avec un système de lentilles, il a façonné des centaines de structures de l'ordre du nanomètre: chacune modifie la manière dont la lumière traverse le cristal et, ainsi, code des données. *"Il ne nous reste qu'à améliorer la vitesse d'écriture et de lecture,* conclut le physicien. *Et à trouver un partenaire pour commercialiser la technique."* **M.F.**

ARCHITECTURE

UN VERRE FILTRE À VOLONTÉ LES RAYONS DU SOLEIL

Activez le mode "fraîcheur": la fenêtre bloque la chaleur. Mettez-la en mode "obscurité": la voici qui empêche le passage de la lumière. Révolutionnaire! Alors que les vitres intelligentes se contentaient jusqu'ici de jouer sur leur opacité, cette fenêtre mise au point à l'université de Berkeley (Etats-Unis) est la première à filtrer lumière et chaleur de façon sélective. Elle est issue d'une combinaison du verre et de deux métaux, l'oxyde de niobium, notamment utilisé dans les condensateurs, et l'oxyde d'indium-étain, un alliage répandu dans les écrans plats. L'intérêt de ces deux composés? Lorsqu'on les soumet à des réactions d'oxydoréduction – ces transformations chimiques qui se traduisent par la perte

(oxydation) ou par le gain (réduction) d'électrons –, leurs propriétés peuvent être modifiées, de façon réversible. Ainsi, l'indium-étain laisse passer les rayons infrarouges du soleil lorsqu'il est oxydé, mais il les piège à l'état "réduit", bloquant ainsi la chaleur. Même principe pour le niobium: quand il capte des électrons, il noircit, ce qui opacifie la vitre. La circulation des électrons se fait via un courant électrique acheminé à travers la vitre (deux plaques de verre composite séparées par un électrolyte, une substance conductrice). D'ici quelques années, cette fenêtre pourrait servir à réguler le chauffage et la lumière dans les habitations, les automobiles ou les avions, prédit Delia Milliron, qui a participé à ces travaux. **S.B.**



CONSTRUCTION NAVALE

En glissant de biais, ce brise-glace ouvre une voie plus large

Si ce navire est capable d'ouvrir un chenal deux fois plus large qu'un brise-glace traditionnel, c'est que sa coque, conçue par les Finlandais d'Arctech Helsinki Shipyard, est asymétrique. Une forme qui lui permet de briser la glace en oblique lorsqu'il glisse de biais. Pour le manœuvrer, trois propulseurs pivotent, délivrant une poussée dans n'importe quelle direction. Le *Baltika* peut fendre une épaisseur de 60 cm et ouvrir un chenal large de 50 m, assez pour laisser passer de larges tankers. Il doit être livré au ministère russe des Transports début 2014. **S.F.**



▲ Avec sa coque asymétrique, le *Baltika* fend la glace en oblique sur une largeur de 50 m.



▲ La vitre, alliage de verre et de deux métaux, peut bloquer la lumière (à g., à l'état opacifié) ou uniquement la chaleur.

1 picoseconde

C'est le temps qu'il faut à la magnétite pour passer de l'état conducteur à l'état isolant. En soumettant cet oxyde de fer à des impulsions de rayons X, une équipe de l'université Stanford a vu ses électrons se réarranger en à peine 10^{-12} seconde, jusqu'à interdire tout passage d'électricité. Un record qui fait passer les composants actuels, mille fois plus lents, pour des antiquités... et offre une nouvelle famille de matériaux à l'électronique du futur.

M.F.

TÉLÉCOMMUNICATIONS

SANS FIL NI PILE, LE DIALOGUE RESTE POSSIBLE

Cette carte électronique, imaginée à l'université de Washington, communique avec son entourage sans fil et sans batterie. Elle se sert simplement du signal environnant de la télévision hertzienne comme support et source d'énergie. Le principe: pour émettre un message sous forme binaire (0 ou 1), son antenne, pilotée par un transistor, réfléchit fortement (pour 1) ou faiblement (0) le signal TV ambiant. Au passage, la carte récupère une infime partie de l'énergie de ce signal pour alimenter ses composants électroniques. Dans le sens contraire, en mode réception, la carte décode les variations de puissance (0 ou 1) du signal capté par son antenne. Les chercheurs ont réussi à échanger des informations courtes à 75 cm de distance, avec un débit de 1 kilobit/s. Ils espèrent que leur technologie pourra remplacer la radio-identification (RFID) ou trouver des applications dans les réseaux de capteurs autonomes, les objets communicants ou le paiement sans contact. **O.L.**

▼ Cette carte électronique capte avec son antenne le signal TV ambiant afin de s'alimenter et de communiquer.



ALLORDES, LAWRENCE BERKELEY NATIONAL LAB - ARCTECH - UNIV. OF WASHINGTON



SCIENCE & VIE

N°1132
JANVIER 2012

C'est une avancée scientifique que nous n'avons pas hésité à retenir parmi les "10 espoirs de science" dans notre édition de janvier 2012. Et pour cause: Mark Post nous annonçait la fabrication imminente d'une saucisse de viande entièrement cultivée *in vitro*, à l'université de Maastricht (Pays-Bas). Une première mondiale aux retombées potentiellement gigantesques. Selon l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture, la demande mondiale en viande, prévue pour croître de 73 % d'ici à 2050, ne pourra en effet être satisfaite par le bétail. Sans compter les problématiques environnementales et éthiques posées par l'élevage intensif.

UN METS À 290 000 EUROS...

"Après avoir envisagé le porc, nous avons opté pour le bœuf, dont l'impact environnemental est plus problématique. Ce qui a repoussé le calendrier d'un an", précise Mark Post. Il aura donc fallu attendre août 2013 pour que, après six ans de recherches et trois mois de culture *in vitro*, l'exploit soit réalisé. Comme annoncé, l'équipe a utilisé des cellules souches issues de muscles de vache. Ces cellules, dites "satellites", naturellement présentes dans les muscles,

VIANDE ARTIFICIELLE

LE PREMIER STEAK A ÉTÉ TESTÉ

Des cellules souches musculaires de bœuf, isolées en laboratoire, stimulées électriquement et enrichies en nutriments: telle est la recette gagnante du premier steak artificiel. Qui représente un enjeu alimentaire et environnemental.



ont la propriété de se multiplier et de se différencier en cellules musculaires (en cas de lésion d'un muscle, par exemple). Les chercheurs ont placé deux cents de ces cellules dans un milieu de culture enrichi en sérum de fœtus de veau (riche en protéines) et en extraits d'algues. Elles se sont alors naturellement transformées en cellules musculaires, puis ont commencé à former des fibres, processus accéléré grâce à des stimulations électriques et l'apport d'autres nutriments.

Mark Post et ses collègues sont ainsi parvenus à produire suffisamment de fibres musculaires pour fabriquer trois steaks de 140 grammes. Afin de

▲ Ce steak de 140 g est composé de fibres artificielles, de sel, de chapelure, d'œuf déshydraté, de jus de betterave et de safran.

compenser l'absence de nerf, de sang et de gras, l'ajout d'une pincée de sel, d'œuf déshydraté, de chapelure, de jus de betterave et de safran a achevé de transformer ces fibres artificielles en steak haché digne de ce nom. Du moins selon l'avis des goûteurs qui ont testé ce steak high-tech.

Son principal point faible: son coût de revient, estimé à près de... 290 000 euros! Que Mark Post espère pouvoir ramener à moins de 100 euros le kilo en optimisant le procédé. Voire moins, en tablant sur d'autres méthodes rendant, selon lui, d'ici une dizaine d'années, la viande de laboratoire compétitive avec la chair sur pattes.

P.-Y.B.

DAVID PARRY/EPFL/MAXPPP



Les neuroscientifiques en ont désormais la preuve : l'esprit possède le pouvoir de soigner le corps ! Des expériences de méditation, de neurofeedback ou à base d'effet placebo ont démontré des effets thérapeutiques sur des maladies aussi graves que la dépression ou Parkinson. Et déjà, des hôpitaux sautent le pas... Une nouvelle médecine est en train de naître. Quelle médecine ? Notre dossier fait le point.

GUÉRIR PAR LA PENSÉE

LA PREUVE EN 15 EXPÉRIENCES

L'esprit possède-t-il une "force", des "pouvoirs" dont les effets bénéfiques, voire guérisseurs, sur le corps ne souffriraient plus aucune discussion ? Longtemps la science a cherché les preuves de l'existence d'un tel lien entre "l'âme et le corps", que d'aucuns prétendaient parfaitement avéré, au point d'en faire bénéficier ceux qui, se détournant de la médecine traditionnelle, venaient les trouver pour aller mieux. Crédulité ? Charlatanisme ? Risque de faire naître de faux espoirs, voire d'empirer les choses en détournant de traitements ayant démontré leur efficacité ? Pourtant, des cas témoignaient d'indéniables

effets thérapeutiques par on ne savait quel pouvoir de l'esprit sur le corps. Ce qui, dès lors, pouvait laisser sceptique.

Voici que les choses changent ! Car depuis une dizaine d'années, des pratiques thérapeutiques qualifiées d'alternatives ou de non conventionnelles, voire de parascientifiques, démontrent leur efficacité en laboratoire. Mieux : elles font désormais une (timide) percée dans l'arsenal médical classique ! Ces pratiques ont un point commun : elles confèrent à la pensée un pouvoir extraordinaire, celui de soigner le corps – cerveau compris – sans aucun autre traitement que l'activité même du →

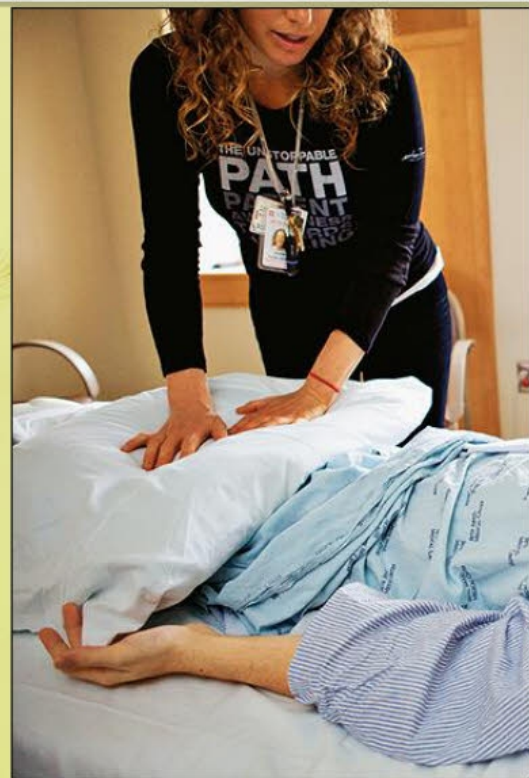
PAR MARIE-CATHERINE MÉRAT,
AVEC FRANÇOIS LASSAGNE

LA MÉDITATION

LE POUVOIR DE MAÎTRISER SON ATTENTION

Même si certaines recherches ont été directement menées avec le dalaï-lama et des méditants tibétains, la méditation peut se pratiquer indépendamment de la religion bouddhique dont elle est issue. Le terme recouvre une grande diversité d'entraînements mentaux, mais c'est surtout la méditation dite "de pleine conscience" qui suscite aujourd'hui l'intérêt des chercheurs et des médecins. Cette pratique, qui exige un entraînement quotidien, consiste à élargir progressivement le champ de son attention jusqu'à être totalement conscient de l'instant présent et de ce qui est ressenti : sensations internes, pensées, perceptions, bruits...

"Il s'agit de prendre conscience de ces événements sans les juger ni s'y attacher, sans ruminer sur les expériences passées et sans anticiper celles à venir", explique le neuroscientifique Pierre Rainville. A l'université de Montréal (Canada), il étudie les effets de la méditation : diminution de l'anxiété et des douleurs, amélioration des capacités de concentration. En France, à Strasbourg, un diplôme universitaire de troisième cycle de médecine, baptisé Méditation et neurosciences, prépare depuis cette année les médecins, psychologues et chercheurs à faire appel à cette pratique, grâce à des cours théoriques et des séances de méditation guidée.



→ cerveau. Un pouvoir tel qu'il a prouvé ses vertus contre des troubles aussi divers que la douleur, la maladie de Parkinson, certaines déficiences immunitaires ou la dépression.

DES THÉRAPIES TRÈS EN VOGUE

Quelles sont ces pratiques dont les scientifiques admettent aujourd'hui qu'elles mobilisent efficacement le cerveau au service de la santé, rapprochant un corps et un esprit que la tradition cartésienne séparait depuis plus de trois siècles (lire l'encadré p. 55)? Il s'agit d'abord de la "méditation de pleine conscience", très en vogue des deux côtés de l'Atlantique. Et pas seulement dans les cercles psychothérapeutiques. Dans les plus prestigieux laboratoires de neurosciences aussi, et jusque dans les hôpitaux. Son principe : élargir le champ de son attention jusqu'à être totalement conscient de l'instant présent (lire l'encadré ci-dessus). Si les vertus pour le corps de cette pratique millé-

naire issue de la philosophie bouddhique sont depuis longtemps connues, ce n'est qu'à partir des années 1970 qu'elle suscite l'intérêt de l'Occident. D'abord réservée aux hippies, confinée dans le domaine du développement personnel, elle entre dans le champ de la psychologie clinique grâce à Jon Kabat-Zinn, professeur de biologie dans le Massachusetts (Etats-Unis), qui la dépouille de ses racines spirituelles et crée le programme MBSR ("réduction du stress basée sur la pleine conscience").

TROIS PRATIQUES ALTERNATIVES ONT DÉMONTRÉ LEUR CAPACITÉ À GUÉRIR LES MAUX DU CORPS PAR L'ESPRIT

Dès la fin des années 1980, à la faveur d'un dialogue entre le bouddhisme et la science, un nouveau champ d'étude voit le jour, celui des neurosciences contemplatives. Il est aujourd'hui en plein essor. En avril 2012, un premier

symposium international a réuni à Denver (Etats-Unis) plus de 700 participants : psychologues, neurobiologistes, méditants... venus partager leurs résultats sur les mécanismes cognitifs et neuronaux des pratiques contemplatives, leurs effets sur le cerveau observés par imagerie cérébrale et les conséquences pour la santé. Plus de 200 hôpitaux américains ont intégré le programme MBSR. Et ses applications ont été étendues à la dépression, à l'addiction, aux déficits de l'attention...

En France, les médecins sont plus réservés. *"Quand j'ai fait entrer la méditation à l'hôpital Sainte-Anne à Paris, en 2004, il y a eu au début un peu de perplexité et quelques réticences",* se souvient Christophe André, psychiatre



et auteur de *Méditer, jour après jour*. Mais la méthode commence à être acceptée, et plusieurs établissements y ont aujourd'hui recours. Un diplôme universitaire de médecine spécialisé en méditation et neurosciences a même vu le jour en début d'année à Strasbourg.

Autre voie de guérison par la pensée qui excite actuellement la curiosité des chercheurs et des médecins : l'effet placebo. Cet effet bien connu est généré par la suggestion et l'attente d'un bénéfice thérapeutique lié à un traitement, indépendamment de son action chimique directe (lire l'encadré ci-contre). Sa découverte remonte à la Seconde Guerre mondiale, quand, sur le front d'Italie, l'anesthésiste Henry Beecher injecte aux blessés une solution saline à la place de la morphine dont le stock est épuisé : il s'aperçoit que cette solution dénuée de principe actif réduit pourtant la douleur chez de nombreux patients. En 1955, devenu professeur à Harvard, il publie →

L'EFFET PLACEBO

LE POUVOIR DE SE CONVAINCRE DE L'EFFET D'UN TRAITEMENT

C'est un effet que l'on expérimente, par principe, sans le savoir. L'effet placebo est ce phénomène qui veut qu'un composé inerte, dénué de substance active, parvienne à engendrer non seulement un mieux-être, mais aussi des bénéfices thérapeutiques réels chez un patient. Ou qu'un médicament produise plus d'effets que prévu. Voire qu'un acte chirurgical factice améliore l'état de santé du patient ! Lié le plus souvent à un médicament, l'effet placebo peut se produire après n'importe quelle prise en charge thérapeutique. En pratique, il correspond à la part de guérison que les médecins peuvent attribuer à la seule perception – consciente ou

non – par le patient des nombreux facteurs liés à l'intervention thérapeutique (relation avec le médecin, caractère positif ou négatif du diagnostic, qualité perçue du traitement proposé...), plutôt qu'à l'effet spécifique du traitement ou à la guérison naturelle. Difficile de prévoir la survenue d'un effet placebo. Ce que l'on sait, c'est qu'il peut être renforcé aussi bien par les conditions matérielles de la prise en charge médicale (les seringues le rendent plus efficace que les pilules) que par la nature de la relation avec le soignant – des études ont montré que les médecins plus chaleureux avec leurs patients enregistrent un plus grand effet placebo.

LE NEUROFEEDBACK

LE POUVOIR D'AGIR DIRECTEMENT SUR SON CERVEAU

Prendre le contrôle d'activités de son cerveau dont on n'a habituellement aucune conscience, c'est ce que permet le neurofeedback. Cette technique existe sous deux formes, selon la technologie employée : le neurofeedback par électroencéphalographie, le plus répandu, et le neurofeedback par IRM fonctionnelle en temps réel, bien plus récent et peu fréquent. Dans le premier cas, des électrodes sont disposées sur le crâne du sujet. Elles enregistrent l'activité électrique produite par la partie la plus superficielle du cerveau. Dans le second cas, ce sont les variations d'oxygénation du sang qui sont mesurées, en temps réel, donnant accès à des régions cérébrales plus profondes. Le neurofeedback entraîne le patient à



◀ L'IRMf mesure en temps réel les modifications de l'activité de zones profondes du cerveau.

contrôler des régions spécifiques de son cerveau, éventuellement à corriger une activité jugée anormale, en l'augmentant ou en la diminuant. Pour cela, l'activité

enregistrée est traduite par une image sur un écran ou un son diffusé par haut-parleurs. Grâce à ce retour (le feedback), le patient visualise ou entend ce qui lui est

→ une étude qui fera date, révélant que 35 % des patients répondent positivement à un tel traitement, dit placebo ("je plairai", en latin). Dès lors, il est introduit dans toutes les études cliniques visant à démontrer les effets

mieux sans que les maux dont il souffre s'atténuent réellement. Il faut attendre le milieu des années 1990 pour que le pouvoir du placebo soit étudié pour lui-même, en particulier grâce aux travaux de Fabrizio Benedetti, à l'université de

qui modifient bel et bien les équilibres biochimiques dans le cerveau. Les médecins eux-mêmes l'exploitent dans leur pratique clinique, comme l'a récemment montré une étude américaine – quitte à transgresser le serment d'Hippocrate, qui leur interdit de dissimuler la vérité aux patients !

Troisième et dernière pratique, tombée en disgrâce dans les années 1970 et 1980, mais qui fait depuis une dizaine d'années un retour remarqué aux Etats-Unis : le neurofeedback. Ce nom barbare désigne une technique assez simple, qui s'apparente à de la musculation mentale (lire l'encadré ci-dessus). Elle est issue des travaux menés en 1958 par Joe Kamiya à l'université de Chicago. Grâce à un électroencéphalographe (EEG) mesurant en

D'ABORD DÉNIGRÉES, CES THÉRAPIES ONT FINI PAR VAINCRE JUSQU'AUX RÉTICENCES DU CORPS MÉDICAL

"réels" d'un traitement : pour être efficace, un médicament doit montrer des effets supérieurs à ceux d'un placebo.

Pour autant, l'effet placebo est longtemps resté réduit à un phénomène "psychologique". Autant dire inexistant, si ce n'est dans la tête du patient, supposé avoir l'impression d'aller

Turin (Italie). Depuis, l'imagerie cérébrale a montré que l'effet placebo n'est pas une simple vue de l'esprit, et les publications scientifiques de premier ordre se multiplient. Elles dévoilent un effet encore plus puissant que ce qu'on avait imaginé, et commencent à mettre au jour ses mécanismes biologiques,



CORPS ET ESPRIT : LE LIEN SE RESSERRE

Que le corps et l'esprit soient étroitement associés n'est pas une idée neuve. Dès l'Antiquité, le médecin Galien soutenait que des fluides faisaient circuler l'information entre le corps et le cerveau. Et si Descartes est souvent convoqué comme celui qui aurait définitivement séparé la pensée du corps, c'est par erreur. Outre le fait que l'âme était pour lui logée dans une glande cérébrale (l'épiphyse), le philosophe affirmait que *"certaines choses que nous expérimentons en nous-mêmes ne doivent pas être attribuées à l'âme seule, ni au corps seul, mais à l'étroite union qui est entre eux"* (Principes de la philosophie). La science a, depuis, donné raison à ces illustres précurseurs en établissant des liens entre système nerveux, défenses immunitaires et régulation hormonale. Elle a montré que l'existence même du corps est une réalité... cérébrale. Pour preuves, ces patients atteints d'une lésion au cerveau, persuadés qu'un de leurs membres ne leur appartient pas, ou ces amputés souffrant de douleurs à l'emplacement du membre disparu. Restait à mettre l'esprit au service de la santé... Un pas franchi indirectement, depuis une trentaine d'années, avec les thérapies cognitives comportementales. Aujourd'hui, avec la méditation, le neurofeedback et le placebo, le corps et l'esprit n'ont jamais été si proches : la médecine vise cette fois directement l'activité du cerveau, pour la modifier au bénéfice du corps.

d'ordinaire inaccessible : l'activité intime de son cerveau. Il peut dès lors se concentrer sur un stimulus extérieur (son, odeur, image, toucher...), évoquer des pensées, des souvenirs, des émotions, imaginer faire certains mouvements... et constater l'effet de ces états mentaux sur le feedback. Il trouve ainsi l'état mental qui modifiera l'activité de la région ciblée (déterminée par l'équipe soignante lors d'examen

préalables) dans le sens souhaité. Depuis quelques années, cette autorégulation de l'activité cérébrale exploite aussi des logiciels plongeant les sujets dans un environnement de réalité virtuelle. *"Leur avantage est qu'ils fournissent un feedback visuel hautement réaliste et immersif"*, explique Alexandre Bouchet, responsable R&D chez Clarte, qui développe une telle plate-forme dans le cadre du projet français OpenVibe 2.

temps réel l'activité du cerveau, le psychologue remarque qu'on peut apprendre à émettre certaines ondes cérébrales sur commande. Dix ans plus tard, le neuroscientifique Barry Stermann, à l'université de Californie, montre que des chats entraînés à contrôler leur activité cérébrale résistent mieux aux crises d'épilepsie. Des résultats bientôt reproduits chez l'homme. L'engouement est immédiat. Accessible, prometteuse, la technique séduit les adeptes du New Age et les entrepreneurs peu scrupuleux. De nombreuses études, souvent de mauvaise qualité, sont lancées. Des sociétés lucratives se créent, qui prétendent traiter tous types de pathologies (autisme, dépression, migraine...) à l'aide de méthodes non éprouvées. Le neuro-

feedback intègre ainsi le champ des pseudosciences et de la parapsychologie et se forge, auprès des scientifiques, une très mauvaise réputation... dont il est sur le point de se défaire.

UNE TECHNIQUE DÉJÀ ÉPROUVÉE

En novembre 2012, une association de pédiatres américains a reconnu le neurofeedback comme étant un traitement aussi efficace que les psychostimulants pour traiter les troubles de déficit de l'attention avec hyperactivité. L'armée américaine utilise cette technique pour soigner les soldats atteints de stress post-traumatique. En France aussi, la méthode revient sur le devant de la scène, notamment dans le cadre d'OpenVibe 2, un projet national sur les interfaces cerveau-ordinateur. →

→ Et depuis quelques années, la technique devient prometteuse pour traiter la dépression ou les douleurs chroniques, grâce à l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf), qui permet de visualiser des structures du cerveau plus profondes que l'EEG.

Méditation, effet placebo, neurofeedback... Ces trois thérapies ont bel et bien fait leur entrée officielle dans le cercle des sciences médicales. Et si, à la différence d'autres pratiques alternatives (programmation neuro-linguistique, magnétisme...), elles se sont extraites des marges, ce n'est pas à cause d'un affaiblissement des exigences scientifiques. Au contraire ! C'est d'abord parce que les preuves de leur efficacité sont désormais assez nombreuses et solides. Pour une série de troubles importants, les faits, parfois spectaculaires, s'accumulent (lire pages suivantes). Oui, il est possible de se soigner par la seule pensée ! Ce qui présente l'indéniable avantage de se passer de tout autre traitement.

UN CERVEAU AUX DONNS FASCINANTS

Au-delà de la mesure de l'efficacité de ces thérapies, ces expériences laissent entrevoir le fascinant lien entre le corps et l'esprit qui dote le cerveau de son don thérapeutique. Car les techniques d'imagerie cérébrale et d'analyses biochimiques permettent de voir la force de l'esprit se matérialiser : la méditation bouleverse certains rythmes cérébraux entre les aires frontales et pariétales ; le placebo fait produire au cerveau ses propres antalgiques ; le neurofeedback change la manière dont le cortex préfrontal agit sur les autres régions cérébrales (voir l'infographie ci-contre).

L'arrivée en science de ces pratiques autrefois "alternatives" pose beaucoup de questions. Quels troubles peuvent être ainsi soignés ? Existe-t-il des effets secondaires ? Certaines personnes y sont-elles plus sensibles ? Ces thérapies doivent-elles être remboursées par la Sécurité sociale ? Une chose est sûre : à condition de l'inciter à jouer ce rôle, le cerveau est un excellent médecin.

Les secrets du pouvoir de l'esprit sur le corps

L'imagerie cérébrale a ouvert un boulevard aux chercheurs désireux d'expliquer l'action de l'esprit sur le corps. Déjà, des schémas de fonctionnement se dessinent. S'ils restent assez flous, les appareils étant encore très myopes, ils offrent tout de même un premier cadre à nos connaissances, en distinguant l'action d'un placebo de celle de la méditation de pleine conscience ou du neurofeedback.

La méditation reconfigure le cortex cérébral

La méditation est un processus conscient qui provoque des changements morphologiques et fonctionnels dans le cerveau. Ainsi, les cortex frontal, pariétal et cingulaire, impliqués dans le contrôle attentionnel, s'épaississent. L'activité de l'amygdale, qui joue un rôle dans la gestion des émotions, diminue ; celle des régions avant-gauche du cerveau, impliquées dans les émotions positives, augmente. Des zones normalement en interaction – comme le cortex préfrontal et les régions activées par l'influx sensoriel provoqué par un stimulus douloureux – sont déconnectées. Pour autant, les mécanismes ne sont pas encore clairement élucidés.

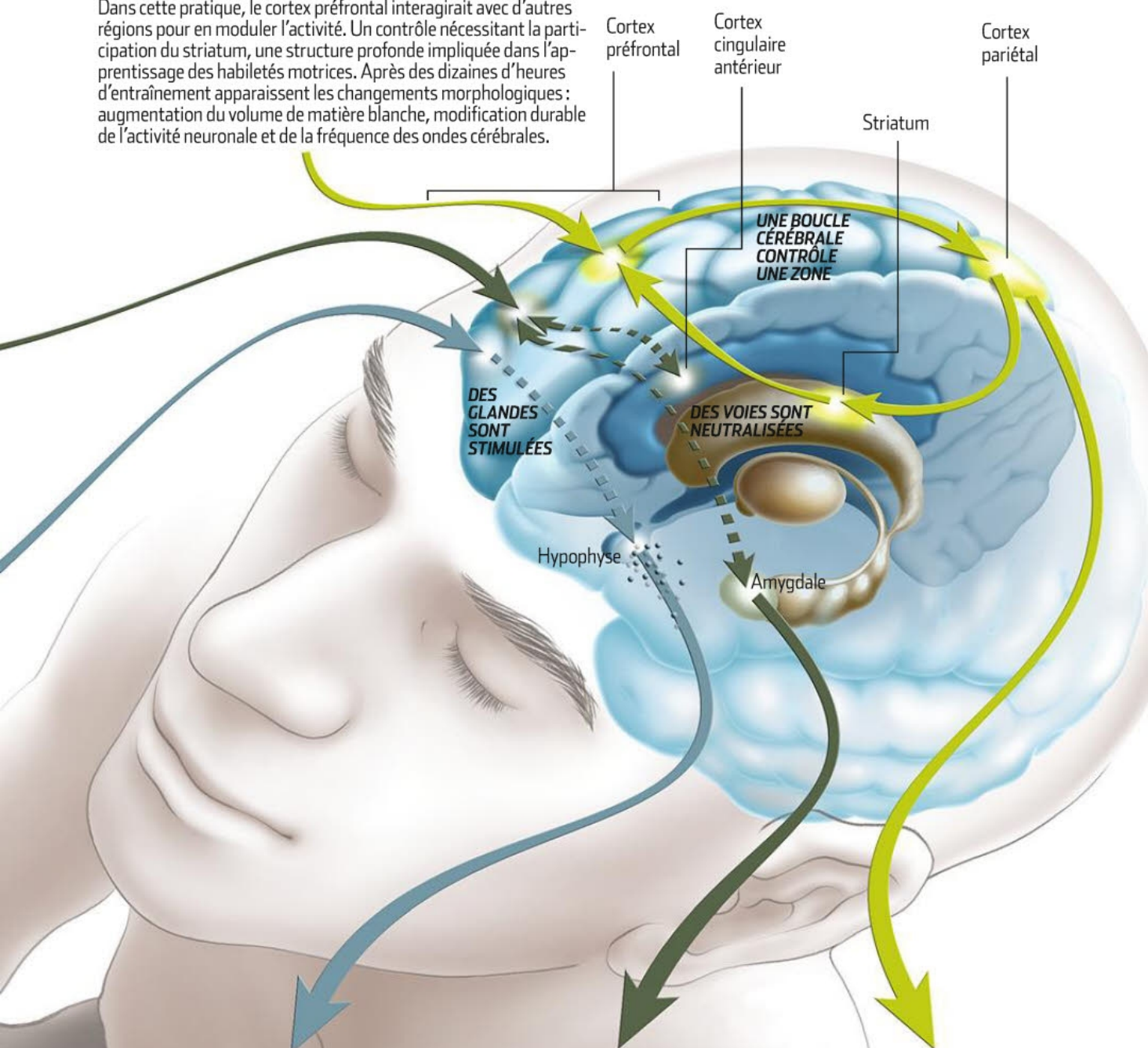
L'effet placebo fait produire au cerveau ses propres remèdes

L'effet placebo produit des molécules très concrètes, qui activent les mêmes zones que celles activées par les médicaments correspondants. Un placebo analgésique déclenche ainsi la production d'opioïdes dont l'action est similaire à celle de la morphine. Souvent conscient, cet effet met en jeu le cortex préfrontal, où s'élabore l'attente d'un bénéfice thérapeutique. Mais il peut aussi moduler des processus inconscients, comme la production d'hormones ou la réponse immunitaire.



Le neurofeedback module l'activité neuronale

Dans cette pratique, le cortex préfrontal interagirait avec d'autres régions pour en moduler l'activité. Un contrôle nécessitant la participation du striatum, une structure profonde impliquée dans l'apprentissage des habiletés motrices. Après des dizaines d'heures d'entraînement apparaissent les changements morphologiques : augmentation du volume de matière blanche, modification durable de l'activité neuronale et de la fréquence des ondes cérébrales.



Le pouvoir du placebo

Associé à toute prise en charge thérapeutique, l'effet placebo agit quelle que soit la pathologie concernée. Il a été particulièrement étudié dans le traitement de la douleur et de la maladie de Parkinson et apparaît important dans le cas de la dépression, ainsi que dans le traitement des pathologies respiratoires telles que l'asthme et la toux.

Le pouvoir de la méditation

La méditation réduit le stress, ce qui renforce les défenses immunitaires, réduit le vieillissement cellulaire, l'hypertension artérielle... En diminuant les processus inflammatoires chroniques, elle aurait des effets sur le diabète et la maladie d'Alzheimer. Elle agit également sur les capacités d'attention, l'impulsivité, les douleurs chroniques ou les rechutes dépressives.

Le pouvoir du neurofeedback

En permettant de contrôler n'importe quelle région cérébrale, le neurofeedback propose de traiter de nombreuses pathologies : douleurs chroniques, dépression, acouphènes, schizophrénie, troubles anxieux... Ses effets n'ont cependant été démontrés que pour le traitement des déficits de l'attention avec hyperactivité et de l'épilepsie.

Epilepsie, douleur, dépression, Parkinson, déficits immunitaires...

LES PREUVES D'UNE EFFICACITÉ THÉRAPEUTIQUE

Depuis une dizaine d'années, les résultats s'accumulent. Et ils ne font aucun doute : l'esprit est bel et bien capable de soigner certains troubles, même les plus graves. Démonstration en 15 expériences.

Que la méditation, technique millénaire issue du bouddhisme, le neurofeedback, pratique en vogue chez les adeptes californiens du New Age, et le placebo, effet connu de longue date dans l'industrie pharmaceutique sans que quiconque le prenne vraiment au sérieux, aient fini par convaincre les scientifiques de la réalité de leurs bénéfices est en soi une authentique surprise. Mais qu'en plus, leur action soit avérée sur des troubles aussi divers et importants que la dépression, la douleur, le stress, l'épilepsie, la maladie de Parkinson ou certains déficits immunitaires, voilà qui paraît presque incroyable. Et pourtant ! Les expériences menées par des chercheurs toujours plus nombreux à se lancer sur cette nouvelle piste se concluent par des résultats sans équivoque : l'esprit guérit bien une série de troubles, et des plus sérieux. Au point que, d'alternative, cette médecine apparaît désormais complémentaire de la médecine médicamenteuse, élargissant la panoplie thérapeutique des prescripteurs.

La preuve en 15 études parmi les plus convaincantes, qui font largement référence dans la communauté scientifique. Certaines démontrent avec des résultats statistiques solides l'efficacité de ces nouvelles façons de se soigner ; d'autres mettent au jour les mécanismes à l'œuvre dans le cerveau pour expliquer de tels effets. Toutes apportent en tout cas la preuve de ces pouvoirs guérisseurs de l'esprit, longtemps insoupçonnés.

FACE À LA DOULEUR

La méditation modifie les circuits de réponse à la douleur

En 2009, Joshua Grant et Pierre Rainville, neuroscientifiques à l'université de Montréal (Canada), ont comparé la résistance à la douleur de 13 méditants expérimentés, totalisant plus de mille heures de méditation chacun, avec celle de 13 sujets lambda. Il s'agissait de presser une plaque de plus en plus chaude sur leurs mollets. Alors

qu'à 53 °C, la douleur était jugée intolérable par les non-méditants, elle fut juste qualifiée de modérée par les méditants. L'exploration du cerveau de ces derniers, en 2011, a révélé une déconnexion entre des régions impliquées dans l'évaluation et l'anticipation de la douleur dans le cortex préfrontal (à l'avant du cerveau), et des zones

Le placebo active les mêmes zones du cortex que des opioïdes

En 2002, Predrag Petrovic, neurobiologiste au Karolinska Institute de Stockholm (Suède), a comparé les effets, dans le cerveau, d'un antalgique et d'un placebo. Tous les volontaires pensaient avoir reçu un opioïde dérivé de la morphine, mais certains n'ont reçu qu'un composé inactif. Un stimulus ther-

mique douloureux leur a ensuite été infligé pendant que leur cerveau était scanné par tomographie par émission de positons. Que les sujets aient été sous antalgique ou qu'ils aient cru l'être, les mêmes zones du cerveau ont été activées (voir IRM), toutes impliquées dans le soulagement de la douleur par

Le neurofeedback permet de contrôler l'aire cérébrale impliquée dans la douleur

En 2005, le neuroscientifique Christopher DeCharms, à l'université Stanford, a entraîné 16 volontaires soumis à des stimulations thermiques douloureuses, et 12 patients atteints de douleurs chroniques, à contrôler l'activité d'une petite région impliquée dans la douleur et située en profondeur

dans le cerveau, le cortex cingulaire antérieur rostral. Après plusieurs essais menés grâce à l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle en temps réel, tous les sujets ont été capables de contrôler l'activité de cette région (voir IRM) et ont rapporté une réduction de la douleur

FACE À L'ÉPILEPSIE

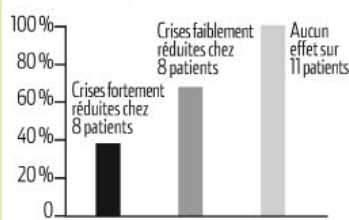
Le neurofeedback diminue les crises

En 1999, à l'université de Tübingen (Allemagne), Boris Kotchoubey et Niels Birbaumer ont suivi, chez 27 patients atteints d'une épilepsie résistant aux médicaments, l'excitabilité des

neurones par électro-encéphalographie. Pendant 35 séances de trente minutes, les patients ont visualisé cette activité électrique en direct sur écran et ont appris à l'augmenter

ou à la diminuer. Deux tiers d'entre eux sont parvenus à contrôler leur activité cérébrale. Le nombre de crises a diminué en moyenne de 25 %, et jusqu'à 60 % chez 8 patients.

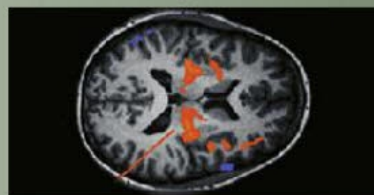
Deux tiers des patients voient le nombre de leurs crises baisser



SOURCE: CLIN. NEUROPHYSIOL. 1999

profondes chargées de traiter l'information douloureuse, le cortex cingulaire antérieur, le thalamus et l'insula (voir IRM).

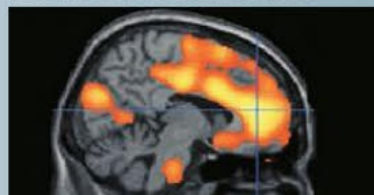
Cortex cingulaire antérieur, insula et thalamus réagissent tout seuls



SOURCE: PSYCHOSOM. MED. 2009 & PAIN 2011

les opioïdes. Dans les deux cas, les sujets ont rapporté une diminution de la douleur ressentie.

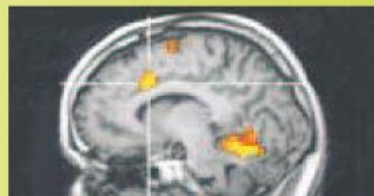
Cortex cingulaire antérieur rostral et tronc cérébral sont activés



SOURCE: SCIENCE 2002

ressentie. Des résultats qui restent cependant à confirmer sur un plus grand nombre de sujets.

Le cortex cingulaire antérieur rostral est commandé en temps réel



SOURCE: PNAS 2012

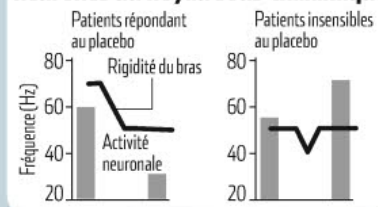
FACE À LA MALADIE DE PARKINSON

Le placebo réduit la rigidité musculaire en agissant à l'échelle du neurone

En 2004, Fabrizio Benedetti, de l'université de Turin (Italie), a mené une expérience inédite lors d'une opération d'implantation d'électrodes chez 11 patients parkinsoniens – la stimulation cérébrale profonde du noyau sous-thalamique, hyperactif dans la maladie, étant l'un de ses traitements classiques. Le neuroscientifique a enregistré l'activité neuronale avant, pendant et après l'injection d'un placebo, que les sujets pensaient être un anti-parkinsonien. Résultats : pour les 6 patients répondant

positivement au placebo, la rigidité musculaire a diminué, en corrélation avec la réduction de l'activité neuronale, ce qui n'était pas le cas chez les patients insensibles au placebo (voir graphique).

Le placebo diminue l'activité des neurones du noyau sous-thalamique



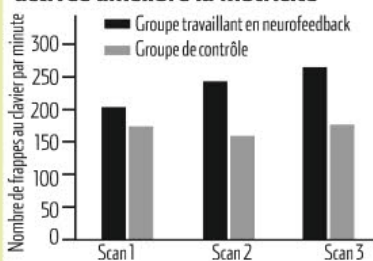
SOURCE: NATURE NEUROSCIENCE 2004

Le neurofeedback doperait la motricité

En 2011, à l'université de Bangor, au pays de Galles, la psychologue Leena Subramanian et le neuroscientifique David Linden ont entraîné 5 patients parkinsoniens à renforcer l'activité d'une région cérébrale sous-activée dans la maladie. Allongés dans un scanner à imagerie par résonance magnétique fonctionnelle, les patients visualisaient sur un écran, sous la forme d'un thermomètre, l'activité d'une zone située à l'avant du cerveau, liée à la planification et l'exécution des mouvements. Après deux sessions d'entraînement, les patients sont parvenus à contrôler

leur activité cérébrale et leur motricité s'est améliorée. Chez 5 patients ayant suivi la même procédure mais sans feedback, aucune amélioration n'a été observée (voir graphique). Des résultats à confirmer.

Contrôler la zone cérébrale sous-activée améliore la motricité



SOURCE: THE JOURNAL OF NEUROSCIENCE 2011

M.KONTENTE

FACE AUX DÉFICIENCES IMMUNITAIRES

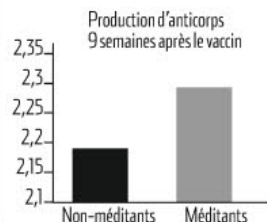
La méditation accroît l'effet de la vaccination

En 2003, le psychologue Richard Davidson (université du Wisconsin, États-Unis), a comparé la réponse immunitaire de méditants (entraînés pendant huit semaines à la méditation de pleine conscience) et de non-méditants après

un vaccin contre la grippe. Avant et après cet entraînement, l'activité électrique du cerveau de tous a été enregistrée. Quelques semaines après le vaccin, la production d'anticorps – donc la réponse immunitaire – était supérieure chez

les méditants (voir graphique). Qui montraient aussi une plus forte activation des régions avant-gauche du cerveau, impliquées dans les émotions positives. Plus ces zones s'activaient, plus la réponse immunitaire était forte.

La réponse immunitaire est plus forte après des séances de méditation



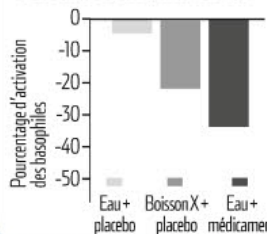
Le placebo atténue les réactions allergiques

En 2009, la psychologue Marion Goebel, de l'université de Duisburg-Essen (Allemagne), a incité des patients allergiques à boire tous les jours pendant cinq jours une boisson X, juste avant de recevoir leur anti-allergique. Neuf jours plus

tard, les sujets ont été divisés en trois groupes : le premier prenait de l'eau puis un placebo; le deuxième, la boisson X puis le placebo; le troisième, de l'eau puis le véritable médicament. Résultat : l'activation des basophiles, des

globules blancs qui interviennent pendant la réaction allergique, a diminué dans le sang des patients des groupes 2 et 3 (voir graphique). La boisson X a donc conditionné les patients à répondre au placebo.

La réaction allergique diminue même sans le véritable médicament



FACE AUX DÉFICITS DE L'ATTENTION

La méditation améliore l'acuité

En 2007, la neuroscientifique Heleen Slagter et Richard Davidson, de l'université du Wisconsin, ont soumis 17 méditants, avant et après trois mois de retraite intensive de méditation, à la tâche dite du "clignement attentionnel" : ils devaient détecter, parmi une succession de lettres, deux chiffres présentés avec 300 millisecondes d'écart. La plupart du temps, le second passe inaperçu, la focalisa-

tion de l'attention sur le premier s'accompagnant d'une onde cérébrale, appelée P300, que l'on peut enregistrer grâce à des électrodes placées à l'arrière du crâne. Une limite que la méditation semble repousser : après leur entraînement, les sujets ont perçu plus souvent le deuxième chiffre et présenté une onde P300 plus faible, signes d'une attention plus globale et moins facilement distraite.

Le neurofeedback juggle l'hyperactivité

En 2009, le psychologue Martijn Arns et son équipe de l'université Nijmegen, aux Pays-Bas, ont réalisé une méta-analyse de la littérature scientifique afin d'évaluer l'efficacité du neurofeedback dans le traitement du trouble de déficit de l'attention avec hyperactivité (TDAH). Sur plus de 200 études

publiées en dix ans, seules 15 ont été retenues, les plus rigoureuses scientifiquement. Leur analyse a démontré que le neurofeedback réduit efficacement l'impulsivité et l'inattention, et moyennement l'hyperactivité. Selon les auteurs, cette technique est "efficace et spécifique" pour traiter le TDAH.

FACE À LA DÉPRESSION

La méditation limite

En 2010, le psychologue Zindel Segal, du Centre pour l'addiction et la santé mentale de Toronto, a mesuré les effets de la méditation de pleine conscience contre les

Le placebo modifie

En 2002, la neurologue Helen Mayberg a comparé, dans le cerveau de 17 patients dépressifs, l'action d'un antidépresseur (la fluoxétine) avec celle d'un placebo. Avant

Le neurofeedback

En 2012, le neuroscientifique Rainer Goebel et le psychiatre David Linden ont entraîné 8 patients dépressifs à contrôler l'activité d'une région cérébrale impliquée

FACE AU STRESS

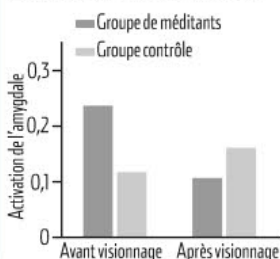
La méditation permet de mieux gérer les émotions

En 2012, Gaëlle Desbordes, du Centre Martinos d'imagerie biomédicale dans le Massachusetts, a exploré les effets de la méditation sur l'amygdale, une structure cérébrale impliquée dans la gestion des émotions. Avant et après un entraînement de huit

semaines à la méditation de pleine conscience, 12 participants sont passés au scanner afin que soit enregistrée l'activité de leur cerveau pendant le visionnage d'images à contenu émotionnel positif, négatif ou neutre. Résultat : quel que soit le type d'images,

leur amygdale s'activait moins que celle de non-méditants (voir graphique). "Cela suggère moins de stress et d'anxiété, plus de calme et d'équanimité chez les individus ayant pratiqué la méditation de pleine conscience", conclut la neuroscientifique.

Méditer agit directement sur l'amygdale, siège cérébral des émotions



Le placebo mobilise le cerveau contre l'anxiété

En 2005, Predrag Petrovic, neurobiologiste au Karolinska Institute (Stockholm), a administré un anxiolytique à des volontaires. Puis, il leur a montré des images anxio-gènes. Comme attendu,

leur anxiété a diminué. Un effet annulé lorsque les scientifiques leur ont donné un composé bloquant les récepteurs de ce médicament. Le lendemain, les sujets, croyant recevoir les mêmes traite-

ments, ont en fait reçu des placebos. Résultat : persuadés qu'on leur délivrait l'anxiolytique, ils ont vu leur anxiété diminuer... puis augmenter à nouveau lorsqu'ils pensaient recevoir le composé aux effets

inverses. Les chercheurs ont montré que l'effet placebo anxiolytique était lié à une activation des mêmes régions cérébrales que celles impliquées dans un autre effet placebo, l'analgésie placebo.

SOURCE: FRONT. HUM. NEUROSCI. 2012

ON

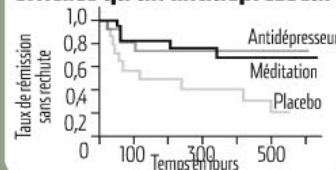
les rechutes

rechutes dépressives. Son équipe a suivi 84 patients ayant pris des antidépresseurs jusqu'à rémission de leurs symptômes. Un tiers a ensuite poursuivi son traite-

ment, un tiers a pris un traitement factice, et un tiers a suivi une thérapie cognitive basée sur la méditation de pleine conscience. Dix-huit mois plus tard, 70 % des

patients ayant pris le traitement factice ont rechuté, contre 30 % de ceux ayant pratiqué la méditation ou pris des antidépresseurs (voir graphique).

La méditation est aussi efficace qu'un antidépresseur



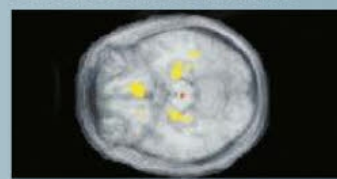
les mêmes aires cérébrales qu'un antidépresseur

et après six semaines de traitement, elle leur a fait passer un scanner par tomographie par émission de positons, afin de visualiser leur activité cérébrale.

Le scanner a révélé que des régions communes étaient modifiées (augmentation ou diminution d'activité) en réponse à la fluoxétine ou au placebo (voir scanner).

De quoi mieux comprendre pourquoi, dans les études sur les antidépresseurs, les améliorations observées sont dues pour près de 51 % à l'effet placebo.

Fluoxétine et placebo activent les mêmes aires cérébrales



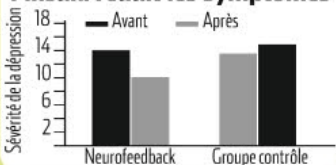
aide à réduire les symptômes dépressifs

dans la genèse des émotions positives, l'insula ou le cortex préfrontal, grâce à l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle en temps réel. Après 4 séances

hebdomadaires d'une heure, les patients ont appris à augmenter volontairement l'activité de cette région et montré une réduction de leurs symptômes dépressifs

(voir graphique). Des résultats préliminaires qui devront être confirmés sur un plus grand nombre de patients, et comparés aux effets des antidépresseurs.

Activer le cortex préfrontal et l'insula réduit les symptômes



SOURCE: ARCH. GEN. PSY. 2010

SOURCE: AM. J. PSY. 2002

SOURCE: PLOS ONE 2012

M.KONTENTE



UNE NOUVELLE MÉDECINE QUI POSE QUESTION

En démontrant sa valeur thérapeutique, la “médecine par l’esprit” a cessé d’être une médecine “alternative”. Mais en pratique, qui peut y recourir? Existe-t-il des risques?... Le point en huit questions clés.

L’esprit peut-il tout guérir?

Non. Soyons clairs, un cancer au stade terminal ne pourra être guéri ni par des séances de méditation, ni par le plus puissant des effets placebo. En revanche, l’un comme l’autre peuvent compléter, voire augmenter les effets d’un traitement. En 2001, Fabrizio Benedetti et son équipe de l’université de Turin montraient ainsi que l’effet placebo peut être utilisé pour réduire les doses médicamenteuses. Dans leur étude, des sujets souffrant de douleurs post-opératoires étaient placés sous perfusion et recevaient sur demande un antalgique.

La moitié d’entre eux savait que la perfusion ne contenait qu’une solution saline sans aucune substance active; l’autre moitié était persuadée que cette solution complétait les effets de l’antalgique. Résultat: ce deuxième groupe a réclamé 33 % moins d’antalgiques! Si l’esprit ne peut pas tout soigner, ses effets s’exercent sur nombre de pathologies. Le neurofeedback réduit les crises d’épilepsie et traite efficacement les déficits de l’attention, des pathologies exclusivement mentales. Le procédé apparaît également prometteur

pour soigner les troubles anxieux, notamment le stress post-traumatique. Les effets de la méditation sont plus larges: on sait avec certitude qu’elle réduit la douleur, évite les rechutes dépressives et améliore l’attention. En atténuant le stress, elle aurait aussi de multiples effets indirects: elle boosterait le système immunitaire et réduirait l’inflammation, le vieillissement cellulaire, les risques cardiovasculaires, etc. Quant à l’effet placebo, il peut accompagner toute prise en charge thérapeutique chez les patients qui y

sont sensibles. S’il a surtout montré son efficacité contre la douleur et la maladie de Parkinson, il agirait quelle que soit la pathologie, en incitant l’organisme à fabriquer ses propres médicaments. “Le corps humain est capable de synthétiser toutes les molécules: antidépresseurs, anticancéreux, morphine, anti-inflammatoires, etc., s’enthousiasme le psychiatre Patrick Lemoine, l’un des rares spécialistes français de l’effet placebo. Le seul problème est que l’on n’a pas encore compris dans quelles circonstances l’effet placebo se met en place.”

REPARATION
TRAITEMENT N° 7580
VISITE
A compléter par l'investigateur
CAPSULES DE V0137 ou PLACEBO
1103076



Avons-nous tous la même capacité à nous soigner par la force de l'esprit ?

Oui, à condition de savoir exercer ce contrôle de l'esprit. Apprendre à maîtriser une région de son cerveau, voire une petite population de neurones, n'est qu'une question de temps. Ainsi, à raison d'une quarantaine de séances d'une demi-heure de neurofeedback, chacun peut améliorer ses capacités de concentration, cet entraîne-

ment modifiant la structure même de l'encéphale. N'importe qui peut par ailleurs bénéficier des bienfaits de la méditation, moyennant une pratique quotidienne assidue. D'autant qu'elle a l'avantage de ne nécessiter aucun appareillage. En 2012, Gaëlle Desbordes, neurobiologiste au Centre Martinos d'imagerie biomédicale (Etats-

Unis), montrait qu'après huit semaines de séances, l'activité de l'amygdale, une petite région du cerveau impliquée dans le contrôle des émotions, était modifiée chez des novices, avec à la clé moins de stress. Difficile en revanche de déclencher l'effet placebo sur commande. Un patient aura beau croire de toutes ses forces aux vertus d'une

pilule de sucre, il n'est pas certain que celle-ci fasse effet. Ce que l'on sait, c'est que notre inégalité face à l'effet placebo se lit dans nos gènes. Deux études, en Suède et aux Etats-Unis, ont ainsi montré que seuls les sujets porteurs de caractéristiques génétiques spécifiques réagissaient à un traitement anxiolytique ou antidépresseur factice.

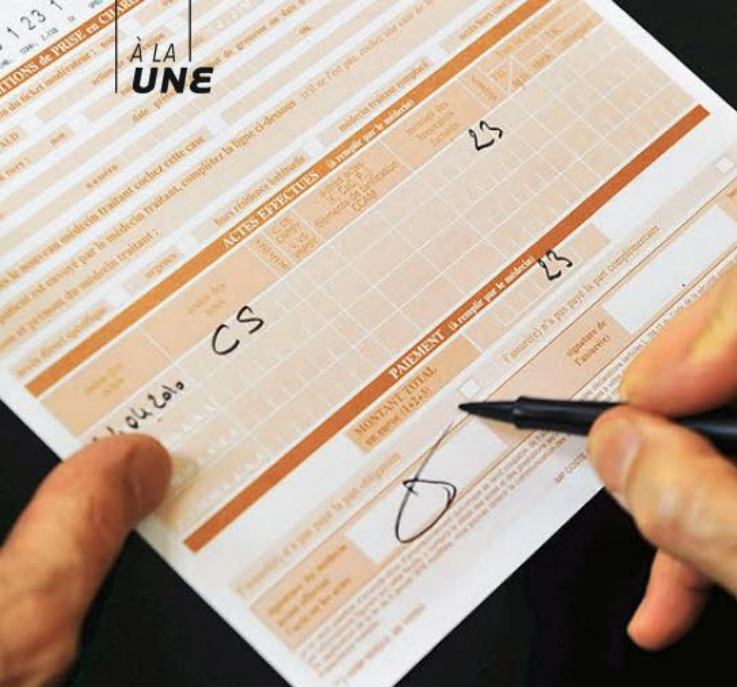
Faut-il craindre des effets secondaires ?

Si "les effets néfastes éventuels de la méditation ne sont guère documentés", selon Christophe André, psychiatre à Sainte-Anne, se retrouver face à soi-même peut toutefois s'avérer difficile. "Méditer expose à des pensées, émotions ou sensations douloureuses que l'on évite habituellement, de façon consciente ou non." Le neurofeedback peut, lui, entraîner de réels effets

néfastes si la région du cerveau dont on souhaite modifier l'activité est mal ciblée ou mal stimulée. Pour minimiser ce risque, aux Etats-Unis, où ce procédé est très réglementé, des analyses précèdent les séances. Chez les enfants atteints de trouble du déficit de l'attention avec hyperactivité, on compare l'activité du cerveau avec les enregistrements

d'enfants "normaux", afin de déceler les anomalies. Mais ce n'est pas toujours simple : même si ce trouble est le plus souvent lié à un excès d'ondes lentes dans le lobe frontal, il existe aussi des schémas opposés, avec des ondes rapides. "Donc, si l'on se trompe de schéma, on va faire du mal au patient !", prévient Marco Congedo, chercheur au Cipsa-Lab de Grenoble.

Quant à l'effet placebo, aucun problème tant que la motivation est au beau fixe. Mais le phénomène contraire, l'effet nocebo, existe – et il est aussi puissant. Le neuroscientifique Fabrizio Benedetti a montré que si l'on persuade des patients parkinsoniens que leur stimulateur cérébral est à l'arrêt (alors qu'il fonctionne), leurs performances motrices se détériorent !



Quel est le rôle de l'inconscient ?

Cela dépend. Parfois, le contrôle de l'esprit est pleinement conscient. Pour preuve, l'implication du cortex préfrontal, région liée à l'anticipation et au contrôle cognitif, dont l'activité est indispensable pour que s'élabore l'effet placebo. À l'inverse, chez des malades Alzheimer, dont le cortex préfrontal dégénère, le placebo a beaucoup moins d'effet. Impossible que s'élabore

chez eux l'attente d'un bénéfice thérapeutique futur. Mais ce pouvoir de l'esprit n'est pas toujours conscient. En 2003, Fabrizio Benedetti le prouvait par une expérience. Après avoir administré à des sujets un composé modulant la sécrétion d'hormones – stimulant la sécrétion d'hormones de croissance et réduisant celle de cortisol –, il le remplaça par un placebo... qui produi-

sit les mêmes variations hormonales, quand bien même le chercheur tentait de persuader les cobayes que les effets inverses étaient attendus ! Si la suggestion verbale peut être efficace dans le contrôle de la douleur (une fonction physiologique consciente), seul un conditionnement inconscient agirait sur des fonctions également inconscientes, comme la sécrétion

d'hormones... ou le système immunitaire. Ainsi, une étude américaine montrait en 2003 que les méditants produisent plus d'anticorps que des sujets lambda après une vaccination. Difficile de croire qu'ils aient contrôlé consciemment leur système immunitaire... Il est probable que la méditation ait agi indirectement, en diminuant leur stress, dont les méfaits sur l'immunité sont connus.

La Sécurité sociale rembourse-t-elle cette médecine ?

Oui pour la méditation, lorsqu'elle rentre dans le cadre d'une prise en charge hospitalière ou psychiatrique – comme pour toutes les psychothérapies. Oui également pour l'effet placebo, à hauteur du remboursement prévu pour le traitement suivi... car, dès lors qu'un médicament est remboursé, l'effet placebo associé l'est nécessairement ! Plus sérieusement, la Sécurité sociale ne rembourse pas une substance inerte, même lorsque ses effets sur la santé sont démontrés. Quant aux séances de neurofeedback proposées par de rares psychiatres en France, elles ne sont pas remboursées, aucune réglementation n'encadrant, pour l'heure, cette pratique.

L'hypnose permet-elle

Dès le XIX^e siècle, en France, le neurologue Jean-Martin Charcot introduisait l'hypnose à l'hôpital pour traiter l'hystérie. Si le côté spectaculaire des séances a depuis disparu, l'essentiel demeure : le thérapeute plonge le patient, par les gestes et par des paroles apaisantes, dans un état de "transe hypnotique". Détendu, réceptif, celui-ci entend alors le praticien lui

suggérer les changements à opérer dans son comportement pour guérir, avant de sortir de son état hypnotique sur injonction du thérapeute. De telles séances d'hypnose médicale sont couramment utilisées contre certaines phobies ou addictions. Elles ont lieu dans un cadre instauré il y a treize ans, avec le premier diplôme reconnaissant la pratique.



Où aller pour bénéficier de ces pratiques ?

Pour exploiter les pouvoirs du placebo, il suffit de se rendre chez son médecin ! Car le placebo n'est pas seulement la pilule sans principe actif : ce sont aussi les paroles, les rituels de l'acte thérapeutique, les croyances... que renforce la conviction du médecin, d'autant plus si la relation avec le patient est bonne. Pour le neurofeedback, il est difficile de conseiller de

bonnes adresses en France, où la pratique n'est pas réglementée. *"Ce sont les psychiatres qui utilisent l'électroencéphalographie pour faire du neurofeedback, observe Marco Congedo, chercheur au Gipsa-Lab, à Grenoble. Mais suivant quelle méthode ? Font-ils des analyses au préalable ? Avec quelles bases de données ?"* Difficile de le savoir... Quant au neurofeedback par IRM

fonctionnelle en temps réel, cette technologie, trop chère pour être largement utilisée à l'hôpital, est réservée à la recherche. Méditer se révèle en revanche beaucoup plus simple. *"On peut s'entraîner à la pleine conscience à peu près n'importe où, dans le bus, en marchant..."*, souligne Jon Kabat-Zinn, grand importateur de la méditation dans le champ de la

psychologie clinique. A condition d'en connaître les bases. Pour faciliter cet apprentissage ou approfondir sa pratique, il est conseillé de suivre l'enseignement de professionnels. L'Association pour le développement de la *mindfulness* (pleine conscience) en France donne la liste de ses membres actifs sur son site internet : www.association-mindfulness.org.

aussi de soigner le corps ?

Il existe désormais huit diplômes universitaires d'hypnose, qui valident une formation spécifique pour les médecins et les psychologues cliniciens (soit 250 médecins formés chaque année). Une technique largement reconnue, donc, et pour cause : de nombreuses études ont montré sa capacité à atténuer la douleur – elle est d'ailleurs de plus en plus

fréquemment utilisée en accompagnement de l'anesthésie avant une opération chirurgicale –, l'épilepsie... ou l'eczéma. Si l'hypnose repose sur une modification de l'esprit du patient, cette dernière passe néanmoins, obligatoirement, par le travail de suggestion du thérapeute : ici, la force de l'esprit est donc autant celle du médecin que celle du patient.

Peut-on doper les pouvoirs de l'esprit ?

On serait tenté de le croire. Après tout, on sait déjà doper le cerveau à l'aide d'excitants, voire de stimulations électriques ou magnétiques. Et de fait, des chercheurs du MIT sont parvenus, il y a quelques années, à provoquer des oscillations des ondes gamma caractéristiques de la méditation. Un succès cependant tout relatif : les "patients" étaient des rats et le "dopage" nécessitait la diffusion de lumière à la surface de leur cerveau via une fibre optique traversant leur crâne. Sachant par ailleurs que, dans le cas du neurofeedback, l'effet thérapeutique consiste d'abord à ramener l'activité cérébrale à la normale quand elle s'en éloigne... Doper les forces de l'esprit s'annonce donc, outre délicat, sans doute risqué.

La technologie LIP au service de votre réveil !

Livré dans son étui de protection façon cuir, cet élégant réveil de voyage LIP vous assure la ponctualité dans tous vos rendez-vous. En alliage de métaux satinés, il est ultra-léger et très résistant.

Réveil de voyage LIP - 15,90€

MÉCANISME À QUARTZ 3 AIGUILLES. ALARME PROGRAMMABLE. 1 PILE LITHIUM (FOURNIE). DIMENSIONS : 7,7 x 7,1 x 3,8 cm. POIDS : 88 GR. ETUI PVC NOIR REMBOURRÉ. GARANTIE 1 AN.



800 espèces d'oiseaux de France et d'Europe!

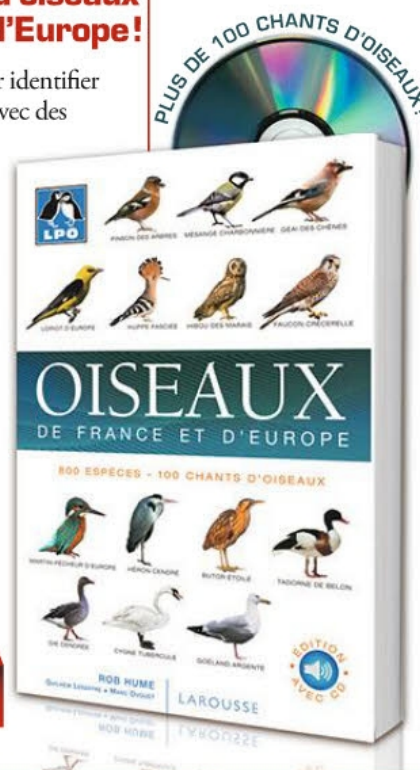
Un guide complet pour identifier facilement les oiseaux avec des photographies en gros plan, des dessins de leur vol, des cartes de localisation. En plus, un CD avec 100 chants d'oiseaux.

Guide des oiseaux d'Europe + CD

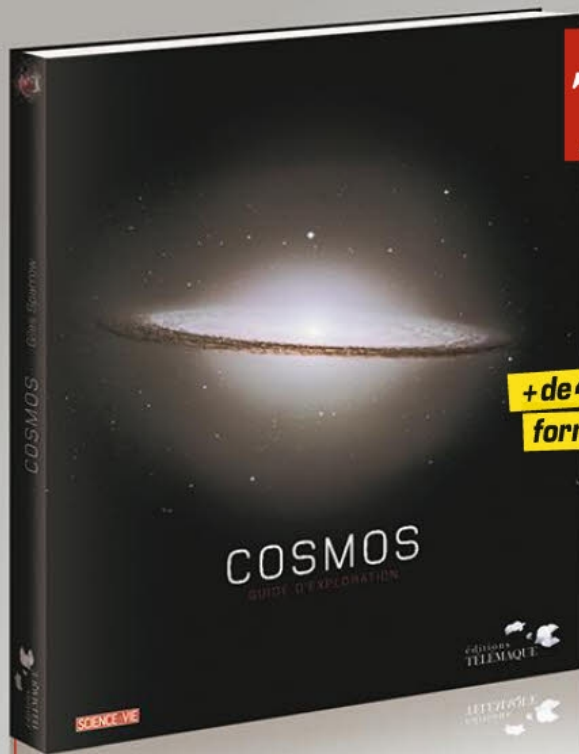
2000 PHOTOS, 500 DESSINS
Dim. 14 x 21 cm
456 PAGES
Éd. LAROUSSE

Prix public: 29,90€
28,41€ seulement

RÉDUCTION SPÉCIALE -5%



LES INDISPENSABLES SCIENCE & VIE



Prix public: 80€

76€

RÉDUCTION SPÉCIALE -5%

FRAIS D'ENVOI COLISSIMO 72H OFFERTS

4 kg

+ de 400 illustrations
format gigantesque!

PARTENARIAT
SCIENCE & VIE

Notre système solaire et l'Univers vus par la NASA

Le guide ultime pour appréhender l'Univers depuis notre planète jusqu'aux confins de l'espace et du temps.

Cosmos

DIM. 35,5 x 43 cm - 224 PAGES - COÉDITION SCIENCE & VIE ET TÉLÉMAQUE

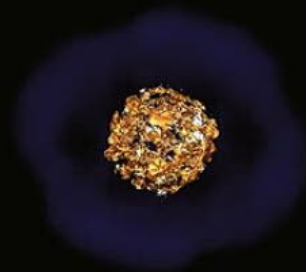
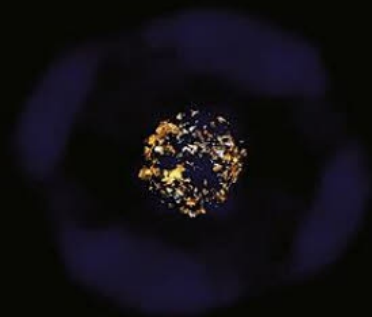


Préservez votre collection de Science & Vie!

Pour conserver vos anciens numéros et hors-série.

Reliure format coffret - 14,90€

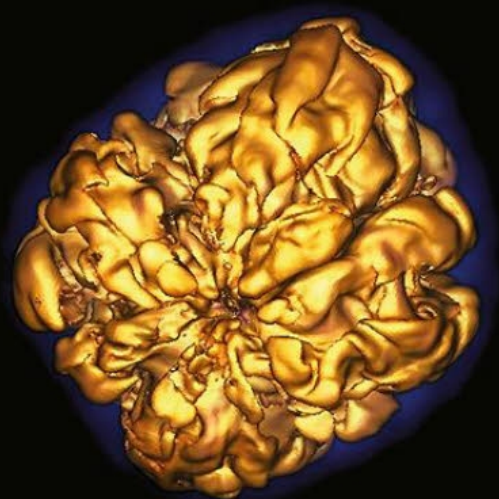
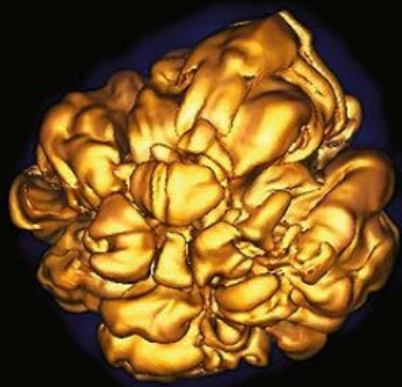
IMITATION CUIR. CONTIENT 12 NUMÉROS.

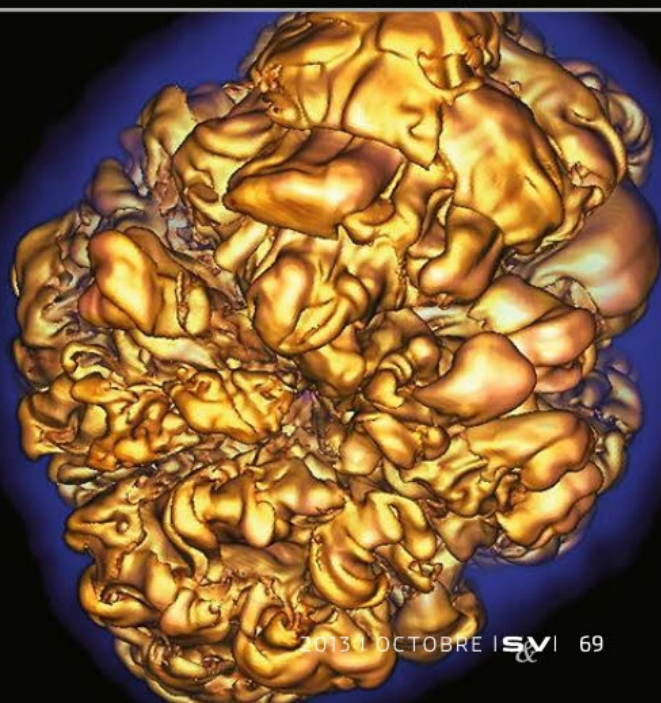
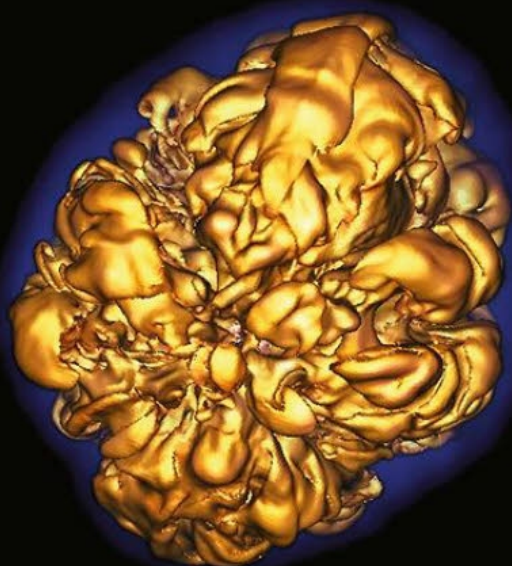
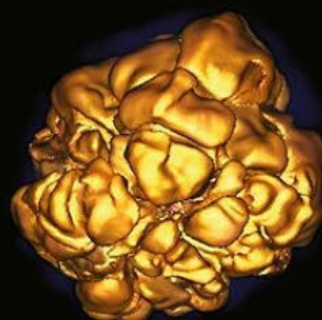


ON SAIT ENFIN FAIRE EXPLOSER LES ÉTOILES !

Un demi-siècle que les astronomes butaient sur la mort cataclysmique des étoiles : leurs modèles ne parvenaient pas à la reproduire. Parce qu'ils étaient en 2D ! En passant à la 3D, tout s'éclaire enfin. La preuve en images.

PAR MATHILDE FONTEZ





Le cataclysme n'a pas fait de bruit. Il s'est modestement matérialisé dans les publications sous la forme d'une courbe à la pente plus aiguë, d'un nuage de plasma devenu irrégulier ou d'un mouvement de rotation insoupçonné... Mais le résultat est là : depuis cinq ans environ, les astrophysiciens savent faire exploser les étoiles.

"Cela fait cinquante ans que le mystère nous résiste. Rendez-vous compte, un demi-siècle !", insiste Adam Burrows. Dans la voix de cet astronome de l'université de Princeton (Etats-Unis), percent la fébrilité, l'impatience. De l'excitation aussi. Il y a un demi-siècle en effet, grâce aux premiers supercalculateurs, les spécialistes des étoiles avaient cru toucher du doigt le plus grand cataclysme de l'Univers : enfin, ils allaient pouvoir détailler comment les étoiles massives, au moins huit fois plus lourdes que le Soleil, déflagrent en quelques centaines de millisecondes lorsqu'elles arrivent à court de carburant. Comment, dans ce flash éblouissant aussi lumineux qu'une galaxie entière, que l'on nomme supernova, elles projettent dans l'espace la quasi-totalité de leur matière, donnant naissance à de véritables feux d'artifice et, surtout, à tous les atomes lourds de l'Univers : le carbone, l'oxygène, le silicium, le fer...

IL MANQUAIT JUSTE UNE DIMENSION...

Mais les astronomes ont vite déchanté. Aucune des étoiles virtuelles forgées dans leurs supercalculateurs ne semblait vouloir exploser. Simulation après simulation, elles s'effondraient simplement sur elles-mêmes avant de s'éteindre. Or, comme ils ne cessaient de le répéter en levant les yeux au ciel : manifestement, elles explosent !

Ils avaient bien imaginé un mécanisme physique capable d'insuffler à l'étoile le surcroît d'énergie nécessaire à son explosion : des neutrinos, ces particules insaisissables produites en masse par le cœur des étoiles agonisantes, pourraient être absorbés par les gaz de l'étoile puis les chauffer, donnant naissance à une lame de fond qui désolidariserait l'enveloppe stellaire et disperserait les gaz alentour. Un processus convaincant... mais qui, une fois codé dans les

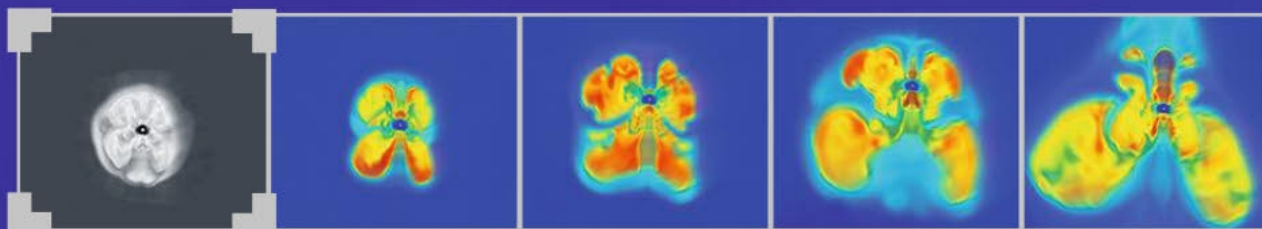


< Au télescope, l'explosion d'une supernova n'est qu'un flash dans le ciel... qui garderait tout son mystère sans les simulations.

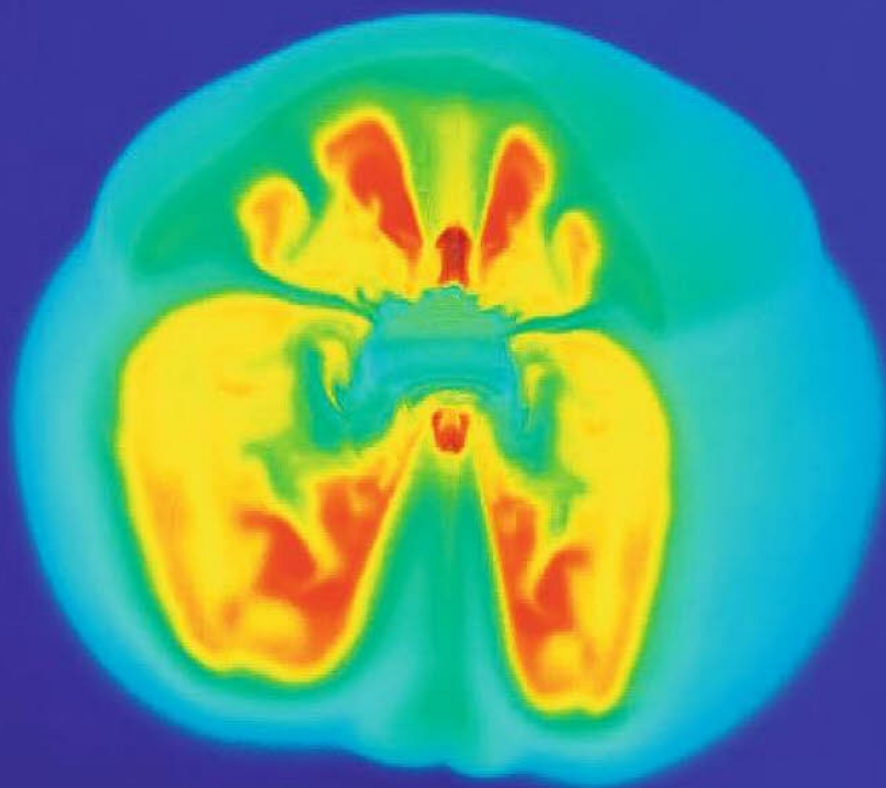
ordinateurs, échouait toujours à allumer l'étincelle. Que diable avaient-ils manqué ?

Aujourd'hui, les astronomes pensent avoir la réponse : ils n'avaient rien oublié... si ce n'est une dimension et de la puissance de calcul. Car après cinquante ans de pétards mouillés, ils ont enfin réussi leur feu d'artifice. Leur modèle était bon, mais il n'était pas représenté dans la bonne dimension, ni avec la bonne précision. En affûtant leurs simulations, ils ont façonné des fontaines de lumière, des bouquets de plasma irisés et donné corps à des supernovae. *"C'est un pas important, réagit Rodrigo Fernandez, spécialiste du sujet à l'université Berkeley (Etats-Unis). Grâce aux simulations en 3D, nous avons vu que des instabilités créées par le chauffage des gaz au cœur de l'étoile peuvent briser sa symétrie sphérique, s'étirant jusqu'à déchirer l'enveloppe gazeuse et la faire exploser."*

La plupart des spécialistes se gardent cependant de crier victoire, car les modèles restent approximatifs : ils reposent sur des équations qui ne décrivent que grossièrement le mouvement des neutrinos au cœur de l'étoile ; la plupart ne tiennent pas compte de la diversité des énergies portées par ces particules ; et certaines simplifications géométriques rendent les conclusions délicates à interpréter... *"Il est difficile d'apprécier à quel point une simulation est scandaleusement simpliste, convient Thierry Foglizzo, du Commissariat à l'énergie atomique. Mais il faut faire avec pour avancer."* Et célébrer l'instant en profitant de ce spectacle ô combien jouissif : on sait allumer l'étincelle, faire gonfler les nuages de gaz, répercuter l'onde de choc, expulser les geysers de plasma et insuffler une rotation colossale... On sait faire exploser les étoiles. La démonstration en 5 simulations. ■



▲ Simulation 2D réalisée à l'Institut Max-Planck d'astrophysique (Allemagne) en 2009 ; 10 millions d'heures de calcul.

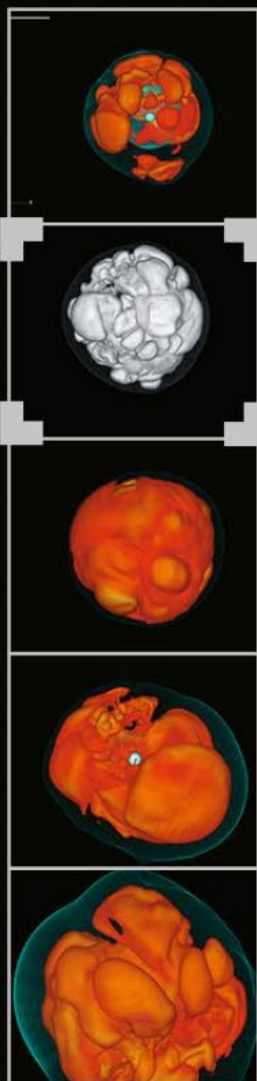


L'ALLUMAGE

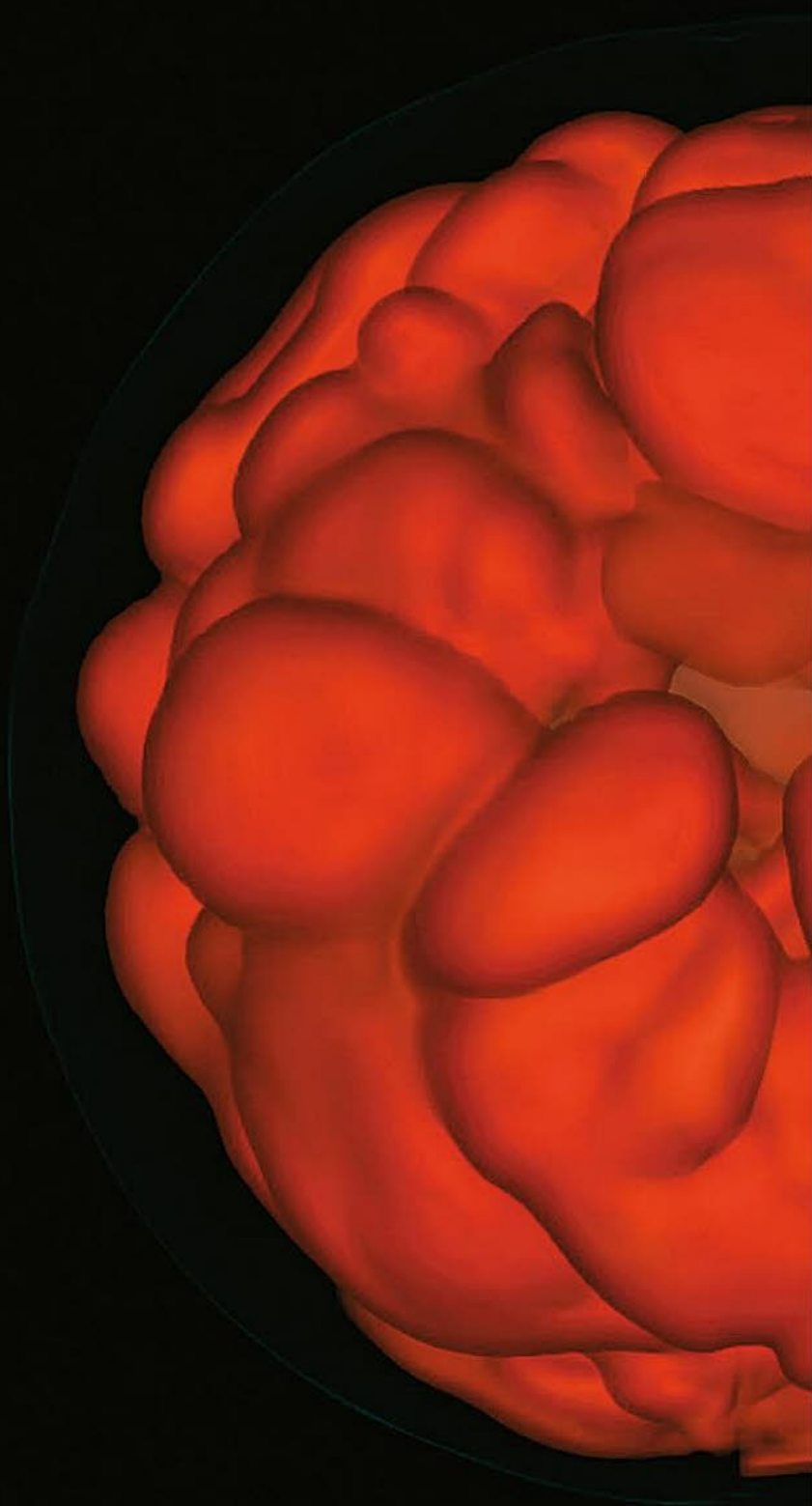
Tout commence au cœur de cette bulle de gaz brûlant. En modélisant pour la première fois avec précision comment des étoiles de 11 et 15 fois la masse du Soleil s'effondrent sur elles-mêmes lorsqu'elles arrivent à court de carburant, Andreas Marek et son équipe de l'Institut Max-Planck d'astrophysique ont assisté à la naissance de flots de particules : des neutrinos propulsés à la vitesse de la

lumière dans toutes les directions, qui entrent en collision avec les atomes du gaz environnant, le chauffent et donnent naissance à de violents et gigantesques tourbillons de matière. *"Cette simulation nous permet, pour la première fois, de prouver que les neutrinos sont capables d'insuffler assez d'énergie pour déclencher l'explosion"*, précise Hans-Thomas Janka, qui a participé à l'étude.

MAX PLANCK INSTITUTE FOR ASTROPHYSICS



▲ Simulation 3D réalisée
à l'Institut Max-Planck
d'astrophysique en 2013 ;
50 millions d'heures
de calcul.

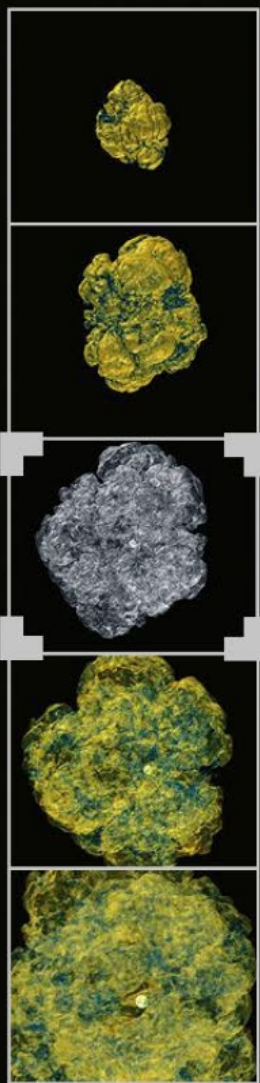




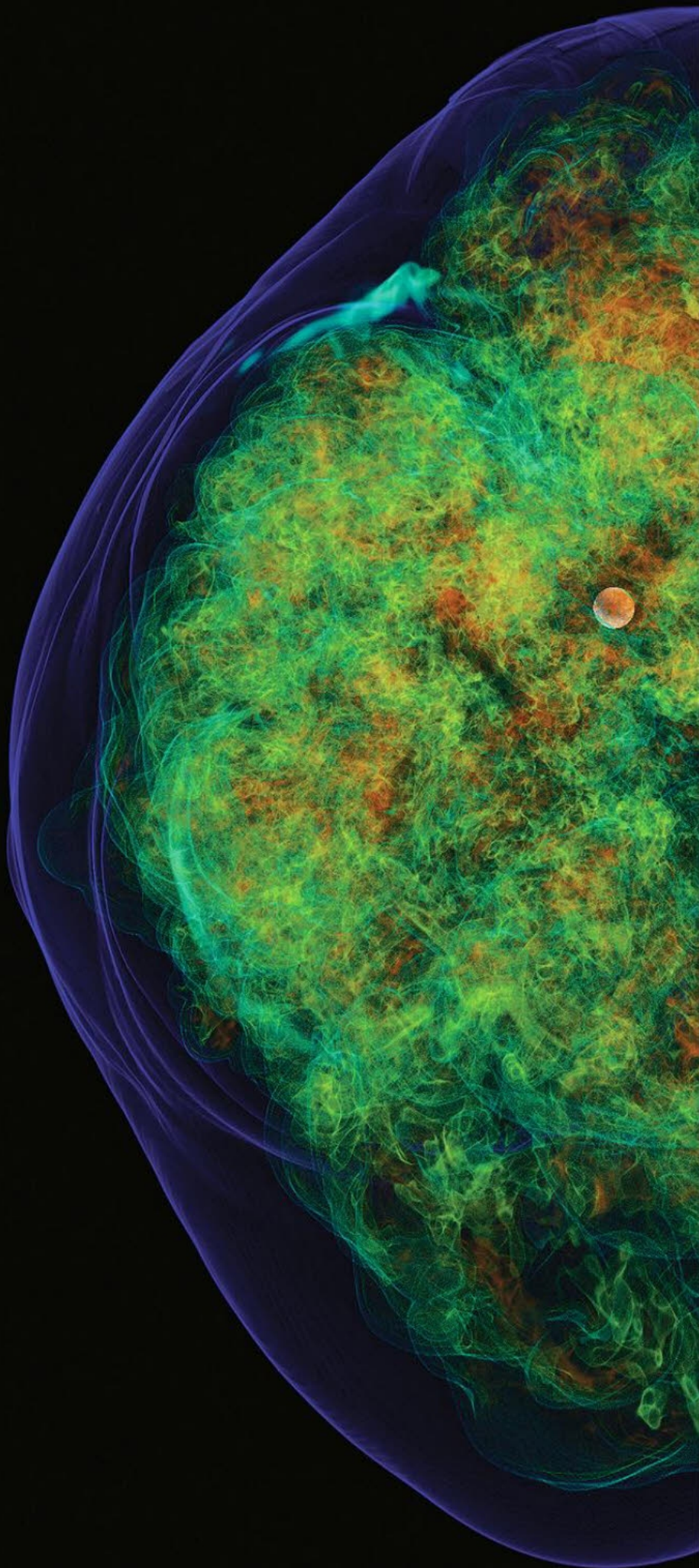
LA PROPAGATION

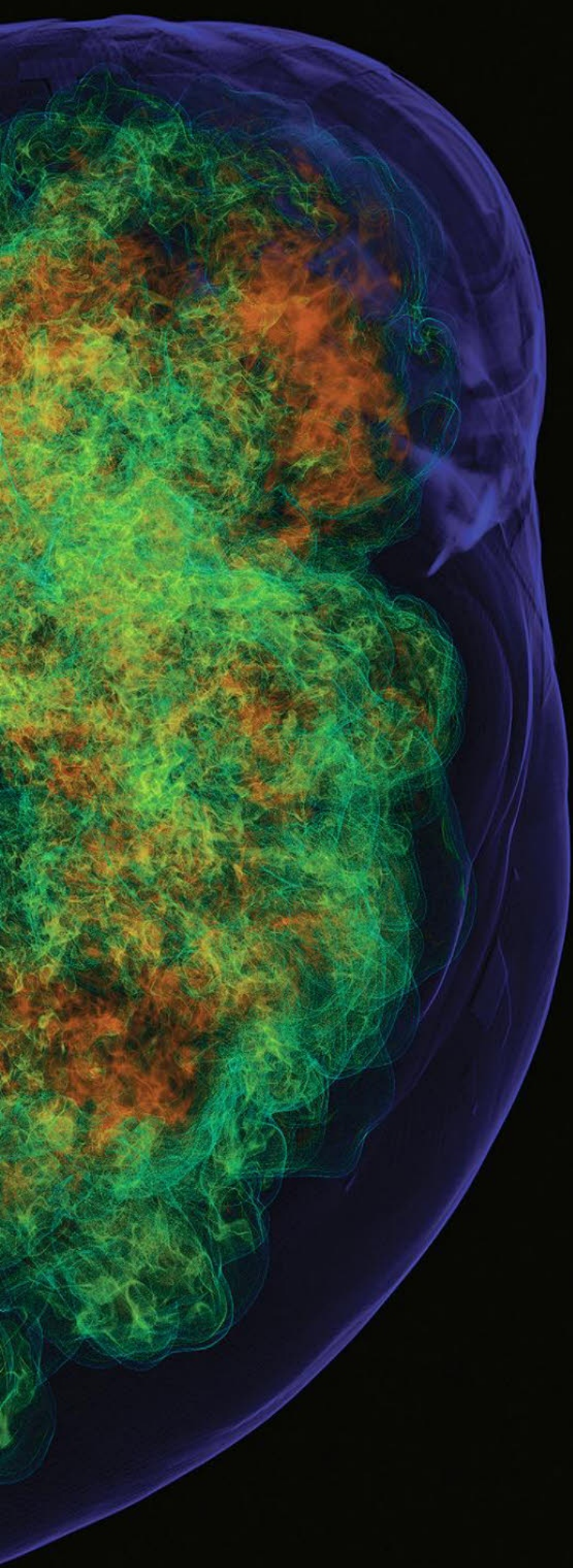
Des bulles de gaz aux formes irrégulières qui gonflent, se déforment, vrillent et oscillent jusqu'à exploser, comme un liquide visqueux qui serait entré en ébullition : voilà ce qu'ont découvert sur leurs écrans Florian Hanke et ses collègues de l'Institut Max-Planck. En modélisant en trois dimensions comment les différentes couches de l'étoile se mettent en mouvement sous l'effet de la chaleur produite par les neutrinos lorsque son cœur implose, les astrophysiciens se sont aperçus que les instabilités, d'abord sphériques et régulières, devenaient asymétriques. Au lieu de s'étendre régulièrement sous la forme de vagues oscillant indéfiniment d'un pôle à l'autre, comme le montraient les précédentes simulations, les gaz chauds donnent naissance à de gigantesques bulles de tailles variées, qui gonflent par à-coups. *"C'est à cause de ces asymétries pulsantes et de grande amplitude que l'étoile finir par se déchirer, explique Hans-Thomas Janka, qui a participé à l'étude. Sans elles, l'étoile gonflerait, certes, mais elle finirait par se rétracter, sans exploser."*

A. BURROWS/UNIV. OF PRINCETON



▲ Simulation 3D réalisée
à l'université de Princeton
(Etats-Unis) en 2012 ;
10 millions d'heures
de calcul.

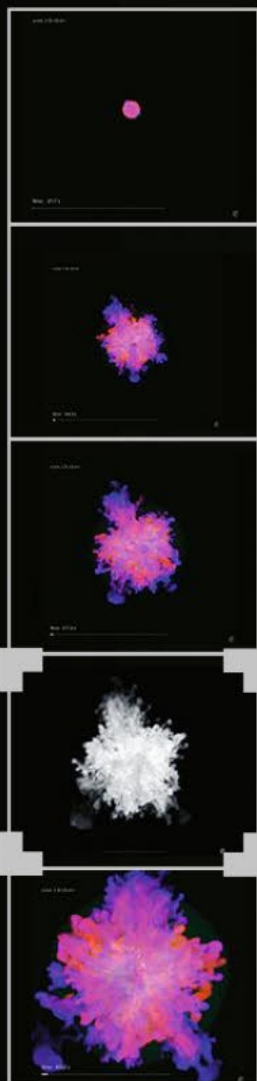




L'ONDE DE CHOC

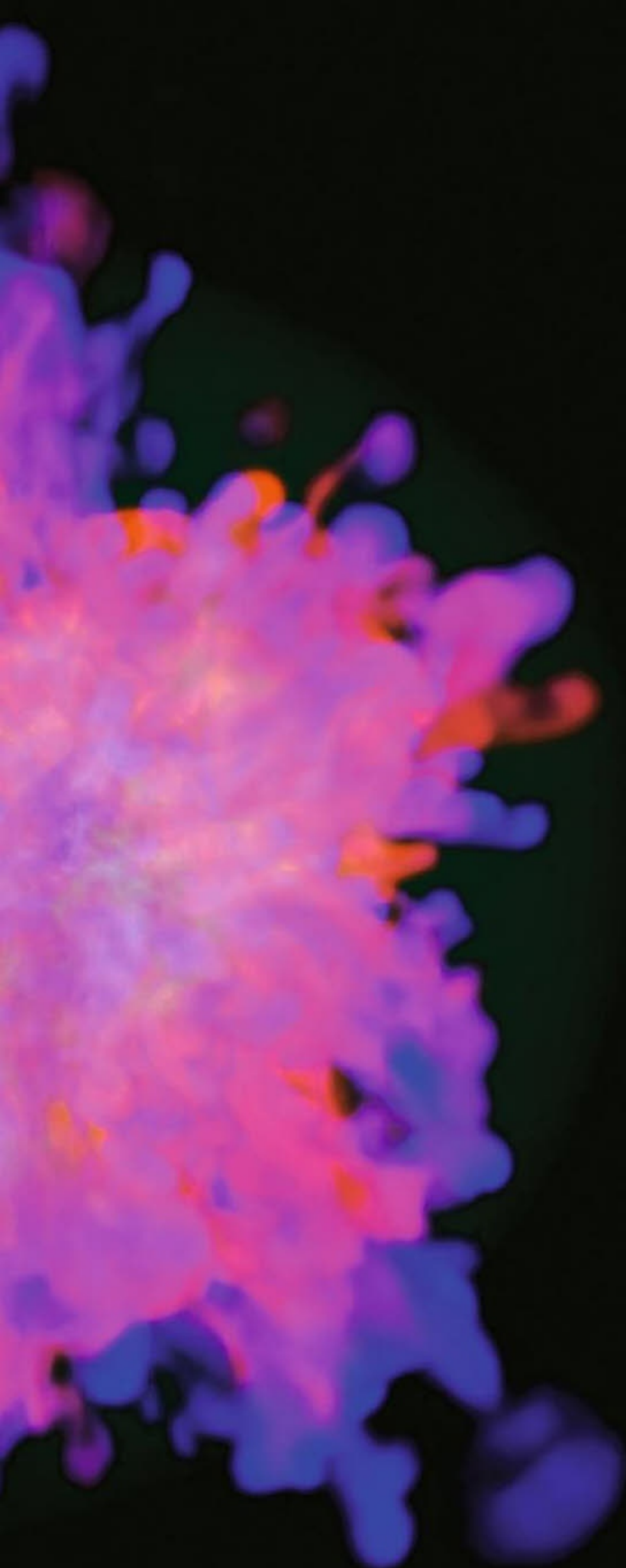
Pour Adam Burrows, qui a réalisé cette simulation à l'université américaine de Princeton, la clé de l'explosion d'une supernova se situe non pas en son cœur, mais dans le halo bleuté qui l'entoure. *"Lorsque le cœur de l'étoile se contracte, son noyau finit par devenir incompressible, détaille le chercheur. Il engendre alors une onde de choc qui se propage vers l'extérieur. Et dans son sillage naît une multitude de tourbillons, dont on avait jusqu'à négligé l'importance... simplement parce qu'ils étaient modélisés en deux dimensions."* En passant à la 3D, l'astronome observe en effet que ces tourbillons s'épanouissent. L'énergie de l'onde de choc est transférée à l'échelle de l'étoile par un phénomène dit de convection, et cette onde pourrait avoir assez de force pour désolidariser l'enveloppe gazeuse stellaire et la faire exploser. *"Le chauffage des neutrinos au cœur et la convection en amont de l'onde de choc : ces deux phénomènes peuvent jouer un rôle dans l'explosion, commente Thierry Foglizzo, spécialiste du sujet au Commissariat à l'énergie atomique. Reste à déterminer lequel des deux prédomine."*

MAX PLANCK INSTITUTE FOR ASTROPHYSICS



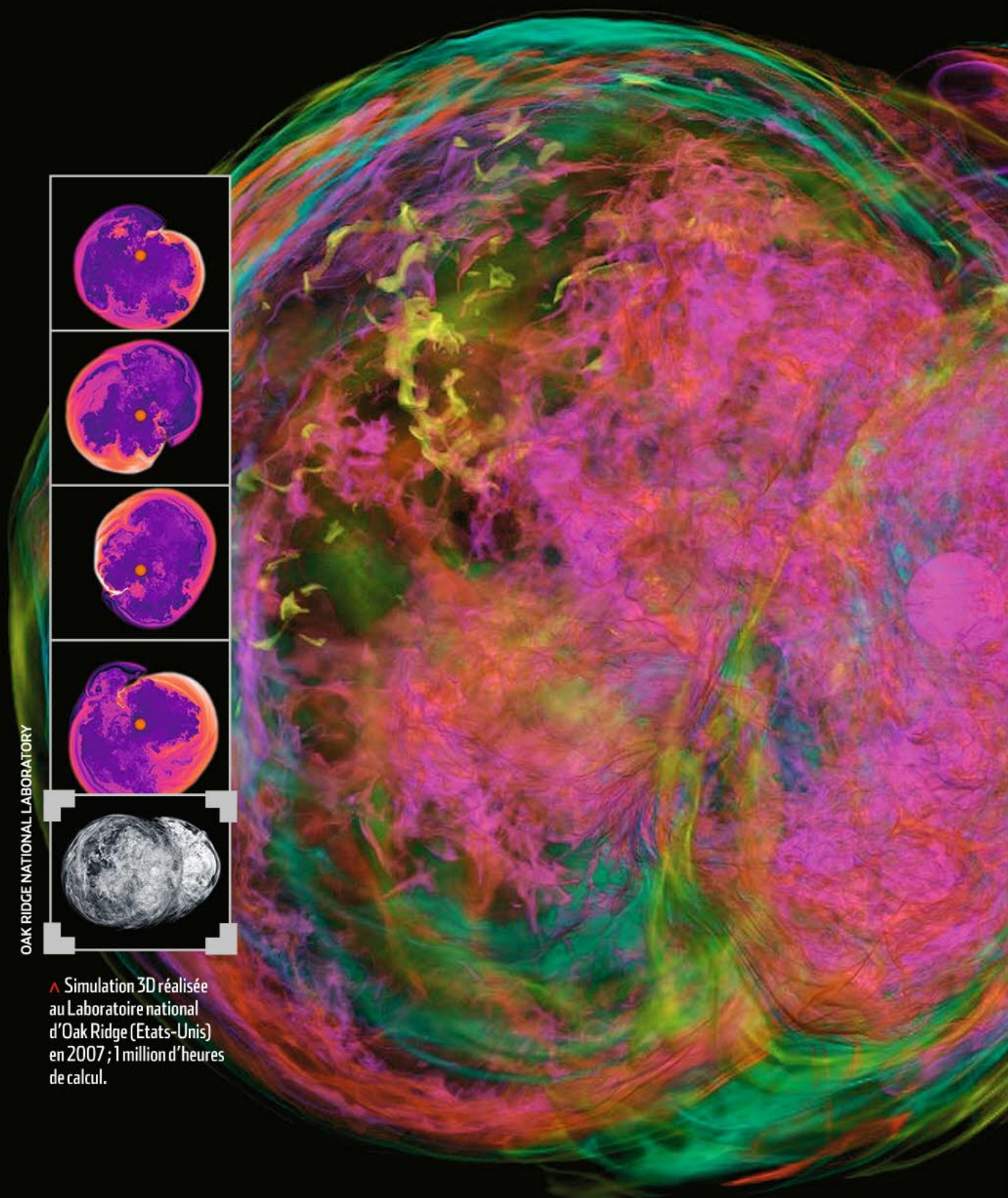
▲ Simulation 3D réalisée
à l'Institut Max-Planck
d'astrophysique en 2010 ;
1 million d'heures de calcul.





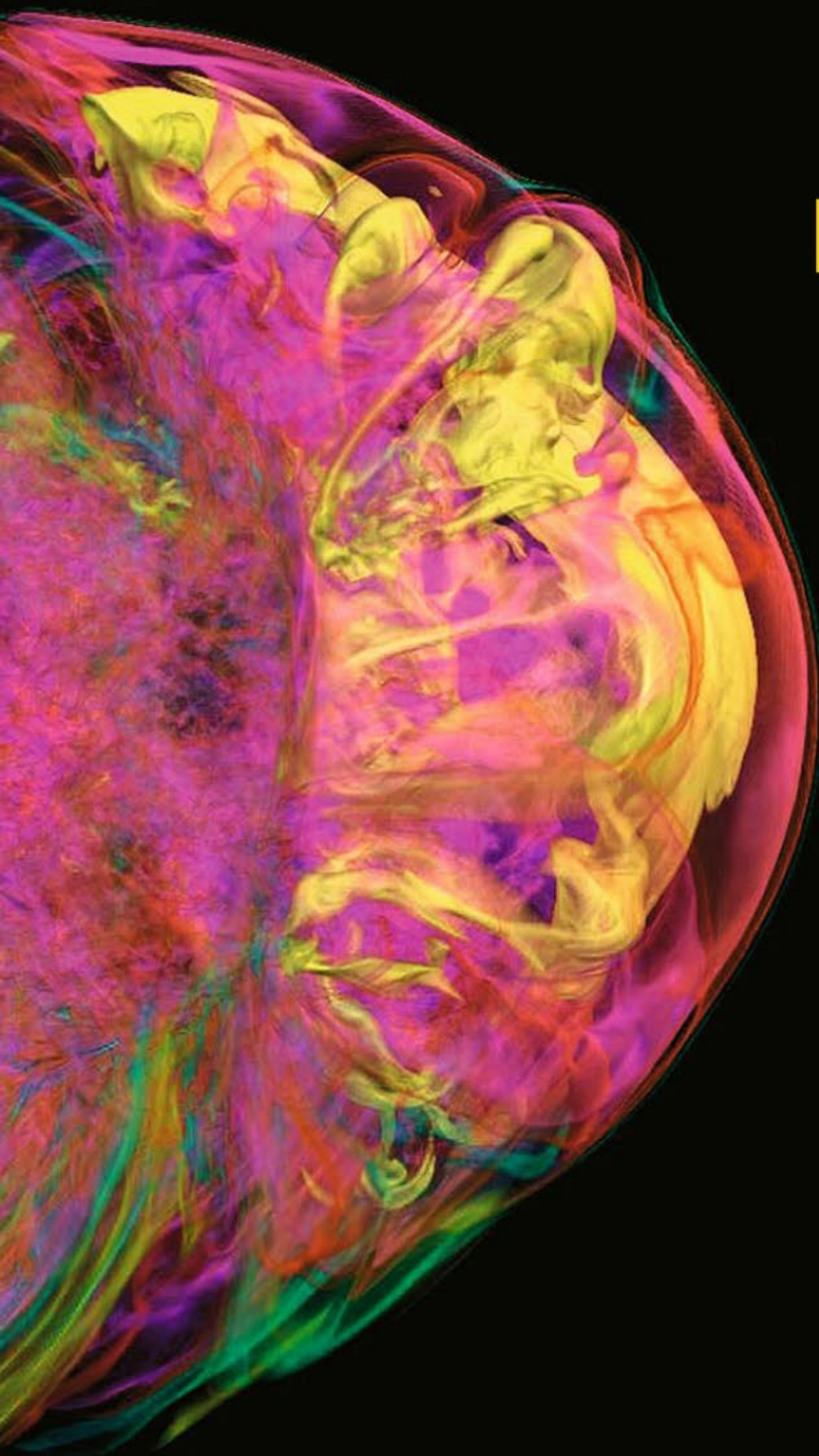
LA DÉTONATION

De gigantesques geysers de matière émergent de la surface de l'étoile à des milliers de kilomètres par seconde. Des panaches de plasma brûlant qui transportent de l'oxygène, du carbone, du nickel... Bref, de gigantesques fontaines qui déversent dans l'espace tous les éléments lourds de l'Univers, toute la matière première nécessaire à la formation des planètes. En suivant, pour la première fois en trois dimensions, l'évolution de l'étoile plusieurs heures après l'étincelle initiale insufflée par les neutrinos en son cœur, l'équipe de Hans-Thomas Janka, de l'Institut Max-Planck, a pu détailler le mélange des gaz dans les couches externes de l'astre, la manière dont se répartissent les différents atomes... et a retrouvé exactement les mêmes résultats que ceux mesurés par les télescopes. *"En trois dimensions, le mélange des gaz est plus efficace et plus rapide qu'en deux dimensions, explique le chercheur. Cela explique sans doute les écarts que nous trouvions auparavant."*



OAK RIDGE NATIONAL LABORATORY

▲ Simulation 3D réalisée
au Laboratoire national
d'Oak Ridge (Etats-Unis)
en 2007 ; 1 million d'heures
de calcul.



LA DISSIPATION

L'étoile a explosé et voici qu'il ne reste plus d'elle qu'un nuage de gaz froids avec, au centre, un cœur stellaire incroyablement dense, qui tourne sur lui-même en quelques dizaines ou centaines de milli-secondes : une étoile à neutrons. Avec leur modèle tout simple, qui consiste à faire chauffer un halo de gaz en trois dimensions, Antony Mezzacappa et son équipe du Laboratoire national d'Oak Ridge, aux Etats-Unis, ont trouvé la source de la rotation d'une étoile à neutrons : ce pourraient être les instabilités générées par l'effondrement du cœur, celles à l'origine de l'explosion cataclysmique de l'étoile, qui lui insuffleraient sa vitesse. Car la simulation le montre, il suffit d'un tout petit déséquilibre initial dans le chauffage des gaz pour donner naissance à des courants de matière à l'échelle de l'étoile, qui entraînent le cœur jusqu'à lui donner une vitesse faramineuse. *"Une étoile à neutrons peut tourner dans le sens inverse de celui de l'étoile qui lui a donné naissance"*, précise le chercheur.

DIABÈTE

LA PISTE VIRALE SE CONFIRME

Derrière le diabète de type 1 se cacherait un entérovirus qui accomplit le triste exploit de retourner le système immunitaire contre l'insuline. Entre génétique et mode de vie, la piste infectieuse n'en finit plus de porter ses fruits.

PAR ODILE CAPRONNIER

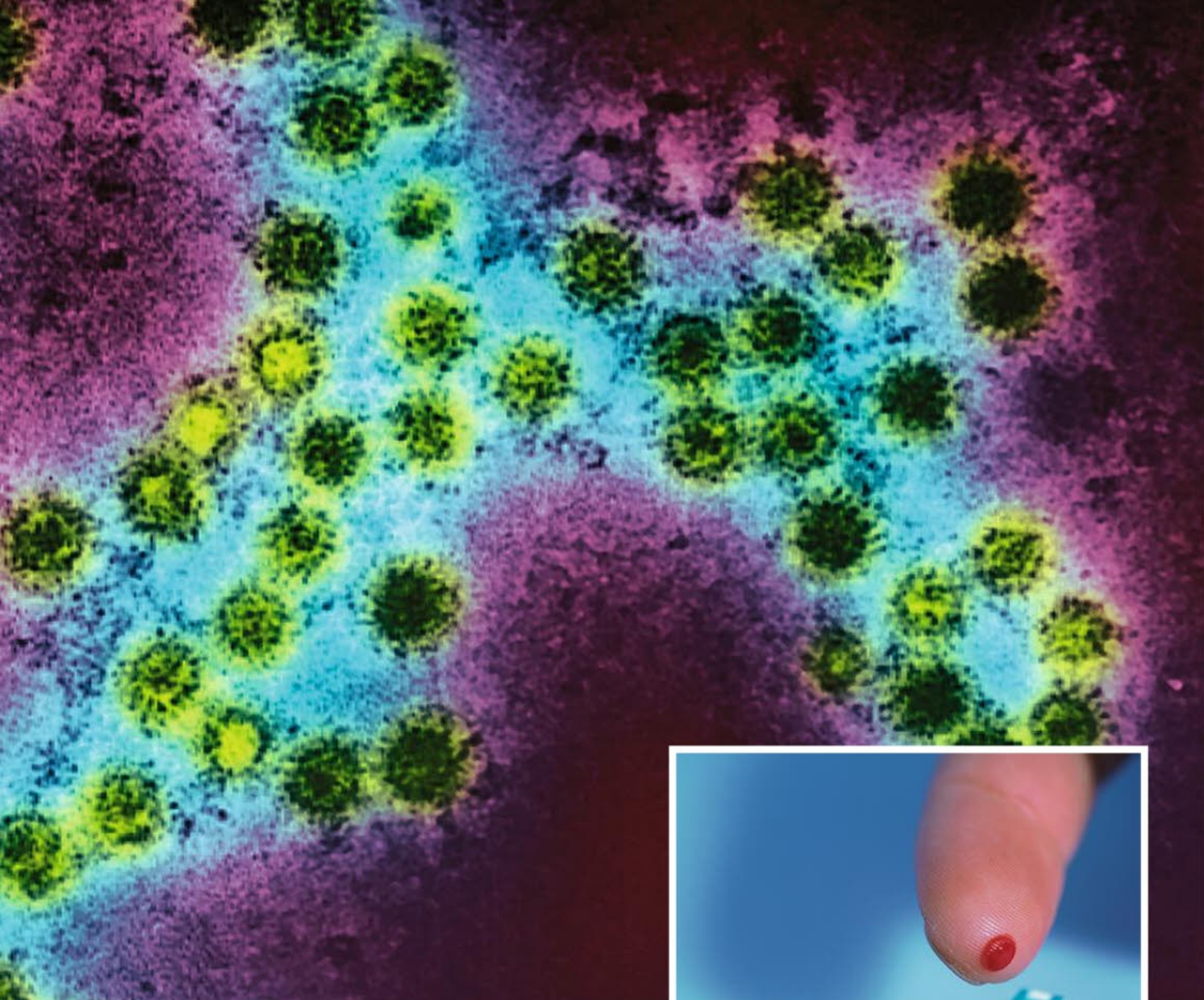
Un seul agent étranger peut-il faire changer de camp l'armée entière d'un pays ? Cette question ferait sourire n'importe quel stratège militaire. Mais les biologistes, eux, savent que si le théâtre de la guerre est le corps humain – qui met en présence deux camps : les cellules immunitaires et les micro-organismes étrangers –, alors un tel scénario est possible, et même déterminant... qui plus est pour l'une des maladies en forte progression dans les pays développés : le diabète de type 1. Didier Hober, profes-

seur de virologie (université Lille-II, CHRU de Lille), en est de plus en plus convaincu : le responsable de cette terrible pathologie, qui provoque la destruction du pancréas par les propres défenses immunitaires du malade, est en réalité... un virus. Un entérovirus plus exactement, qui accomplit l'exploit de retourner le système immunitaire contre l'insuline, l'hormone assurant le contrôle du taux de sucre dans le sang. Conséquence : sa production chute fortement, ce qui oblige les patients diabétiques à s'injecter de l'insuline de synthèse.

Il semble qu'une prédisposition génétique soit nécessaire pour que le retournement des défenses du corps contre lui-même – le “processus auto-immun” – se mette en place.

PAS SEULEMENT GÉNÉTIQUE

De fait, alors que la maladie touche 12 personnes sur 100 000 en France, la prévalence est de 6 sur 100 chez les frères ou sœurs d'un malade ; 30 à 40 sur 100 dans le cas de vrais jumeaux. Mais le terrain génétique n'explique pas tout. “Des facteurs environnementaux pourraient modifier l'ex-



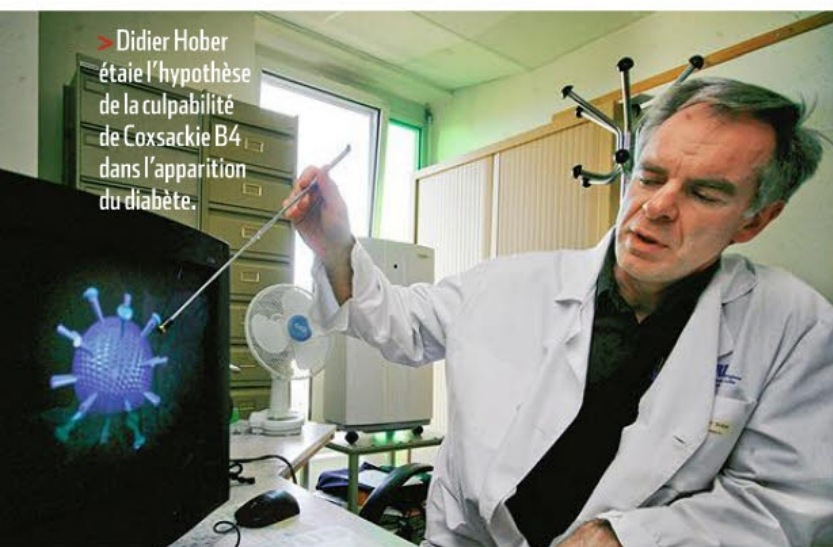
pression des gènes de susceptibilité au diabète, indique Didier Hober. Parmi eux, les entérovirus Coxsackie B, et notamment la souche B4, semblent avoir le plus fort potentiel diabéto-gène. "Si le chercheur n'hésite plus à placer le Coxsackie B4 au premier rang des accusés dans l'initiation du diabète, c'est que son équipe apporte de nouveaux éléments à charge. On savait déjà depuis 2000 que le virus Coxsackie B4 était capable d'infecter les cellules β – productrices de l'insuline dans le pancréas – en culture et d'y persister. L'équipe de Didier Hober

vient de découvrir que le virus bloque également le système de régénération de l'organe. Celui-là même qui assure en temps normal la relève des cellules β détruites. Pris dans un cercle destructeur, le pancréas attaqué n'a même plus les moyens de s'autoréparer. "En effet, nous avons montré que les cellules canalaire, chargées de générer les cellules β , sont aussi victimes de l'infection", explique Didier Hober.

Dès les années 1960, les biologistes ont découvert dans le sang des diabétiques de type 1 des traces d'infection indi-

▲ L'entérovirus Coxsackie B4 serait responsable de l'initiation du diabète de type 1, qui oblige les patients à contrôler leur glycémie et à s'injecter de l'insuline de synthèse.

rectes (des anticorps), puis directes (du matériel génétique viral), bien plus fréquemment que chez les personnes saines. Un constat confirmé à l'université d'Exeter (Royaume-Uni) en 2009. "Sur 72 enfants diabétiques, explique Sarah Richardson, chercheuse à l'école de médecine de l'université, une protéine spécifique →



→ des entérovirus a été mise en évidence chez 61 % d'entre eux, alors qu'elle était rarement présente dans le pancréas de sujets contrôles." Des indices concordants, renforcés par des travaux sur la souris, chez qui l'infection par Coxsackie B4 engendre un diabète auto-immun.

Restait à comprendre comment le virus réussit à transformer le pancréas en cible du système immunitaire. Car chez la majorité des individus – ceux qui n'ont pas les gènes de prédisposition au diabète de type 1 –, l'infection par un virus Coxsackie passe inaperçue, ou presque. Mais lorsque le terrain génétique est favorable

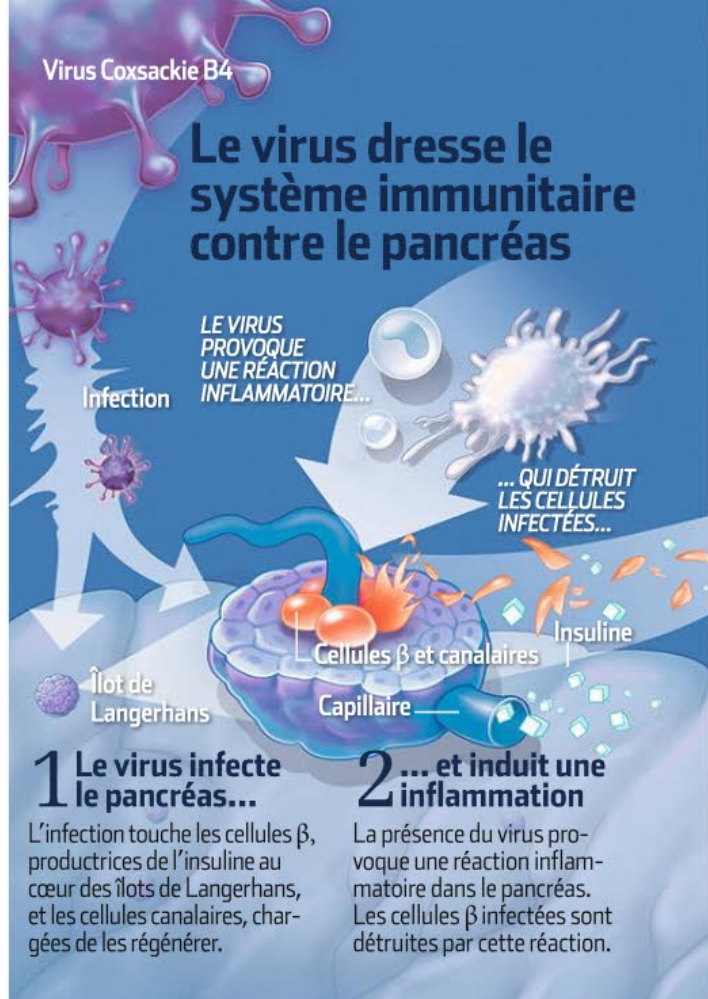
pondre de façon inappropriée." Mais par quel mécanisme?

Au début des années 2000, Didier Hober a l'intuition que la clé de l'énigme ne se trouve pas dans le pancréas, mais plutôt... dans le thymus. En effet, cet organe situé à la base du cou est responsable de la programmation de la tolérance immunitaire. Il "éduque" certains globules blancs, les lymphocytes T, à différencier les protéines produites par le corps des protéines microbiennes, pour ménager les premières et éliminer les secondes. Mais lorsque Coxsackie B4 s'invite dans le thymus, les défenseurs se font saboteurs, comme l'a montré l'équipe de

LORSQUE LE VIRUS COXSACKIE B4 S'INVITE DANS LE THYMUS, LES DÉFENSEURS SE FONT SABOTEURS

au développement du diabète, alors le processus infectieux est atypique. "Ce n'est pas le virus qui provoque les dommages dans les tissus, souligne Noël Morgan, responsable de recherche à l'université d'Exeter. Il semble que celui-ci se maintienne à faible niveau pendant de longues périodes, incitant le système immunitaire à ré-

Vincent Geenen, au Centre d'immuno-endocrinologie du CHU de Liège (Belgique). "Sur des fragments de thymus humain en culture, Coxsackie B4 perturbe la maturation des lymphocytes T, qui considèrent alors l'insuline comme un ennemi à combattre", explique Vincent Geenen. Ainsi, la tolérance à l'insuline serait rom-



pue au niveau central – dans le thymus – et aboutirait à la destruction des sites de production périphériques – les cellules β du pancréas – par les lymphocytes T... pour engendrer la destruction massive du pancréas (voir infographie).

Faut-il alors s'employer à éliminer Coxsackie B4 pour venir à bout du diabète de type 1? Pas si simple. Car, paradoxalement, les études épidémiologiques montrent que moins une population est infectée par cet entérovirus, plus elle est sujette à une augmentation de cette forme de diabète. Ainsi, les pays riches sont les plus touchés, bien que moins exposés aux entérovirus. La Finlande détient un triste record : avec 60 cas de diabète de type 1 pour 100 000 individus, soit six fois plus que sa voisine, la république russe de Carélie, bien que les profils génétiques de leurs populations soient similaires.

JARGON

Diabète type 1 :

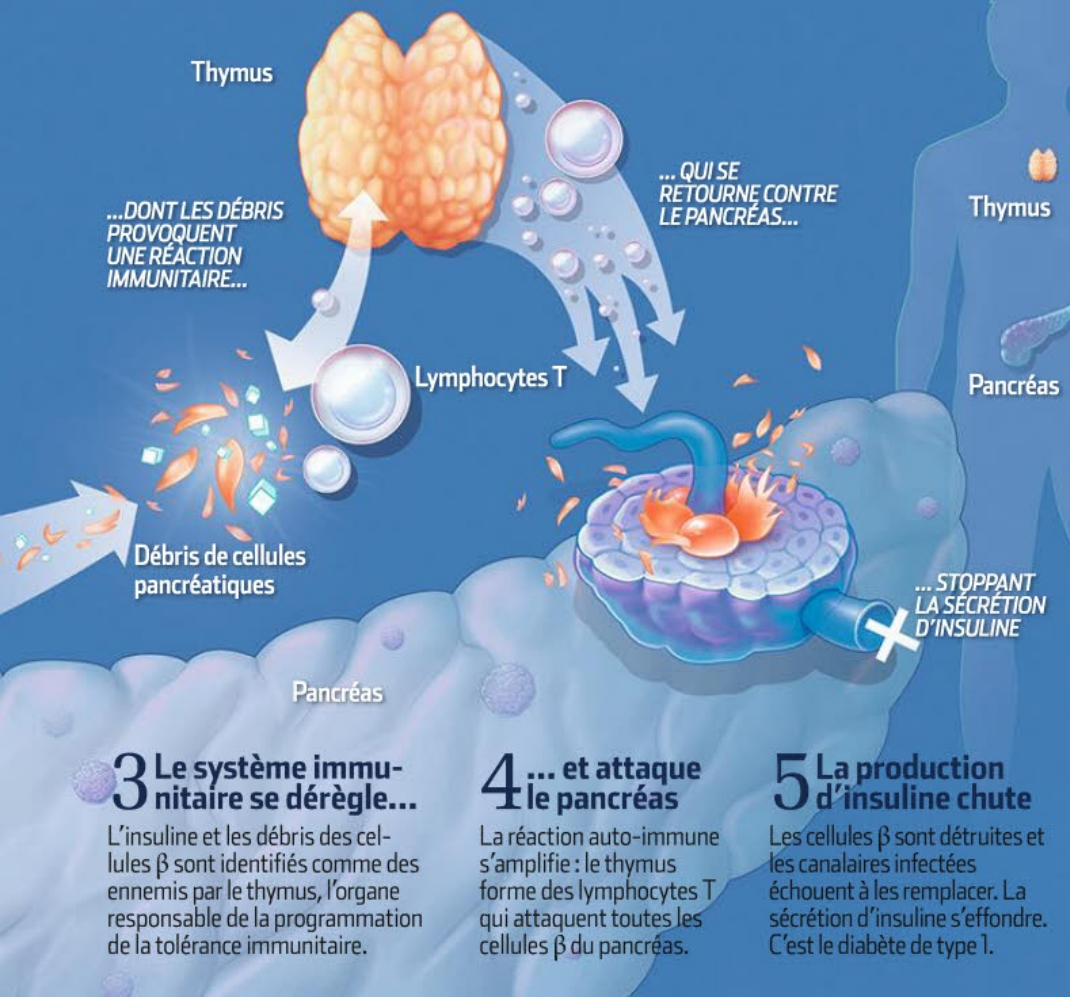
le système immunitaire s'attaque aux cellules du pancréas, qui synthétisent l'insuline, indispensable à la régulation du taux de sucre dans le sang.

Diabète type 2 :

la fatigue progressive du pancréas, après des années d'alimentation trop riche, diminue la production d'insuline.

Maladie auto-immune :

maladie causée par le retournement du système immunitaire contre les propres cellules du patient.



CES AUTRES MALADIES QUI CACHENT UN MICROBE

Contre toute attente, le diabète de type 1 n'est pas la seule maladie pour laquelle l'origine infectieuse est suspectée. Depuis dix ans, les chercheurs investiguent le monde microbien pour de nombreuses pathologies jusqu'ici uniquement imputées à nos gènes ou à nos modes de vie. C'est le cas de celles du cerveau (voir S&V n° 1133, p. 46) et des maladies du cœur et des vaisseaux – des bactéries logées dans nos gencives provoqueraient des inflammations délétères. Aussi inattendues soient-elles, et plus ou moins bien étayées, ces hypothèses doivent être explorées... si l'on ne veut pas passer à côté d'une grande découverte et des thérapies qui en découlent. L'exemple des ulcères gastro-intestinaux est édifiant : sans la ténacité de Robin Warren et Barry Marshall (université Kalgoorlie, Australie), le rôle d'*Helicobacter pylori* serait encore inconnu. Pendant des décennies, leur hypothèse fut ignorée. En 1985, face au scepticisme de ses pairs, Barry Marshall avale un cocktail de bactéries pour déclencher la maladie, avant de prendre des antibiotiques... Belle revanche, qui valut le prix Nobel aux deux chercheurs en 2005. C.T.

La clé de ce paradoxe ? Les effets parfois contre-productifs d'une hygiène trop poussée. Pour Heikki Hyöty, virologue à l'université de Tampere (Finlande), la situation est comparable à celle de la poliomyélite – causée par un autre entérovirus – un siècle en arrière.

TROP D'HYGIÈNE FRAGILISE

“Après les découvertes de Pasteur et la généralisation des mesures d'hygiène, la polio a moins circulé et les formes bénignes ont régressé. En revanche, les formes graves avec paralysie se sont multipliées. Curieusement, trop d'hygiène rendrait l'enfant plus vulnérable aux infections.” Cette hypothèse “hygiéniste” semble pertinente dans le cas du diabète. La pression d'exposition aux entérovirus s'amenuisant, les femmes enceintes transmettent moins d'anticorps à leur progéniture. Les trois pre-

mières années de vie sont alors très critiques. Encourager l'allaitement pour prolonger l'immunisation de l'enfant, favoriser l'établissement d'une flore intestinale protectrice par des recommandations nutritionnelles... les idées ne manquent pas pour tenter d'empêcher l'agent discret du diabète de réaliser son travail de sape.

Au-delà de cet exemple, “le potentiel des virus délétères pourrait dépasser le cadre des seules maladies infectieuses. Ils seraient des facteurs déclenchants, ou aggravants, dans des pathologies chroniques comme la sclérose en plaques ou la maladie d'Alzheimer”, souligne Didier Hober. Ou encore l'autisme (voir S&V n° 1133, p. 54). Un rôle insoupçonné jusqu'alors, qui ouvre de nouvelles pistes de traitement passant par l'arsenal thérapeutique mobilisé d'ordinaire contre les seules maladies infectieuses. ■

Évolution des espèces L'HYPOTHÈSE QUANTIQUE

*On croyait les lois de Darwin bien établies...
Mais voici que des biologistes découvrent
qu'elles s'appliqueraient différemment
selon l'échelle : pour les espèces de moins
de 1 mm, la sélection naturelle s'effacerait
au profit du hasard. Un effet quantique ?*

PAR ÉMILIE RAUSCHER

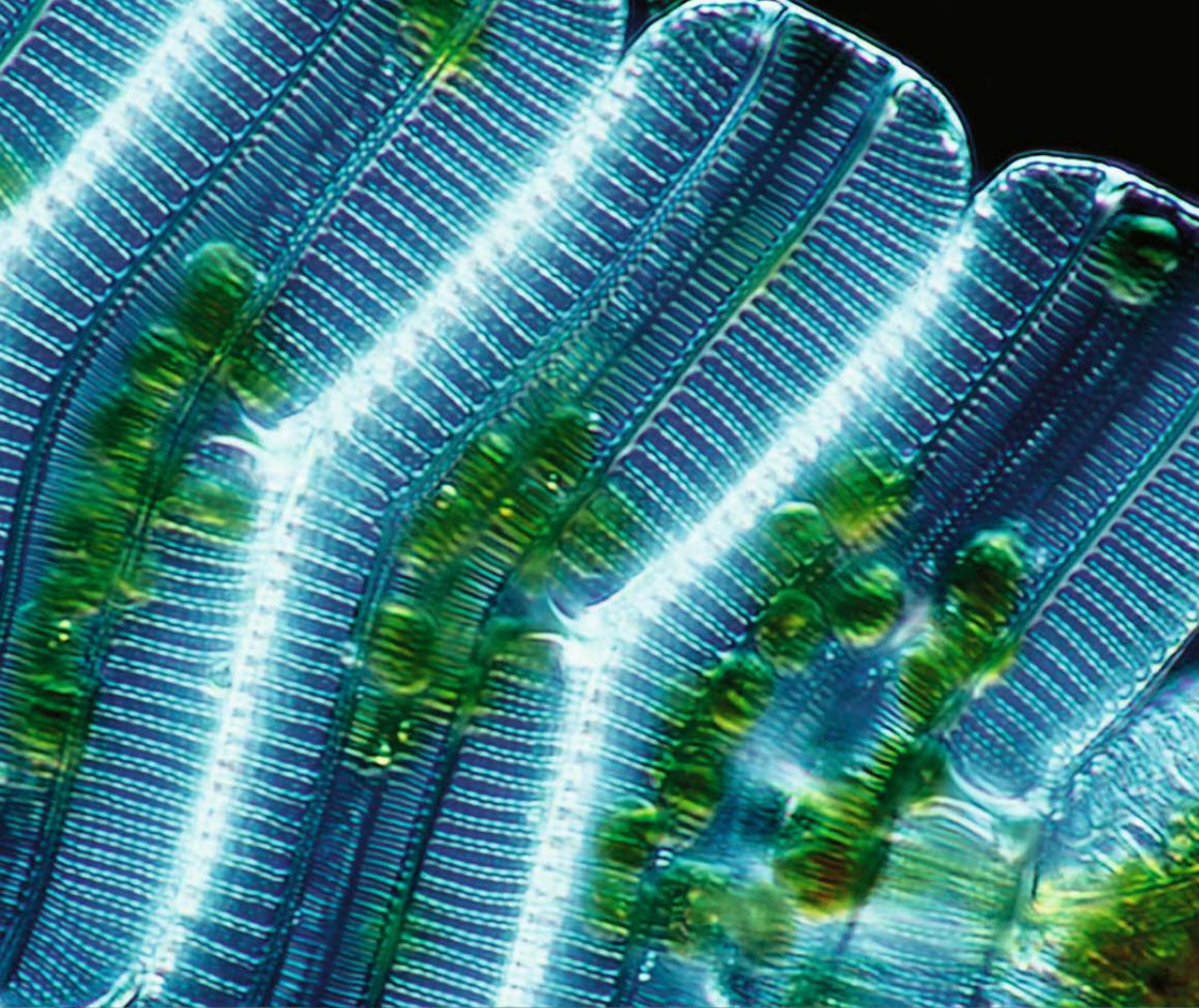
L'évolution – et ce n'est plus un scoop depuis 1859 et l'ouvrage fondateur du naturaliste anglais Charles Darwin – est la loi d'airain du vivant. Celle qui domine ses 4 milliards d'années d'histoire. Et la sélection naturelle est le juge et bourreau qui vient dans son sillage, guillotinant sans remords tout plaisantin. Sans exception, ni passe-droit. Vraiment ? Et si le couperet ne tombait pas partout de la même façon ? Et si les tout petits ne suivaient pas la même logique que les très grands... comme en physique ? Car si les planètes et les pommes suivent la dictature de

la physique classique, le monde de l'infiniment petit est, quant à lui, régi par la mécanique quantique, qui s'affranchit des concepts usuels de la matière et possède son lot de hasard. De la même façon, alors que girafes et pinsons subissent la tyrannie de la sélection naturelle au fil de l'évolution... qu'en est-il des milliards de microbes et êtres unicellulaires qui couvrent la planète ? Stupeur dans les labos : il semblerait qu'à leur échelle, l'emprise de la sélection naturelle se dissolve, là aussi, dans le hasard, et que les concepts du macromonde deviennent

caducs ! Alors... l'évolution serait-elle classique et darwinienne à grande échelle, mais "quantique" en deçà ?

Certes, le rapport entre physique des particules et évolution des rutabagas n'est pas immédiat. Et pourtant, les exemples se multiplient, qui révèlent que pour l'évolution, la taille, ça compte ! "J'aime assez cette analogie avec la physique quantique, acquiesce Axel Rossberg, physicien à l'Ecole des sciences biologiques de l'université Queen's de Belfast (Irlande). Le caractère aléatoire d'un phénomène est souvent plus





important pour les petits objets que pour les gros. On pourrait considérer la mécanique quantique comme une sorte de théorie des probabilités..."

UNE INTUITION "HÉRÉTIQUE"

L'omniprésence de l'aléatoire, c'est bien ce qui a intrigué le biologiste britannique John Bonner pendant des années, alors qu'il étudiait les amibes sociales (des organismes unicellulaires capables de se regrouper en une créature unique en cas de besoin), s'interrogeant sans fin devant leur paradoxale diversité. Ce fervent adepte

de Darwin avait conscience que *"l'idée que cette diversité puisse être expliquée par autre chose que la sélection naturelle s'apparente à de l'hérésie"*. Selon l'évolution classique, chacun de nos traits est le fruit d'une adaptation... ce qui explique les 10 000 espèces d'oiseaux, qui colonisent presque autant d'environnements différents. Mais John Bonner a sous les yeux la multitude de formes de ses microcobayes, qui mènent pourtant une vie strictement semblable, dans le même environnement. Difficile d'imaginer les raisons évolu-

tives de telles divergences... Comment expliquer classiquement cette infinie profusion? Les 50 000 espèces de radiolaires qui peuplent le zooplancton? Les 100 000 espèces de diatomées, ces microalgues présentes dans tous les milieux aquatiques? Ou les 270 000 espèces de foraminifères, des protozoaires marins? Où la sélection a-t-elle pu poser sa griffe?

Elle ne l'a pas posée, en déduit John Bonner, de plus en plus convaincu du rôle prépondérant du hasard derrière cette diversité. Jusqu'ici, l'influence du hasard était, →

▲ L'incroyable diversité des organismes microscopiques, comme les diatomées, microalgues aux 100 000 espèces, ne peut pas être expliquée par la sélection naturelle.

→ certes, acceptée dans le corpus classique: mutations des gènes, grande loterie de la reproduction, migrations de populations... Mais on l'estimait contenue: le hasard "proposait" des nouveautés, la sélection naturelle en disposait.

Rien à voir chez les tout petits. Tout semble dépendre de la longueur et de la complexité du développement, estime le biologiste. Ainsi, chez un éléphant, où la gestation dure deux ans, ponctuée de nombreuses étapes, le moindre changement hasardeux sera sanctionné s'il n'est pas compatible avec les étapes à suivre – ce qui est fort probable. Chez un micro-organisme, en revanche, à qui deux heures et une poignée d'étapes suffisent pour se reproduire, *"une mutation aléatoire peut se maintenir et bouleverser tant sa morphologie que son organisation"*, note le chercheur dans un ouvrage sur le sujet. *"La clef est le nombre d'étapes de développement, poursuit-il. Beaucoup, et le hasard est supprimé; peu, et ses effets explosent..."* Ce qui ne fait que renforcer l'analogie quantique: en physique aussi, c'est la complexité des inter-



▲ Si les poissons, comme tous les animaux complexes, suivent la théorie classique de l'évolution...

actions avec l'environnement qui fait tomber les objets d'un côté ou de l'autre de la frontière entre les deux mondes.

HORS DE TOUTE LOGIQUE

D'autres travaux viennent enrichir la réflexion, comme ceux d'Axel Rossberg. Là où John Bonner parle de taille, lui propose carrément un chiffre: 1 mm. Soit le seuil en dessous duquel disparaîtrait la notion d'espèce. Là encore, c'est un

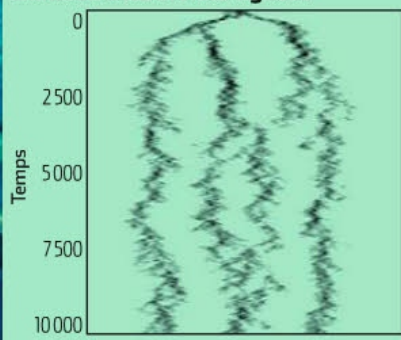
paradoxe dans la profusion déployée par la vie microscopique qui a titillé le physicien. La logique veut en effet que plus la diversité génétique d'une population est grande, plus elle compte d'espèces différentes... Oui, sauf que chez les micro-organismes, c'est exactement le contraire!

Pour élucider ce phénomène contre-intuitif, le chercheur s'est intéressé au taux de mutations des génomes et à ses effets sur la formation des espèces. L'étude d'une avalanche de données génétiques lui a permis de montrer que les petits gabarits sont les champions de la mutation. Il a ensuite analysé comment le taux de mutations influe sur l'évolution des espèces. Or, autant ses simulations redessinent une image d'arbre classique de l'évolution en cas de taux de mutations bas, signature des grands animaux complexes, autant elles gribouillent un fouillis aux branches indiscernables pour les simplets qui mutent à tour de bras (voir courbes). En d'autres termes, dans une

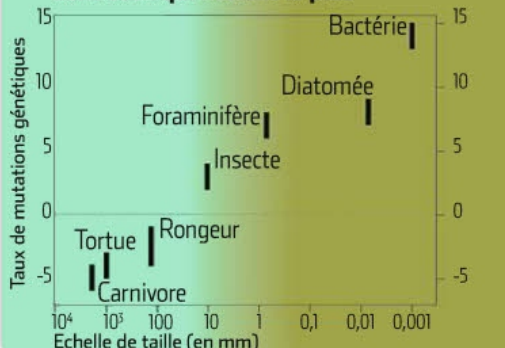
LES BACTÉRIES PRIVÉES D'ARBRE GÉNÉALOGIQUE

Si définir des lois dictant l'évolution des plantes et animaux microscopiques semble être une gageure, le problème est encore d'un autre niveau pour leurs confrères plus petits: les bactéries. Chez celles-ci, les notions même d'évolution et d'espèces ont déjà explosé. En effet, pour s'adapter, une bactérie est capable d'échanger des gènes avec sa voisine, qu'elle soit de sa famille ou pas; elle peut même ramasser de l'ADN "traînant" dans la nature, bactérien ou non. C'est ainsi qu'on observe des transferts d'information entre souches qui ne se sont jamais croisées – une sorte d'intrication quantique! Dessiner l'arbre généalogique d'une lignée bactérienne est donc une mission quasi impossible si l'on veut y intégrer tous les organismes qui y ont contribué. Bienvenue dans une évolution purement quantique...

L'arbre de l'évolution des grands animaux dessine des lignées



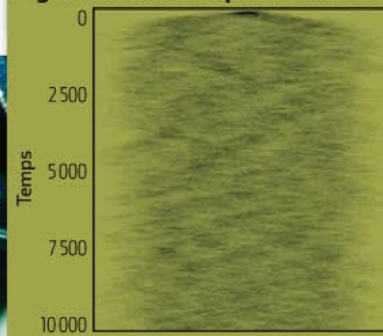
Les petits organismes sont ceux qui mutent le plus



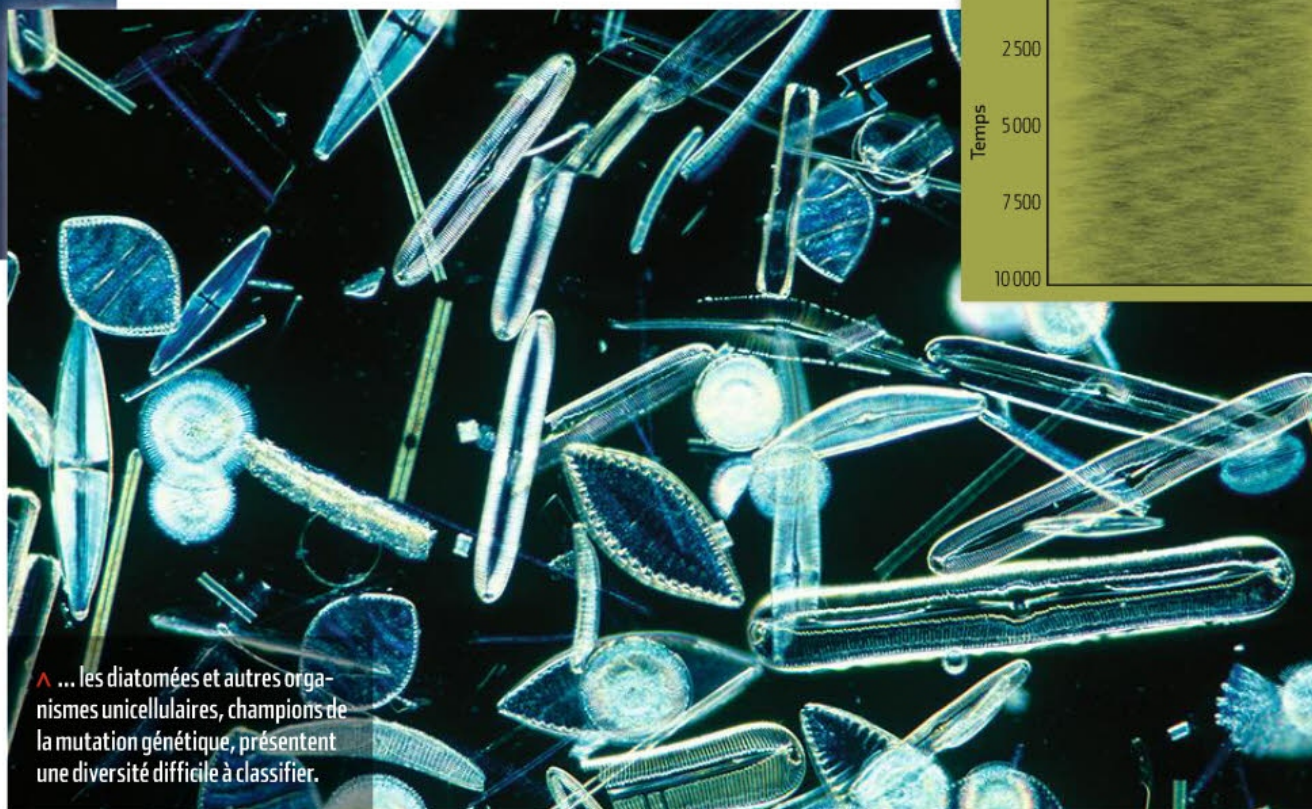
Les lois de Darwin défiées par les petits

Plus les animaux sont petits, plus ils mutent (voir ci-contre). Au point de séparer le monde du vivant en deux groupes. Pour les grands, l'arbre de l'évolution reste classique, avec des lignées et des espèces distinctes (à gauche). Mais en dessous de 1 mm, l'arbre devient flou : aucune espèce ne se distingue (à droite).

L'arbre de l'évolution des petits organismes est complètement flou



SOURCE : A. ROSENBERG ET AL.,
PROC. R. SOC. B, 2015



▲ ... les diatomées et autres organismes unicellulaires, champions de la mutation génétique, présentent une diversité difficile à classifier.

large population regroupant des légions de microbes, ce serait peine perdue de chercher à distinguer des espèces !

Le chercheur est le premier surpris par de tels résultats et ne demande qu'une chose : que ses confrères dépassent leur scepticisme logique pour les tester de leur côté. Lui-même continue de creuser le sujet : *"Je cherche toujours à décrire mathématiquement ces phénomènes observés chez les micro-organismes – ce qu'on pourrait appeler une 'équation de Schrödinger' de la formation*

des espèces..." Soit l'équation qui, en physique quantique, décrit l'évolution dans le temps du comportement d'une particule. *"Avec une telle équation, l'analogie n'en serait que plus forte",* s'amuse le chercheur.

Au final, que penser de cette analogie ? Est-ce un simple jeu de l'esprit ? Les chercheurs admettent volontiers ses limites... N'en demeure pas moins ces correspondances inattendues : apparition d'une frontière entre deux mondes, liée à la taille et à la complexité ; place incontournable du hasard ;

dissolution de concepts que l'on croyait incontournables... Et si adopter ce nouveau point de vue permettait de faire émerger de nouveaux secrets de la

EN DEÇÀ DU MILLIMÈTRE, C'EST LA NOTION MÊME D'ESPECE QUI DISPARAIT...

vie ? Pour les biologistes d'aujourd'hui comme pour les physiciens du début du XX^e siècle, le micromonde reste une *terra incognita*, où chaque découverte défie la compréhension. ■



PROJET "OPEN SOURCE ECOLOGY" ET SI ON REPENSAIT TOUTES





A force d'innovations, les machines inventent de nouveaux besoins au lieu de répondre à des besoins essentiels. Fort de ce constat, un collectif participatif a entrepris de revoir la conception de 50 machines indispensables "à la civilisation". Un vrai rêve d'ingénieur...

PAR ROMÁN IKONICOFF



LES MACHINES...

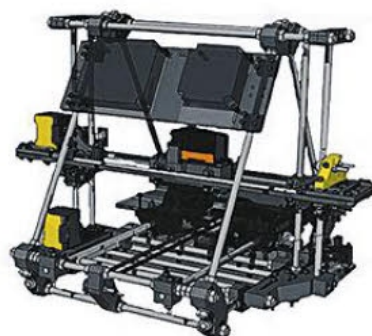


Un lecteur DVD ou Blu-ray? Une poussette à 3 ou 4 roues? Un SUV ou une berline? Les technologies progressent, et avec elles les possibilités de nos machines... autant que la difficulté à faire les bons choix. Or, nombre d'innovations semblent davantage inventer de nouveaux besoins que répondre à d'impérieuses nécessités. Qui ne s'est jamais entendu répondre à un vendeur insistant: "Je n'ai pas besoin de quelque chose d'aussi compliqué"? Qui ne s'est jamais demandé pourquoi un dispositif était aussi complexe, quand il était à l'évidence possible de faire bien plus simple? Cette profusion superfétatoire, Marcin Jakubowski, docteur en physique fondamentale reconverti en fermier, a décidé de la remettre en question... radicalement.

OPEN SOURCE ECOLOGY

"J'ai identifié 50 machines que nous pensons être nécessaires pour faire exister la civilisation", affirme-t-il carrément. Fanfaronnade? →

< Bétonnière, bras articulé, moissonneuse... Voici, selon le projet OSE, quelques-unes des machines indispensables au "démarrage de la civilisation".

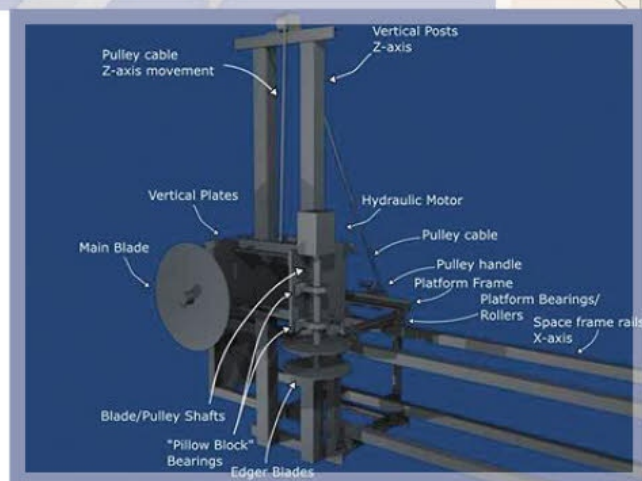
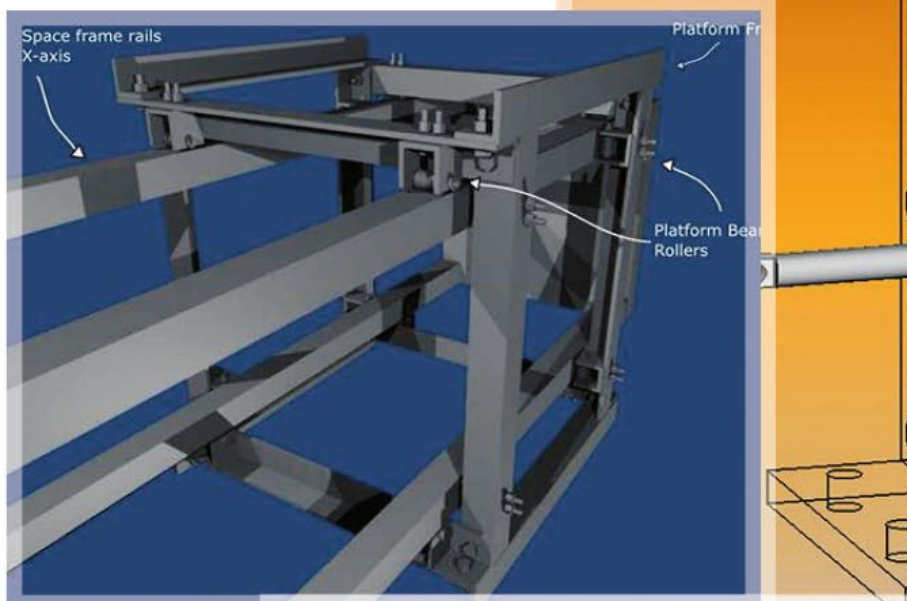


→ Pas le moins du monde. Depuis 2008, des centaines de jeunes ingénieurs et fermiers américains, européens, chinois et latino-américains ont rallié son projet baptisé "Open Source Ecology" (OSE). Leur objectif: concevoir une base optimale de machines qui permettrait à l'humanité de vivre avec juste ce qu'il faut de confort – un toit, de la nourriture, des moyens de transport, etc. –, mais à moindre coût et en symbiose avec l'environnement. Cette liste de machines essentielles, l'instigateur du projet la qualifie de "kit de démarrage de la civilisation". La recette: ne concevoir que des machines répondant à des besoins essentiels (construire une maison, cultiver un terrain, forer un puits, cuire, transporter...) et suffisamment simples pour être constructibles par tous, uniquement à l'aide de ressources locales. Entendons: des matériaux

DES MACHINES RÉPONDANT À DES BESOINS ESSENTIELS ET ASSEZ SIMPLES POUR ÊTRE CONSTRUITES PAR TOUS

courants recyclés (acier, PVC, bois...), des outils de base du bricoleur (perceuse, chalumeau...). Chaque machine doit par ailleurs être utile à la conception et au fonctionnement des autres. Pelleteuse, bulldozer, véhicule de forage reposent, par exemple, sur le même châssis et les mêmes systèmes de propulsion. La machine à souder et celle à découper les tubes et plaques d'acier sont, elles, indispensables à la construction des précédentes.

Certes, outre un scénario peu convaincant d'une civilisation en phase de redémarrage, mais disposant d'électricité, d'essence et de réseaux informatiques, le pari du collectif OSE fleure la perspective post-apocalyptique. Il n'en remporte pas moins, ces derniers mois, un franc succès aux Etats-Unis. Conférences



MICHEL PUECH

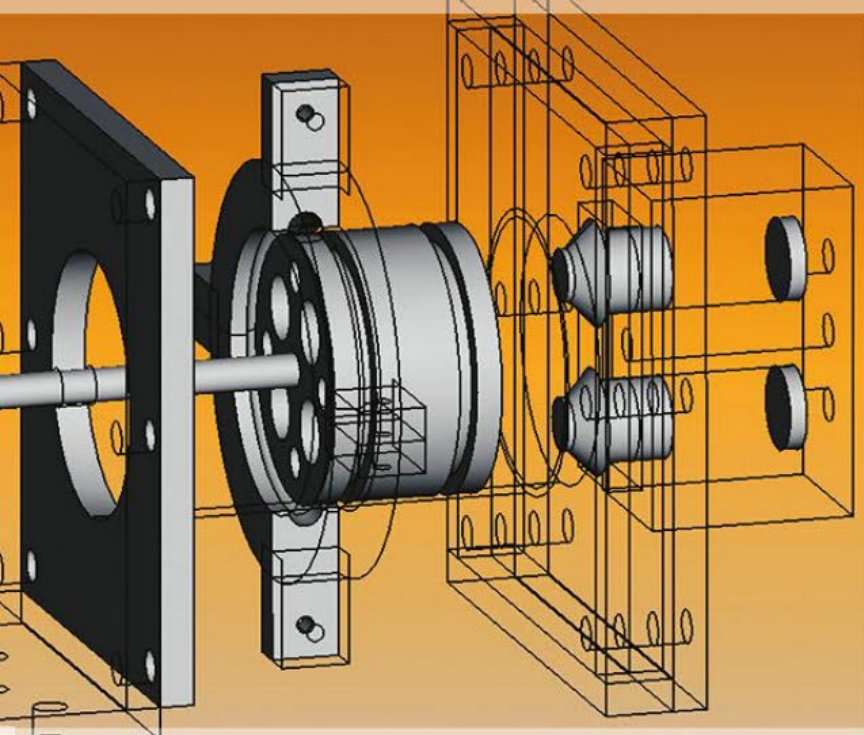
PHILOSOPHE DE LA TECHNOLOGIE,
UNIVERSITÉ PARIS-SORBONNE

La technologie évolue de façon imprévisible, créant un système qui n'est pas toujours optimal

internationales, articles, dons d'institutions... se succèdent. Pourquoi une telle aura? C'est que ce projet a deux atouts indéniables. D'abord, il est susceptible d'offrir aux pays en voie de développement un accès facilité, à moindre coût, à des machines indispensables. Ensuite, et surtout, même s'il y répond de manière radicale, il pose une question de fond, qui interpelle autant le milieu académique que l'industrie: serait-il possible de repenser et reconstruire notre technosystème actuel sur des bases plus simples et rationnelles?

Les technologues le savent bien: le développement des machines depuis au moins un siècle a suivi des routes tortueuses, aboutissant à la diffusion d'engins, certes fonctionnels, mais qui pourraient souvent être plus simples, moins chers, davantage compatibles entre eux...

Et pour cause: si la fonction d'une machine détermine en partie sa structure mécanique et électronique, l'imagination des concepteurs, les



modes, les goûts, la concurrence, le contexte économique, politique et écologique influencent aussi puissamment les choix technologiques. *“La technologie évolue de manière imprévisible, mais suivant un schéma itératif: apparition d’une innovation, puis sélection ou non par le marché. Cela crée un système adapté à nos besoins, mais pas nécessairement optimal”*, explique Michel Puech, philosophe de la technologie à l’université Paris-Sorbonne. En pratique, si les voitures avaient une forme aérodynamique optimale pour atténuer les frottements de l’air, elles ressembleraient toutes à des obus sur roues! Si c’est – justement – la forme de la voiture imaginée par le collectif OSE, l’immense majorité des constructeurs a, à l’évidence, fait d’autres choix.

D’IMPOSSIBLES RÈGLES UNIVERSELLES DE CONCEPTION

Il faut dire que la question de savoir ce qui sera “optimal” est, en réalité, fort épineuse. L’optimalité est certes une notion bien définie théoriquement – c’est la minimisation d’une fonction mathématique par un choix particulier des valeurs de ses variables. Mais sa transposition au monde matériel des machines ne l’est pas. Veut-on optimiser les rejets polluants? Il faudra rogner sur d’autres critères à optimiser (durée de vie, ergonomie, coûts...). Sans compter qu’il n’y a pas de seuil rigoureusement défini à ces différents optimaux: que signifie l’optimisation mathématique du coût d’une machine si ce n’est sa gratuité? Ou l’optimum écologique, si

◀ Ingénieurs et mécaniciens travaillent à définir, grâce à des programmes de conception usuels, le plus grand nombre possible de composants communs nécessaires à la fabrication de machines simplifiées.

REPÈRES

Pour concevoir une **machine** – dispositif doté d’outils transformant de l’énergie pour accomplir une action sur la matière – les ingénieurs disposent de logiciels qui permettent de construire virtuellement ladite machine en tenant compte des lois de la mécanique et de la thermodynamique, des contraintes environnementales, des ressources énergétiques, des conditions d’usage et de recyclage.

ce n’est une empreinte nulle? En ingénierie des machines, l’optimum est une notion relative qui dépend finalement d’un choix arbitraire: *“Les ingénieurs décrivent cette situation comme celle des compromis*, résumait M. Franssen, G.J. Lokhorst et I. van de Poel, du Centre pour l’éthique et la technologie (Pays-Bas), dans un article de synthèse de 2009. *En jugeant le mérite d’une option par rapport à d’autres, une performance relativement mauvaise pour un critère peut être contrebalancée par une relativement bonne performance dans un autre critère.*” Avec un pétrole bon marché et des matériaux chers, l’ingénieur cherchera à optimiser l’utilisation de matière; dans la situation inverse, ce sera le rendement énergétique qu’il voudra optimiser. Il serait impossible, suggèrent finalement les auteurs de l’article, de formuler une méthode permettant dans tous les cas rencontrés de satisfaire au mieux les critères liés à l’état du monde réel. Exit la formule théorique idéale de laquelle découlerait un écosystème technologique enfin rationnel.

L’absence de méthode générale n’a cependant jamais empêché les ingénieurs de chercher à unifier sous un formalisme mathématique certains aspects de la conception des machines. Ils y sont parvenus, en partie, s’agissant de la mécanique. En effet, chaque fonction accomplie par une machine peut être matérialisée par une infinité de mécanismes différents: la même fonction d’entraînement peut ainsi être réalisée par des moteurs électriques, à essence, à vapeur ou Diesel. Les ingénieurs ont donc longtemps cherché à isoler un nombre réduit de mécanismes élémentaires (celui de la bielle, de l’échappement, etc.) et de règles d’assemblage (un moteur peut ainsi être associé à un engrenage ou une courroie) qui permettrait de concevoir tous les types de fonctions. De la sorte, toutes les machines accomplissant une même fonction auraient un modèle “fonctionnel” unique, construit sur la base de ce système élémentaire. Une uniformisation qui rendrait moins aléatoires les choix des concepteurs. *“Dès la fin du XIX^e siècle, ingénieurs et philosophes ont tenté de dégager les caractéristiques essentielles, les éléments simples et constants qui formeraient une base rationnelle de l’ingénierie des machines”*, explique Michel Puech. L’un des premiers a été l’Allemand Franz Reuleaux. En 1875, cet ingénieur publie *Cinématique: les principes fondamentaux d’une théorie générale des* →

→ *machines*. Il vise à extraire des machines réelles des abstractions – les “chaînes cinématiques” – représentant des séquences élémentaires des mouvements mécaniques. Il en codifie plus de 800 sous forme symbolique. Son classement, l'équivalent pour la mécanique du tableau des éléments chimiques de Mendeleïev, permet de construire des mécanismes complexes de manière formelle grâce à des règles d'assemblage (moteur-courroie, bielle-manivelle, etc.).

Ce type de modèle est encore aujourd'hui au cœur des logiciels de design des machines. Ils présentent une bibliothèque de fonctions élémentaires (moteur, joint, transmission...) représentées graphiquement, qu'on assemble selon des règles du type de celles établies par Reuleaux, puis qu'on teste virtuellement. Les concepteurs participant au projet OSE en font d'ailleurs largement usage.

Reste qu'il n'y a pas de modèle fonctionnel unique. Pour preuve, la multiplication des logiciels de ce type, chacun proposant son jeu de fonctions et de règles. Comment, dès lors, réinventer un écosystème rationnel des machines ?



A défaut de trouver des règles universelles de conception, les technologues misent aujourd'hui sur la modélisation du raisonnement des ingénieurs : comment établissent-ils leurs compromis ? Une piste justifiée par le constat que, malgré son caractère arbitraire, la conception des machines d'un bureau d'études à un autre, d'une agence de design à une autre, partage un mode de pensée commun. En capter l'essence et modéliser les “raisonnements pratiques” des ingénieurs pourrait alors fournir un guide précieux pour repenser les bases technologiques. Un peu comme la formalisation du “raisonnement logique” via les méthodes de l'intelligence artificielle a déjà permis de développer des logiciels d'optimisation des emplois du temps ou des trajets.

ENTRE UTOPIE ET PRODUCTION DE MASSE

Pour son initiateur, le projet OSE va bien plus loin que la conception de 50 machines basiques. Marcin Jakubowski l'a investi d'une mission civilisatrice. Il y voit le moyen de “créer une économie qui optimise la production et la distribution, tout en assurant la régénération de l'environnement et la justice sociale... Une troisième option au-delà du capitalisme ou du socialisme... Un moyen de dépasser la pénurie artificielle de matière [afin] de produire une civilisation avancée”. Mais au-delà du discours, ce sont les actes qui ont valu au projet de

passer d'un budget nul en 2008 à 650 000 dollars de dons en 2012. Début septembre 2013, le collectif a construit et testé dans son atelier du Missouri, la Factor e Farm, et dans les ateliers de 5 pays, 67 prototypes de 16 machines parmi les 50 constituant la base minimale et rationnelle d'un écosystème technologique résumé à l'essentiel. Ces machines, “constructibles en six jours par deux personnes” (ou en deux jours par 6 personnes), ont un coût moyen 8 fois inférieur à celui de leurs homologues industriels.

UNE DIZAINE DE MACHINES DÉJÀ CONSTRUITES

Des chercheurs, comme Jesse Hughes de l'université de Bentley (Massachusetts), tentent par exemple de formaliser le “raisonnement pratique” grâce à la logique dite “non monotone”, où ce qui est vrai (ou démontré) dans un certain contexte ne l'est plus dans un autre. Mais ce type de recherche est encore balbutiant... et sans guère d'espoir d'aboutir à un tableau de Mendeleïev complet des machines, comme le laisse supposer l'Américain Walter Vincenti, ingénieur aéronautique et professeur à l'université Stanford, célèbre pour son article fondateur sur le raisonnement pratique des ingénieurs, *Ce que savent les ingénieurs et comment ils le savent* (1990). Vincenti constatait en 2007 que “parce que les progrès de la technologie de



Construire en mode minimaliste

A gauche, une pelleteuse puissante et confortable, conçue par un grand constructeur de machines (Volvo), et mise au point dans des usines faisant largement appel à des chaînes de fabrication automatisées. A droite, une pelleteuse simplifiée, plus rudimentaire, remplissant la même fonction, mais réduite au strict nécessaire et conçue pour être fabriquée avec des moyens à la portée d'un bricoleur motivé. C'est l'une des 50 machines retenues dans le projet OSE pour constituer une base technologique essentielle.



l'information ont été si rapides et que de nouvelles applications ont émergé avec une telle régularité, aucune recherche ni méthodologie globale de conception n'ont été établies". Autrement dit, les innovations de l'informatique elles-mêmes et les bouleversements qu'elles induisent dans la conception des machines, tous secteurs confondus, ont mis à mal le peu de

objectif minimaliste, est la clé des 50 machines listées et conçues, ou restant à concevoir. On trouve aujourd'hui dans la documentation du projet les plans achevés d'une dizaine d'engins... qui ont été construits en plusieurs exemplaires dans divers ateliers du réseau.

Ce que la science peine à modéliser se fait donc empiriquement, à cheval entre espace virtuel et monde matériel. *"L'OSE transpose au monde matériel de machines ce que l'Open Source a fait dans l'informatique : remplacer un système opaque et hypertrophié, les systèmes Microsoft Windows ou Oracle, par un système transparent, modifiable et plus modulaire, Linux ou OpenOffice, réalisant une décroissance de la complexité, des coûts, des hiérarchies",* conclut Michel Puech. L'idée qui a présidé au succès technique d'Internet – confier à des centaines de cerveaux le soin de remettre sans cesse sur l'établi le développement d'une technologie globale aux règles universelles –, en débordant dans le monde matériel, pourrait bien être celle qui guidera les évolutions à venir dans le monde des machines.

LE PROJET "OSE" EST EN TRAIN D'ÉTABLIR UNE BASE RATIONNELLE MINIMALISTE DE 50 MACHINES

modèles ébauchés jusqu'ici. Un aveu d'impuissance que rien ne dément aujourd'hui.

Mais l'absence d'un modèle théorique de conception rationalisée ne signifie pas que la conception d'une base rationnelle minimaliste de machines ne puisse être atteinte pratiquement. C'est précisément ce que montre, en actes, le projet OSE. La pratique pallie la théorie avec un atout maître, les réseaux, et une stratégie : l'ouverture au plus grand nombre. L'expérience croisée, *via* le Web, de centaines d'ingénieurs et mécaniciens de tous pays, visant tous le même

EN
SAVOIR
PLUS**

Le projet OSE est accessible en ligne : opensourceecology.org

PLEINE LUNE

ELLE NOUS EMPÊCHE BEL ET BIEN DE DORMIR

Malgré la croyance populaire, personne n'avait jamais prouvé que la pleine lune influe sur notre comportement. Jusqu'à ce que des chercheurs suisses démontrent qu'elle affecte notre sommeil. Et pas qu'un peu ! Une totale surprise...

PAR SIMON DEVOS

Le chercheur en est resté abasourdi. Il en a passé des heures, plongé dans ses statistiques, à la recherche de la moindre erreur cachée. "Nous étions tous perplexes à propos de nos résultats, admet-il aujourd'hui. Pour être franc, je n'attendais vraiment rien de cette étude." Mais avec ses collègues de l'université de Bâle, en Suisse, le chronobiologiste Christian Cajochen s'est finalement fait une raison et il a publié ses résultats, en bonne et due forme : aux alentours de la pleine lune, tous les 29 jours environ, notre sommeil se trouve raccourci d'une vingtaine de minutes, sa qualité est revue à la baisse et il ne s'agit

pas d'une simple impression. Nous subissons de plein fouet les effets de la pleine lune, un peu comme des loups-garous...

Il y a de quoi rester perplexe. Augmentation du nombre d'accouchements, agressivité des animaux, ou pics de violence, l'effet de la pleine lune fait l'objet de nombreuses croyances populaires ; mais celles-ci ont jusqu'ici été systématiquement rejetées par des études statistiques (voir encadré). Certes, il existe bien quelques rares animaux marins, coraux, mollusques et poissons, dont on sait qu'ils sont influencés par les phases de la lune : mâles et femelles se calent sur la lumière de la pleine lune pour synchro-





JARGON

La Lune est pleine lorsqu'elle se trouve à l'opposé du Soleil par rapport à la Terre. Elle nous apparaît entière car toute sa surface nous renvoie la lumière de l'astre du jour. La luminosité de nuit est donc maximale sur Terre. Notre planète est également attirée d'un côté et de l'autre par les deux astres, ce qui provoque l'apparition des grandes marées.

niser leurs émissions de gamètes, et ainsi maximiser les chances de fécondation. Mais ces cas restent isolés, et jusqu'à présent, personne n'avait pu prouver que les mammifères, ou même n'importe quel animal terrestre, soient influencés de la sorte. L'étude suisse apparaît donc comme une grande première scientifique.

PRESQUE PAR HASARD

A l'origine, Christian Cajochen et ses collègues étudiaient l'influence de l'âge et du sexe sur la qualité du sommeil. Entre 2000 et 2003, ils ont enregistré plusieurs paramètres associés au sommeil de 33 participants en laboratoire. Ce n'est que six ans plus tard, réunis un soir dans un bar, qu'ils décident de revenir sur leurs données pour les comparer avec le cycle lunaire. *"A plusieurs reprises, nous avons entendu parler de personnes souffrant de troubles du sommeil les soirs de pleine lune, raconte Christian Cajochen. Cela nous a amusés, et nous étions curieux de savoir si ce phénomène transparissait dans notre étude."* Et la corrélation n'a pas tardé à apparaître: *"A notre grande surprise, le sommeil de nos volontaires semblait tout à fait affecté par le cycle lunaire."*

Les chiffres parlent d'eux-mêmes (voir courbes pages suivantes). Le temps total de sommeil et le temps avant endormissement chez les volontaires étaient affectés les nuits où la lune est ronde. En moyenne, les participants mettaient cinq minutes de plus à s'endormir les nuits de pleine lune, et leur temps total de sommeil était réduit de vingt minutes. D'autre part, le taux de mélatonine, une hor- →

→ mone synthétisée en majorité la nuit par le cerveau, centrale dans la régulation de nos rythmes chronobiologiques, était largement plus bas à la pleine lune. Enfin, les électroencéphalogrammes montrent une baisse de 30 % de l'activité cérébrale à la pleine lune pour les ondes delta, émises par notre cerveau lors du sommeil profond, ce qui est caractéristique d'une mauvaise qualité du sommeil, d'ailleurs souvent signalée par les personnes étudiées elles-mêmes.

LA TOUTE PREMIÈRE ÉTUDE PHYSIOLOGIQUE

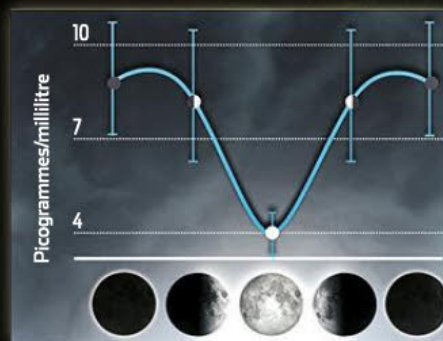
“ Cette étude a deux points forts, commente le biostatisticien Marc Lavielle. *Premièrement, il n'y a pas un, mais cinq paramètres du sommeil affectés les soirs de pleine lune, allant tous dans le même sens. Deuxièmement, ni les chercheurs ni les patients ne savaient à l'époque que l'étude porterait sur le cycle lunaire. Aucune influence humaine, volontaire ou non, n'a donc pu biaiser la récolte de données.* ”

Ces résultats sont en accord avec une autre étude, publiée en 2006, qui trouvait en moyenne dix-neuf minutes de sommeil en moins lorsque la lune est entière, mais qui n'était basée que sur des comptes ren-

Les nuits de pleine lune, notre sommeil

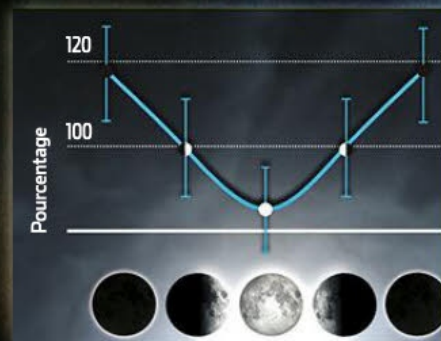
L'étude a révélé que la pleine lune influe sur cinq paramètres physiologiques du sommeil.

Le taux de mélatonine diminue



La mélatonine, hormone du sommeil, est sécrétée la nuit pour réguler les rythmes chronobiologiques. Les soirs de pleine lune, sa fabrication est réduite de moitié.

L'activité cérébrale delta baisse



Les ondes cérébrales delta émises la nuit correspondent à une phase de sommeil profond et récupérateur. Lorsque la lune est ronde, elles peuvent diminuer de 30 %.

dus. Ici, ce sont les véritables paramètres physiologiques qui ont été enregistrés. De quoi inciter à repasser à la loupe toutes les études réalisées sur le sommeil humain, afin d'y détecter une fois de plus les traces de rythme lunaire déroutant.

Reste à comprendre comment cela est possible ? Comment ce gros caillou orbitant au-dessus de nos têtes à tout de même près de 400 000 km pourrait-il bien influencer notre sommeil ? Le chercheur a longtemps cherché la réponse. “ Nous avons tout d'abord pensé à l'attrac-

tion gravitationnelle pour expliquer notre découverte, mais cela est vite apparu peu probable. ” En effet, si la différence d'attraction au cours du cycle lunaire affecte les marées des océans, elle n'agit que de façon très minime sur les petits volumes. Les lacs, par exemple, sont très peu perturbés. Il paraît donc peu probable que cette légère différence de gravitation puisse contrôler à ce point notre sommeil. La variation du champ magnétique terrestre pourrait-elle être à l'origine de ce phénomène ? Le géophysicien Gauthier Hulot a bien du mal à croire à cette hypothèse : “ La différence du champ magnétique de la Terre à la pleine lune est extrêmement faible au sol, à tel point que nous avons bien du mal à la mesurer. ” Il paraît donc impensable qu'elle soit assez puissante pour nous empêcher de dormir.

Pour Christian Cajochen et ses collègues, l'explication la plus probable est finalement la plus évidente, celle qui saute aux



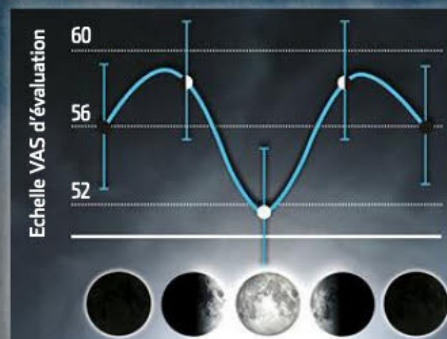
CHRISTIAN CAJOCHEN

CHRONOBIOLOGISTE,
UNIVERSITÉ DE BÂLE (SUISSE)

En guise d'explication, nous avons d'abord pensé à l'attraction gravitationnelle, mais cela est vite apparu peu probable

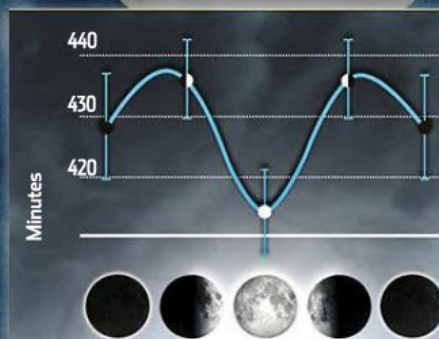
est 5 fois perturbé

La qualité du sommeil se dégrade



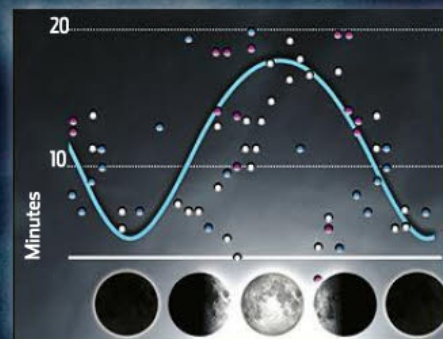
Dans l'ensemble, les volontaires ayant participé à l'étude ont estimé que leur sommeil était moins bon et moins récupérateur quand l'astre de la nuit est entier.

La durée du sommeil est réduite



Pour les participants, le temps total de sommeil était réduit d'une vingtaine de minutes à l'approche de la pleine lune.

Le temps d'endormissement s'allonge



Globalement, c'est en moyenne 5 minutes de plus qui ont été nécessaires pour l'endormissement lors des nuits de pleine lune.

SOURCES : HÔPITAL PSYCHIATRIQUE DE L'UNIVERSITÉ DE BÂLE

yeux : ce serait la lumière qui nous influence. L'astre sélène, réfléchissant directement la lumière du Soleil, accroît grandement la luminosité au sol lorsqu'elle est pleine. Le chercheur est pourtant formel : les participants n'étaient exposés à aucune lumière la nuit.

UN CYCLE CIRCALUNAIRE ?

“Enfermés dans un laboratoire sans fenêtre pendant plusieurs jours, il est impossible qu'ils aient été affectés par la lumière provenant de la lune, ou par un quelconque effet psychologique.” Mais l'hypothèse implique un autre rôle – évolutif celui-là – pour la lumière réfléchie par la Lune. La luminosité plus ou moins élevée aurait pu jouer un rôle dans le développement de nos ancêtres, et nous programmer pour que nous possédions un cycle calé sur les 29,5 jours du cycle lunaire. Rester éveillé une nuit plus lumineuse confère des avantages, notamment pour la chasse. Selon les chercheurs, le

cycle lunaire serait donc intégré dans notre cerveau depuis des temps ancestraux, et nous aurions, comme certains mollusques ou certains coraux, un cycle circalunaire qui régulerait notre sommeil.

L'explication convainc le neurobiologiste Malcolm von Schantz de l'université de Surrey (Grande-Bretagne) : *“L'existence d'une horloge interne qui suit le cycle solaire de 24 heures ne fait plus de doute. Il n'est pas inconcevable qu'il existe également une horloge lunaire en nous.”* A l'horloge circadienne, ce tic-tac bien connu des scientifiques qui régit l'alternance du jour et de la nuit, il faudrait donc maintenant annexer une horloge dite circalunaire, calée sur les phases de la lune, dont les ressorts biologiques restent à trouver. Il faut donc d'ores et déjà s'y préparer : le 19 octobre prochain, sans forcément nous changer en loup-garou, la pleine lune passera le plus clair de son temps à nous empêcher de dormir.

CELA RESTE À PROUVER...

L'influence de l'astre nocturne est une croyance très partagée. Une étude réalisée à l'hôpital de Louisville (Etats-Unis) a révélé que 80% des infirmières et 64% des médecins urgentistes étaient convaincus de son effet sur diverses admissions dans leurs services, en particulier sur les naissances. Pourtant, cette augmentation des naissances (+0,5% les soirs de pleine lune) est totalement indécélable pour un observateur local. Et les pics d'excitation supposée des animaux ? Le nombre d'admissions pour morsure ne varie pas. *Idem* pour les hospitalisations pour violences humaines. Reste que la police londonienne, pour rassurer la population, double ses effectifs les nuits où la lune est ronde.





1978

1983

1988

1993

1998

CLIMATOLOGIE,
ASTROPHYSIQUE,
MÉDECINE,
BOTANIQUE,
PALÉONTOLOGIE...

LES TRÉSORS DES ARCHIVES PERDUES

L'enregistrement des ondes sismiques de la Lune, le premier fossile d'oiseau vieux de 160 millions d'années, les vieilles photos satellite des pôles... Autant de données scientifiques oubliées dans la cave d'un musée ou sur l'étagère d'un laboratoire. Avant d'être aujourd'hui exhumées, révélant de nouveaux secrets. La chasse aux trésors des archives est (enfin) ouverte !

PAR VINCENT NOUYRIGAT,
AVEC ÉMILIE RAUSCHER ET MARION SPÉE

Q

Qu'y a-t-il de pire que l'indifférence? Quel destin plus cruel que celui de ces êtres ou de ces objets, autrefois célébrés et choyés et aujourd'hui délaissés? C'est pourtant ce scénario déchirant qui se joue chaque jour au fond des laboratoires, quand d'anciens résultats scientifiques, fruits de lourds calculs, d'expériences sans égales ou d'observations uniques, finissent par ne plus intéresser personne. Pourquoi? Les scientifiques sont passés à autre chose, ils se consacrent à la nouvelle expérience rutilante ou à la prochaine mission richement financée. Disquettes informatiques, tissus biologiques, fossiles, herbiers... toutes ces données "has been" sont expédiées à la cave, reléguées dans un tiroir anonyme ou une boîte à chaussures quelconque, souvent noyées dans un fatras indescriptible pour mieux être oubliées. Avec le temps, ces informations autrefois jugées passionnantes se dégradent, voire s'effacent. Un immense gâchis, une gabegie, un scandale!

DES REDÉCOUVERTES BOULEVERSAUTES...

Car aujourd'hui, la communauté scientifique est en train de réaliser – s'il n'est pas trop tard – que de ces archives à l'abandon peuvent encore jaillir de bouleversantes découvertes... Bouleversantes? Le mot n'est pas trop fort si l'on songe aux deux récents coups de tonnerre déclenchés dans l'actualité par le déterrement de trésors scientifiques enfouis. Deux avancées qui touchent rien moins qu'aux origines de la vie sur Terre et à la solidité de la théorie de la relativité générale d'Einstein. Car c'est bien en analysant de vieilles fioles issues des célèbres expériences de Stanley Miller sur la soupe primordiale, menées dans les années 1950, que des chercheurs américains ont pu appuyer le scénario d'une atmosphère volcanique propice à la naissance de molécules organiques (voir *S&V* n° 1125, p. 18). De même, ce sont les relevés les plus anciens de la trajectoire des sondes spatiales *Pioneer 1* et *2*, que l'on croyait inaccessibles, qui ont permis au physicien Slava Turyshev de démontrer que l'étrange phénomène de ralentissement de ces engins, connu sous →

RADIATIONS NUCLÉAIRES

LES ÉCHANTILLONS OUBLIÉS DE L'OURAL

L'histoire est digne des meilleurs romans d'espionnage sur fond de guerre froide... En 1949, en prévision d'attaques nucléaires américaines, l'URSS lance un vaste programme d'étude des effets biologiques provoqués par les radiations. Au cœur de l'Oural, dans un lieu tenu secret – le complexe militaire d'Ozyorsk –, les scientifiques soviétiques irradient, pendant quarante ans, souris, rats, chiens et même quelques singes.

Au total, plus de 120 000 animaux sont ainsi bombardés à la chaîne par tous les rayons imaginables (alpha, bêta, gamma) et parfois contraints d'ingérer les pires horreurs, comme du plutonium. Leurs tissus et organes sont ensuite prélevés, coupés en fines lamelles ou conservés en gros cubes dans du formol, pour être analysés dans le plus grand secret. Et puis... Et puis l'URSS s'est effondrée, le personnel du laboratoire n'a plus été payé, les couloirs se sont vidés et ces échantillons ont été laissés à l'abandon. "Presque personne ne connaissait cette

histoire dans la communauté scientifique", confie Soile Tapio, biologiste et spécialiste des radiations au centre Helmholtz de Munich (Allemagne). Lorsqu'elle l'apprend, en 2006, au détour d'une conversation, la chercheuse décide sans hésiter d'organiser une opération de sauvetage de ces tissus irradiés. Très vite, d'autres scienti-



fiques européens se joignent à elle, comme une évidence. Mais pourquoi? Quelle force étrange peut bien pousser des chercheurs à quitter leur bureau confortable pour se perdre au fin fond de l'Oural et tenter de pénétrer la cité d'Ozyorsk, toujours interdite aux étrangers? Simple: "Nous avons vraiment besoin de ces



« Ces prélèvements d'animaux, exposés aux pires radiations jusqu'à la dissolution de l'URSS, ont été retrouvés au fin fond de l'Oural.

échantillons, car les effets des radiations ionisantes sur les cellules, les organes ou les tissus nous posent aujourd'hui encore beaucoup de questions, répond Soile Tapio. Or, ajoute la biologiste, de nos jours, il est tout bonnement impossible de reproduire des expériences aussi massives et poussées,

tant pour des raisons éthiques que financières. » Février 2007. Après six mois de formalités administratives et un déplacement épique sous l'œil des cerbères peu commodes de la "cité interdite", Soile Tapio découvre, dans un recoin de l'Institut de biophysique, les échantillons tant attendus. Elle est horrifiée : "Certains tissus étaient en très mauvais état, stockés en vrac dans une salle aux vitres cassées – je vous laisse imaginer

les écarts thermiques dans cette région. Les lamelles de microscope, parfois brisées, étaient enfouies sous des sacs en plastique. »

Presque irrécupérable

Tout n'est pas perdu pour autant, car les méthodes modernes d'analyse moléculaire vont permettre d'exploiter ces échantillons dégradés et ce qu'il leur reste d'ADN ou d'ARN. Aujourd'hui remise en bon ordre, cette banque d'échantillons

commence à parler, et de récentes publications ravivent l'espoir de comprendre les mécanismes des pathologies déclenchées par les radiations, puis de trouver des parades ou d'identifier des seuils limites de doses – que ce soit dans le cadre de l'imagerie médicale ou à la suite d'une catastrophe comme celle de Fukushima. "Il était vraiment temps d'agir, car ces informations étaient sur le point de devenir irrécupérables", souffle Soile Tapio.

→ le nom “d’anomalie Pioneer”, n’était pas lié à une faille dans la théorie de gravitation, mais à l’émission de chaleur des moteurs (voir *S&V* n° 1128, p. 24). Or, derrière ces deux cas largement médiatisés, se cachent d’autres sauvetages tout aussi haletants, menés par une poignée d’aventuriers de l’échantillon perdu...

“Dans les grands instituts, les archives ont souvent été traitées comme la dernière roue du carrosse : ce sont les premières victimes des coupes budgétaires”, observe Marion Massol, du département archivage et diffusion du Centre informatique national de l’enseignement supérieur. Ce constat amer se vérifie spécialement dans l’archivage des données informatiques,

INSOUCIANCE, IGNORANCE... QUAND ELLES NE SONT PAS VICTIMES DE L'HISTOIRE

poursuit la chercheuse, *“lequel est non seulement coûteux, mais techniquement délicat, car il faut veiller, entre autres, aux formats informatiques, qui deviennent rapidement obsolètes, c’est-à-dire illisibles avec les outils disponibles. Cette préoccupation-là n’est qu’assez récente”*. Au vrai, ce n’est pas beaucoup mieux pour le matériel biologique, déplore Gayle Woloschak, “chasseuse d’échantillons” au centre de médecine génétique de l’université Northwestern (Etats-Unis) : *“S’il veut permettre ultérieurement toutes les analyses possibles, un tissu doit être congelé à -80 °C : c’est rarement l’option retenue, vu le budget que les institutions sont prêtes à consacrer au maintien de leurs bases de données... dont la mise en place avait pourtant mobilisé des sommes folles !”* En clair, les fabuleux

SÉISMES LUNAIRES

L'EXPÉRIENCE ABANDONNÉE D'APOLLO 17

A l’époque, l’expérience avait été vécue comme un échec cinglant. Il faut dire que son objectif initial ne manquait pas d’ambition : confirmer l’existence des ondes gravitationnelles prévues par la théorie de la relativité. Sauf que... Déployé le 12 décembre 1972 à la surface de la Lune par les astronautes d’Apollo 17, le précieux gravimètre dévolu à cette tâche n’a jamais fonctionné correctement. La faute à une sombre histoire de ressort mal conçu. Si bien que la Nasa traita avec le plus grand mépris les flots continus de données que l’instrument continua de lui envoyer jusqu’en 1977. A vrai dire, la célèbre agence ne les archiva même pas et ne chercha pas non plus à savoir si les autres options comprises dans cet appareil – comme

la détection d’ondes sismiques – étaient valides. Bref, cette petite boîte plantée sur le sol lunaire semblait condamnée à parler dans le vide, jusqu’à ce qu’en mars 1976, une bonne âme de l’Institut de géophysique de l’université du Texas (Etats-Unis) archive ses flux de signaux... Pour quelles raisons ? On se le demande, puisqu’aucun chercheur ne prit alors la peine de jeter un œil sur ces trains de courbes ! Mais cette insupportable indifférence longue de trente ans prit fin grâce à un thésard japonais – le Japon formant alors de grands projets d’exploration lunaire.

Nous sommes en 2007. Une longue enquête débute alors pour Taichi Kawamura, chargé par l’Agence d’exploration aérospatiale japonaise de

MARION MASSOL

DÉPARTEMENT ARCHIVAGE ET DIFFUSION
DU CENTRE INFORMATIQUE NATIONAL
DE L’ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR

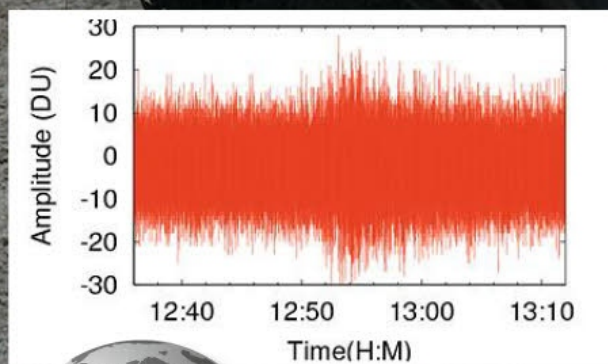
Les archives ont souvent été traitées comme la dernière roue du carrosse

édifices de données que les scientifiques ont patiemment édifiés, au prix de mille efforts, ne sont plus entretenus. Selon Franck Laloë, physicien à l’Ecole normale supérieure, *“il n’est pas très reluisant pour un directeur de laboratoire de dédier une part de son budget à la préservation de données anciennes, qui ne serviront peut-être que dans trente ans, à un lointain successeur”*.

D’autant qu’une certaine forme d’insouciance a longtemps régné dans les plus grands organismes scientifiques. Un exemple édifiant : la plupart des bandes magnétiques originales issues de missions de la Nasa dans les

A. FRANKWITZ - NASA
T. KAWAMURA - JAXA

Le gravimètre déployé sur la Lune en 1972 n'a pu confirmer l'existence des ondes gravitationnelles. Mais ce sont les ondes sismiques (ci-dessous), qu'il a enregistrées dans le plus grand désintérêt, qui pourraient aujourd'hui éclairer sur la formation de notre satellite.



défricher tous azimuts : *"Afin de comprendre ce que contenaient exactement toutes ces cassettes au format obsolète, il m'a fallu plonger dans toutes sortes de documents non officiels et de rapports anonymes, et aussi faire appel à un retraité très âgé qui avait travaillé sur cette mission."* Une fois les

données rendues lisibles et exploitables, l'étudiant s'aperçut que l'instrument s'était comporté comme un sismomètre lunaire tout ce qu'il y a de plus valable. Cela n'avait peut-être l'air de rien, mais Taichi Kawamura venait de découvrir un nouveau point de mesure des séismes sélènes,

complémentaire des quatre autres détecteurs déployés lors de précédentes missions Apollo. Voilà qui est inestimable, au vu des difficultés actuelles à retourner sur la Lune... Particulièrement bien placé, cet appareil oublié *"a déjà permis de localiser plus précisément les sources de séismes,*

et surtout de déceler des tremblements passés jusqu'ici inaperçus, dont l'un est situé sur la face cachée de la Lune, ce qui est une première", s'enthousiasme Taichi Kawamura. Au final, ces données exhumées devaient permettre de mieux comprendre la structure interne de notre satellite, et par là le scénario encore incertain de sa formation.

années 1960 et 1970 ont été effacées pour servir de support aux missions suivantes. Seules subsistent des copies plus ou moins complètes, tandis que le choix de sauver telle ou telle donnée a parfois été décidé à l'emporte-pièce.

LA VULNÉRABILITÉ DE L'INFORMATIQUE

"A l'époque, il n'y avait pas de plan d'archivage de nos missions spatiales, et ces données étaient sous la responsabilité du chercheur, reconnaît Dave Williams, du National Space Science Data Center, le centre d'archives de la Nasa basé dans le Maryland (Etats-Unis). Si bien que nous

ne savons pas très bien quel sort a été réservé, par exemple, aux bobines des missions Apollo."

Insouciance, court-termisme, ignorance... quand ce n'est pas l'Histoire qui s'en mêle, à l'image de l'effondrement de l'URSS, qui sema le chaos dans les laboratoires soviétiques. Quelles que soient les raisons de ces abandons, le temps qui passe n'arrange rien. Car tout se dégrade, particulièrement les supports informatiques sur lesquels sont logées quantité de mesures ou de photographies éloquentes. Franck Lalœe remarque *"qu'aux débuts de l'informatique triomphante, les fabricants avaient →*

FONTE DES PÔLES

LES IMAGES SATELLITE QU'ON N'ESPÉRAIT PLUS

Dans les années 1960, ces engins étaient célèbres. Premiers satellites météo de l'histoire, les *Nimbus 1*, 2 et 3 ont livré aux scientifiques de leur époque des montagnes d'informations : nébulosité, gradients de température, flux de radiations, sans oublier 200 000 images de la Terre, dont des photos saisissantes des pôles Nord et Sud situés sous leur trajectoire. Formidable ! Formidable, oui, mais ces données alimentaient essentiellement quelques météorologues fiévreux en mal de prévisions à court terme. La climatologie n'avait alors qu'une existence marginale. Résultat : après l'arrêt de *Nimbus 3*, le 25 septembre 1970, plus personne n'a jamais cherché à consulter ces

données ; les missions en cours recueillaient toute l'attention. C'est seulement au milieu des années 2000 qu'intervient un certain Dennis Wingo, l'un de ces entrepreneurs privés de l'espace dont les Etats-Unis ont le secret : *"Je cherchais les photos de la Lune prises dans les années 1960 par les sondes du programme Lunar Orbiter. Pour tenter de décrypter leurs bandes magnétiques antiques, j'étais entré en contact avec un technicien retraité de la Nasa qui vivait en Alaska. Or, lors de notre échange, il me dit se souvenir avoir déroulé des kilomètres de données des satellites Nimbus."* Vous avez dit *Nimbus* ? Dennis Wingo, en vieil habitué des archives de l'agence américaine, ne

se fait guère d'illusion sur le destin de ces bandes originales : sans doute ont-elles été effacées pour être ensuite réutilisées par de nouvelles missions. Mais avec un peu d'abnégation, et quelques complaisances au sein de la Nasa, l'archéologue spatial parvient à dénicher des copies de copies – en tout, 1700 lourdes bobines.

Un indicateur des plus précieux du climat

Tout s'accélère en 2008, lorsque David Gallaher, chercheur au Centre national américain de données sur la neige et la glace, entend parler de cette découverte dans les coursives d'une conférence de géophysique : *"J'ai soudain compris que, si elles*



pouvaient être récupérées, les images prises par les satellites Nimbus nous permettraient de reconstituer l'étendue des calottes arctique et antarctique dans les années 1960, c'est-à-dire l'un des indicateurs les plus précieux du climat de notre planète." Ces archives oubliées sont une aubaine pour les climatologues, une occasion à ne rater sous aucun prétexte quand on sait que les scientifiques

→ *omis de signaler cet inconvénient*... Autant les tissus biologiques sont relativement stables, pour peu qu'ils soient enrobés dans un cocon protecteur de paraffine ou de formol, autant les bandes magnétiques sont le siège de virulentes réactions chimiques : leur support en acétate de cellulose s'acidifie et s'autodétruit en libérant une odeur de vinaigre, tandis que les oxydes métalliques qui forment les bits d'information se délitent, pour entraver ensuite les têtes de lecture et masquer le signal. *"Si vous laissez un livre ou un rapport sur une étagère, vous êtes à*

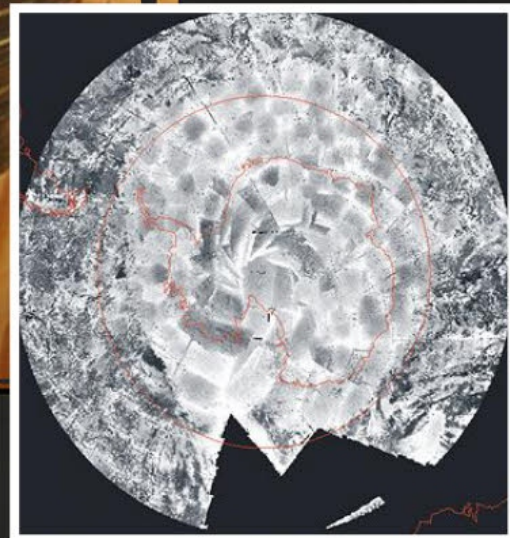
peu près sûr de retrouver la même chaîne de caractères dix ans plus tard, alors que les données numériques, elles, peuvent subitement devenir illisibles", résume Marion Massol.

DES DISPARITIONS À VITESSE GRAND V

Or, la disparition de ces données ou de ces échantillons n'est que rarement anodine. Elle est parfois même dramatique ! Songez aux climatologues, qui vivent dans l'obsession de réunir les plus longues séries historiques de paramètres terrestres afin de bâtir leurs modèles,



Les images prises par les satellites Nimbus jusqu'en 1970 (ci-dessous, de l'Arctique), redécouvertes et nettoyées depuis les années 2000, commencent à livrer leurs secrets aux climatologues.



ne disposaient jusqu'alors d'aucune prise de vue exploitable des pôles avant l'année 1978. Ils se contentaient en effet d'une poignée de rapports parcellaires envoyés depuis les stations ou les bateaux croisant dans ces régions hostiles... Lorsque le décryptage des bobines des Nimbus débuta, l'émotion fut à son comble : "Les premières images qui sont apparues nous ont

émerveillés, se souvient Dennis Wingo. Seulement, il y avait un problème : pour gagner de la place lors des différentes recopies des bobines, les techniciens de l'époque ont écrasé certaines données de calibrage essentielles à l'exploitation scientifique, telles que l'orbite du satellite."

Après plusieurs années de reconstitutions laborieuses et de corrections

d'erreurs parasites, les scientifiques ont enfin livré leurs premiers résultats : "Nous venons de découvrir qu'en septembre 1964, l'étendue de la glace antarctique battait tous les records mesurés jusqu'ici, relève David Gallaher. Ces données jusqu'ici inaccessibles vont maintenant permettre aux scientifiques de tester leurs

modèles climatiques." Mieux : en plus des contours de la glace de mer, ce sont aussi des bilans radiatifs de la Terre des années 1960 qui s'offrent désormais à la climatologie. Une manne qu'aucun chercheur n'aurait osé espérer.

informations qu'il n'est évidemment pas possible de reproduire – le système Terre ne vivra jamais une journée identique. Comme l'explique Philippe Lognonné, de l'Institut de physique du globe de Paris, "en sciences de la Terre, nous manipulons des événements rares, par exemple un séisme dans une région peu active, dont il ne faudrait pas perdre la trace".

On comprend aussi que, faute de pouvoir retourner facilement sur la Lune, la crainte de perdre les résultats scientifiques des missions Apollo commence à mobiliser. Tout comme

la disparition à vitesse grand V des espèces animales et végétales devrait justifier les plus grandes précautions de la part des écologues. D'après Benoît Fontaine, chercheur au Muséum national d'histoire naturelle, "les archives des musées regorgent de biodiversité disparue, impossible à retrouver sur le terrain : à l'image de ce coléoptère des Alpes italiennes, dont on s'est rendu compte que la vallée d'origine avait été noyée par un barrage, ou de cette essence d'arbre de Madagascar (*Peluqueria*) dont la forêt a été entièrement défrichée". Certes, ce →

→ matériel scientifique ancien n'a pas forcément échappé à la sagacité des chercheurs de l'époque concernée; des publications l'ont mis au-devant de la scène. Mais l'intérêt de ces reliques est de pouvoir y jeter un nouveau regard. Un regard différent, plus précis et plus puissant. De fait, *"en trente ans, les puissances de calcul ont accompli des progrès inimaginables, et de nouvelles méthodes d'analyse du signal sont ap-*

L'INTÉRÊT DE CES RELIQUES EST DE POUVOIR Y JETER UN REGARD PLUS PRÉCIS

parues, témoigne le géophysicien Philippe Lognonné. Récemment, en réétudiant d'anciennes bobines de la Nasa, notre équipe a revu largement à la baisse l'estimation de l'épaisseur de la croûte lunaire: une trentaine de kilomètres contre une soixantaine, comme nous l'avons cru pendant vingt ans!" De son côté, Gayle Woloschak assure que *"les moyens actuels permettent de poser de nouvelles questions aux vieux échantillons biologiques, jusqu'à interroger leur micro-ARN"*. Les techniques modernes d'analyse et les nouvelles connaissances permettent des réinterprétations salutaires, voire la détection d'erreurs ou de fraudes. Autre intérêt de ce voyage dans le passé, d'anciennes pistes de recherches inabouties peuvent trouver là une seconde chance. L'Institut national de la santé américain vient de lancer un programme incitant les scientifiques à réétudier les 95 % de molécules médicamenteuses ayant échoué à leur mise sur le marché pour une pathologie bien précise; car peut-être auront-elles une efficacité redoutable contre d'autres maladies?

L'impérieuse nécessité de récupérer ces données délaissées fait aujourd'hui consensus. Mais l'heure n'est plus aux beaux discours, alors que cette manne moisit, se dégrade, s'efface; ce sont des trésors en péril! Les archéologues de ces archives scientifiques doivent engager une course



▲ Les quelque huit millions d'espèces de plantes (ci-contre, un *Bromelia ananas*) du Grand Herbarium de Paris, reclassées dans de nouveaux casiers en fonction de leur lien de parenté, permettent d'étudier leur histoire passée et à venir.



contre la montre, doublée d'un véritable parcours d'obstacles. D'abord, retrouver les échantillons, les fossiles ou les bobines informatiques perdus dans on ne sait quel laboratoire, musée, bibliothèque ou appartement de chercheur retraité. Puis, essayer de les décrypter.

RECOURIR AUX CHERCHEURS DE L'ÉPOQUE

Encore faut-il pouvoir les remettre en état – une cuisson à feu doux (45 °C) parvient à restaurer certaines bandes magnétiques. Dans le cas de données informatiques, il faut retrouver l'appareil de lecture des microfiches, microfilms, bandes magnétiques à 7 ou 9 pistes, qu'évidemment plus aucun industriel ne produit depuis trois décennies... *"En général, cela nécessite de retrouver les techniciens familiers de ces formats ésoériques, c'est-à-dire des informaticiens de l'époque"*, témoigne Richard



CLASSIFICATION DES ESPÈCES

L'HERBIER DU MUSÉUM ÉPARPILLÉ FAÇON PUZZLE

Et si c'était dans les casiers de l'herbier national, au Muséum d'histoire naturelle de Paris, que se cachaient les plus grandes découvertes botaniques à venir ? Témoin de la diversité des plantes de la planète à travers le temps, cet herbier est l'un des deux plus importants du monde, avec celui de Kew, en Angleterre.

Lorsqu'en 1935, le bâtiment destiné à l'accueillir est achevé, les échantillons rapportés des expéditions du XIX^e siècle ou issus de dons de collectionneurs désireux d'enrichir le patrimoine du Muséum le remplissent déjà de moitié. Au fil des ans, les nouveaux spécimens continuent d'arriver et la place manque sérieusement.

La rénovation de l'herbier, décidée en 2005, est maintenant quasiment achevée... Une opération d'envergure, puisqu'il a fallu trier, aérer, reclasser 8 millions de spécimens, dont près d'un million qui attendaient jusque-là dans des cartons.

Six millions de plantes numérisées

L'accessibilité à l'herbier devient même virtuelle, avec près de 6 millions d'espèces numérisées. "Les informations étaient là, mais inaccessibles", avoue Germinal Rouhan, chargé de la conservation des fougères et lycophytes au Muséum. "C'est un formidable gain de temps pour quiconque voudra fouiller dans les

155 000 nouveaux casiers", ajoute son collègue Denis Lamy, responsable du groupe Histoire de la botanique. Après l'euphorie du lancement du projet, puis l'inquiétude et la panique à la vue de l'énorme chantier, c'est maintenant un nouveau souffle qui touche le personnel de l'herbier. Pour Germinal Rouhan, il ne faut donc pas se fier à l'apparence morte de ces plantes séchées : "Grâce à cette rénovation, on pourra découvrir de nouvelles espèces ou bien mieux comprendre l'histoire d'une région en identifiant dans l'herbier des plantes que l'on ne trouve pas ou plus sur le terrain", s'enthousiasme le spécialiste. M.S.

Moréno, responsable du traitement d'images et de données au Centre national des études spatiales (Cern). Mais la chasse aux trésors ne s'arrête pas là. En effet, les défricheurs d'archives ne peuvent se passer des conseils des scientifiques ayant produit ces anciennes données, lesquels atteignent eux aussi un âge avancé et... disparaissent les uns après les autres. Eux seuls conservent un vague souvenir du contenu scientifique des fichiers et, surtout, complète Philippe Lognonné, "ils sont les derniers porteurs de l'histoire officielle d'une mission, c'est-à-dire des petits ratés techniques de tel ou tel appareil qui apparaissent rarement dans les rapports officiels". Avant de reprendre, admiratif : "Il ne faut pas se tromper. Ceux qui se consacrent à cette quête pendant des mois, voire des années, font un vrai sacrifice au service de la communauté scientifique." Jeune chercheur obstiné, amateur

REPÈRE

Si les caves des muséums regorgent de biodiversité inconnue, c'est aussi en raison du manque de **taxonomistes** (qui décrivent et classent les organismes vivants). De fait, il s'écoule en moyenne vingt et un ans entre le prélèvement dans la nature d'une espèce animale ou végétale et sa description officielle.

passionné, chercheur retraité : on trouve de tout chez ces sauveteurs héroïques... qui ne font cependant pas oublier les montagnes de données égarées, définitivement fichues ou en grand danger de disparition. Ad Stoffelen, spécialiste des images satellite, en a régulièrement des sueurs froides quand il voit le nombre d'informations qu'il ne parvient plus à retrouver : "Je travaille sur une base de données constituant l'unique preuve directe du changement de comportement des vents à la surface des océans au cours de la décennie 1990, et notre temps est compté si l'on veut pouvoir en sauvegarder l'essentiel." Les urgences ne manquent pas, soupire Dennis Wingo, touche-à-tout qui s'est fait une spécialité du décryptage des vieilles bobines de la Nasa : "La plupart des données spatiales américaines, européennes et russes courent un grand risque, et je suis particulièrement inquiet du sort →

→ des données acquises par les Soviétiques sur la Lune." Fort heureusement, le temps de l'insouciance et de l'indifférence pour les archives semble révolu.

Cette prise de conscience, qui remonte au début des années 2000, est née d'une angoisse : celle de la disparition des informations numériques, à l'heure où les expériences de l'accélérateur de particules LHC génèrent chaque année 25 millions de gigaoctets de données. Tandis que les formats informatiques se renouvellent à un rythme toujours aussi étourdissant et que les supports modernes n'offrent aucune garantie de durabilité... "Des tests menés sur les CD-roms au Laboratoire national d'essais

LA CRAINTE D'UNE AMNÉSIE NUMÉRIQUE A ENCOURAGÉ DE GRANDES INITIATIVES

montrent que les dégradations interviennent en seulement quelques années, selon des processus chimiques difficiles à anticiper", fait remarquer Marion Massol. Cette crainte d'une amnésie numérique a encouragé le lancement de grandes initiatives, comme l'Alliance for Permanent Access, qui rassemble, entre autres, le Cern et l'Agence spatiale européenne. L'objectif affiché : rendre toutes ces données accessibles, compréhensibles et faciles à retrouver pendant au moins cinquante ans... De telle sorte que les scientifiques du futur n'auront pas à jouer dans l'urgence aux archéologues de service.

QUELLES INFORMATIONS CONSERVER ?

Les moyens pour y parvenir font l'objet de réflexions nourries. Cela passe par la recherche du format informatique le plus universel, alors que les chercheurs de tel ou tel sous-domaine développent souvent leur propre recette informatique, à peine lisible. Plusieurs pistes ont aussi été lancées dans la quête d'un support pérenne, qu'il s'agisse d'un CD-rom en verre trempé conçu pour tenir un siècle, ou de ces travaux exploratoires sur l'utilisation des fabuleuses propriétés de stockage d'informations de la molécule d'ADN (voir S&V n° 1143, p. 92).

La question du choix des informations à préserver à tout prix se pose également. Selon Marion Massol, "il n'est pas nécessaire de garder les résultats de simples simulations numériques

EVOLUTION DES DINOSAURES

LE FOSSILE D'OISEAU

CLANDESTIN

Il trônait, tout beau quoiqu'encore partiellement pris dans la roche sédimentaire, dans les réserves du musée du parc géologique chinois de Yizhou... quand le paléontologue belge Pascal Godefroit est tombé dessus en 2012 : un fossile mi-oiseau, mi-dinosaure, acheté à un "dealer" local qui s'était lui-même fourni auprès d'un paysan de la province de Liaoning... Le chercheur n'en a pas cru ses yeux, et a fait dégager précautionneusement le précieux spécimen, vieux de 160 millions d'années – pile le moment de l'apparition des premiers oiseaux au sein de la vaste famille des dinosaures à plume ! Ses petites dents pointues et son squelette magnifiquement conservé en firent d'emblée une pièce maîtresse dans la compré-

hension de ce moment clé de l'évolution, au milieu d'une forêt d'autres encore à découvrir... Et pas lors de fouilles classiques, en pleine nature, mais dans les stocks des musées qui collectent à tour de bras, sans prendre forcément le temps d'étudier sérieusement, et encore moins de publier leur dernière acquisition. En Chine, où une multitude de musées régionaux sont en train d'éclore, combien de fossiles inestimables sont ainsi exposés à la vue de tous – et attendent qui pourra comprendre leur valeur !

Clin d'œil à cette recherche d'un autre genre : le nouveau venu a été baptisé *Aurornis xui*, "xui" en hommage au réputé paléontologue chinois Xing Xu, qui mène dans son pays une véritable croisade pour faire



PHILIPPE LOGNONNÉ

INSTITUT DE PHYSIQUE
DU GLOBE DE PARIS

Ceux qui se consacrent à cette quête font un vrai sacrifice au service de la science



<Témoignage unique du passage du dinosaure à plume à l'oiseau, ce fossile parfaitement conservé dormait dans les réserves d'un musée chinois.

entrer dans le giron de la science les centaines de pièces exhumées au gré des labours des paysans.

Arraché au marché noir

Il s'est forgé un large réseau pour arracher les spécimens les plus intéressants au marché noir et à l'anonymat des collections privées.

Lui-même parcourt les petits musées, et c'est dans celui de Shandong Tianyu, en 2009, qu'il fait l'une de ses plus belles trouvailles : un petit dinosaure à plumes inconnu, cousin d'Archæoptéryx, et qui, après analyse, menace la position de plus vieil oiseau de son illustre

parent ! Il sera nommé *Xiaotingia zhengi*. Au total, Xing Xu a déjà identifié plus de soixante nouvelles espèces de dinosaures à plume : un record mondial ! Surtout ces travaux révolutionnent notre connaissance de ces espèces emblématiques et de l'origine des

oiseaux. Et le filon n'est pas près de se tarir. Selon Pascal Godefroit, rien que dans le musée de Yizhou, des centaines de spécimens attendent d'être étudiés. Sans parler des grandes institutions occidentales, qui regorgent elles aussi d'ossements déterrés par le passé et mal étiquetés... E.R.

qui pourront être rééditées assez facilement à l'avenir". Alors que les observations impossibles à reproduire sont à choyer. "Nous portons une attention particulière aux missions dites 'orphelines', relève Richard Moréno. Celles dont les données ne sont plus consultées aujourd'hui, mais dont on se dit que, dans quinze ou vingt ans, elles pourraient acquérir une valeur inestimable – y compris les cahiers annotés des chercheurs. Nous venons, par exemple, de traiter les relevés de la sonde spatiale Giotto qui, en 1986, avait approché et analysé la comète de Halley. Cela resservira lors de son prochain passage en 2061."

DR - T.HUBIN/IRSNB

Qu'il s'agisse de l'expérience oubliée d'Apollo 17, des échantillons perdus au cœur d'une cité interdite de l'Oural ou des images délaissées des premiers satellites météo, ces aventures valent surtout par la renaissance d'un potentiel scientifique négligé. Autant d'exemples qui donnent à réfléchir en période de vaches maigres et de budgets serrés pour les nouvelles missions lointaines, alors que la prochaine découverte tonitruante se trouve peut-être juste là, au sein de bases de données déjà constituées. Ce mouvement n'en est qu'à ses prémices, mais il pourrait inaugurer un nouveau terrain de jeux pour la science...

DES PREMIÈRES VENDANGES
AUX GRANDS CRUS...



Aux racines du monde

100 ANS

SCIENCE & VIE

7 IDÉES NEUVES
pour le XXI^e siècle

Quand les nouveaux savoirs bousculent les anciens dogmes.
Une grande série de "Science & Vie". Ce mois-ci, la dernière
leçon de cette série : **Les mathématiques**

Leçon n° 7

Penser types plutôt qu'ensembles

PAR PHILIPPE PAJOT

Dans les années 1970, les écoliers découvraient les "maths modernes". Intersection, union... toutes les opérations mathématiques devaient désormais s'écrire d'après la théorie des ensembles, fruit d'une conceptualisation amorcée au XIX^e siècle. Mais, incomplète et trop abstraite, cette théorie a vite révélé des failles. Or, un autre langage est prêt à prendre le relais. Plutôt que de penser les objets mathématiques à partir d'ensembles les contenant tous *a priori*, ce langage propose de les étiqueter sous forme de "types", permettant ainsi de les classer *a posteriori*. Un fantastique gage de souplesse, à l'instar des langages informatiques, qui donne déjà des résultats théoriques. C'est sûr, les maths par types ont l'avenir devant elles ! Les écoliers du XXI^e siècle ne s'en plaindront pas...

Combien d'élèves ont souffert de l'introduction des "maths modernes" dans les années 1970? Cet enseignement voulait faire partager aux élèves une ébauche de ce qui constitue le fondement des mathématiques contemporaines : la théorie des ensembles. Si cette réforme fut finalement abandonnée durant les années 1980 – on lui reprocha son excès d'abstraction, son élitisme, le manque de formation des enseignants –, elle eut l'avantage de mettre sur le devant de la scène cette notion pourtant simple et intuitive, au rôle si prépondérant. Tout le monde a une idée de ce qu'est un ensemble : une collection d'objet pour certains, une patate avec des points dedans représentant ses éléments pour d'autres. Et les élèves des années 1970 ont appris comment ces patates peuvent allègrement être mélangées, au gré d'unions et d'intersections, pour reconstruire tous les objets usuels des mathématiques (fonctions, entiers naturels, transformations géométriques...), au fil d'une implacable logique, décrite sur le tableau noir en quelques lignes formelles, qui en ont laissé plus d'un interdit.

Eh bien, ceux qui sont encore hantés par cette théorie des ensembles peuvent se réjouir : de plus en plus de mathématiciens sont convaincus que l'heure est venue de changer les fondations. Un petit groupe d'une trentaine de mathématiciens et d'informaticiens de haut niveau vient ainsi de passer une année à l'Institut des études avancées de Princeton, dans le but affiché de réécrire l'intégralité des théories mathématiques non pas à l'aide de la notion d'ensemble, comme cela a été fait durant tout le XX^e siècle, mais à l'aide d'une autre notion, appelée à marquer tout autant le XXI^e siècle : celle de "type". "Nous voulons comprendre si cela se passerait mieux si

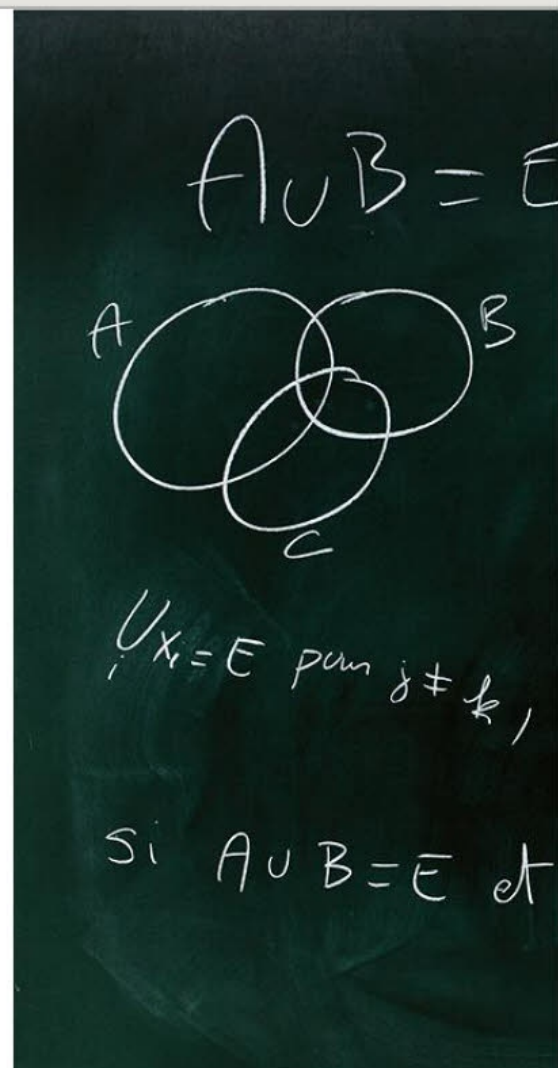
l'on réécrivait la présentation systématique des mathématiques en se basant sur la théorie des types plutôt que sur la théorie des ensembles", résume de façon lapidaire Assia Mahoubi, jeune chercheuse au centre Inria de Saclay, qui participe au séminaire de Princeton. A la clé? Des perspectives radicalement nouvelles sur les mathématiques, sur le sens à donner à cette pratique multimillénaire, sur la façon de les pratiquer aujourd'hui, sur la manière de les enseigner... Ce pourquoi, loin de n'être un enjeu que pour les rares spécialistes du sujet, ces joutes vertigineusement abstraites concernent tout le monde.

UNE CLASSIFICATION D'OBJETS

Type et ensemble, quelle différence? De manière sous-jacente, il s'agit dans les deux cas de classer les objets; mais autant l'une invite à dessiner des patates, autant l'autre pousse à coller des étiquettes. "Qu'est-ce que l'ensemble des chats verts?", demande le mathématicien Pierre Cartier pour illustrer plus subtilement cette différence. *Premier point de vue, celui des contes de fées : le roi, qui veut faire un discours à tous les chats*

verts de son royaume, dépêche des hérauts dans le pays, leur demandant de trouver tous les chats verts et d'exclure les autres, puis de les rassembler le jour dit, à l'heure dite, dans la salle du château. L'ensemble des chats verts est alors constitué des éléments qui sont dans la pièce quand le roi fait son discours. L'autre manière de voir l'ensemble des chats verts, c'est celle de l'entomologiste. Il y a quelque part au Museum un casier où est indiqué 'chat vert'. Chaque fois qu'un correspondant, n'importe où dans le monde, trouve un chat vert, il l'envoie à l'entomologiste, qui le met dans le casier."

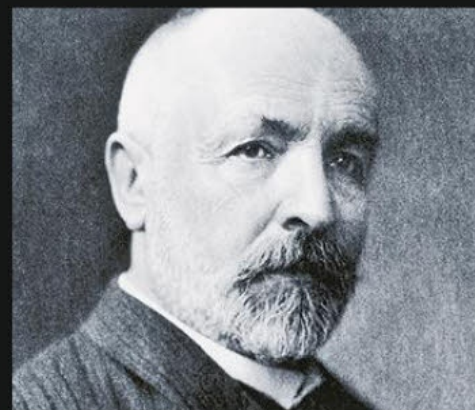
Cette différence de conception oppose un ensemble défini en extension (conte de fées) et un autre défini →



Alors que la théorie des en

✓ ETUDIÉE PAR GEORG CANTOR...

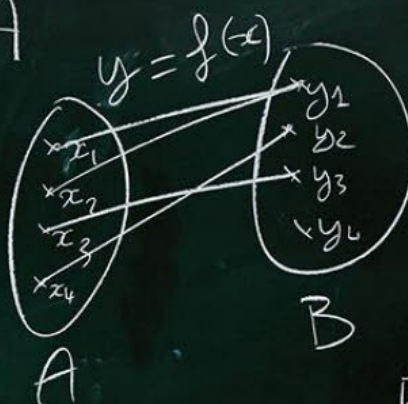
A la fin du XIX^e, en mettant en relation les éléments de plusieurs ensembles, le chercheur allemand donne à cette notion ses lettres de noblesse mathématiques.



$$A \subseteq B \Leftrightarrow A^c \supset B^c \Leftrightarrow B^c \subset A^c$$

$$A \cup (B \cap C) = (A \cup B) \cap (A \cup C)$$

$$A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup (A \cap C)$$

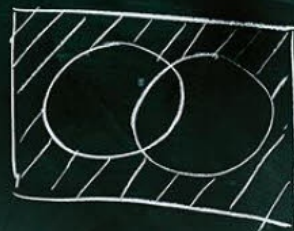
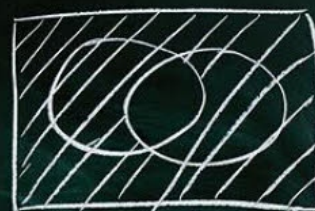


$$x_i \cap x_j = \emptyset$$

$$A \cap B = \emptyset \text{ alors } B = A^c$$

$$(A \cap B)^c = A^c \cup B^c$$

$$(A \cup B)^c = A^c \cap B^c$$



sembles a fondé les mathématiques modernes...



^... LA NOTION D'ENSEMBLE A RECONSTRUIT TOUTES LES MATHÉMATIQUES...

A la fin des années 1930, le groupe de mathématiciens baptisé Bourbaki repart de la théorie des ensembles pour réécrire toutes les mathématiques. Algèbre, analyse, géométrie... rien n'échappe à leur monumental ouvrage, *Éléments de mathématique*, dont le dernier opus est publié en 1998.

<... ET ENVAHI MÊME, UN TEMPS, LES SALLES DE CLASSE

La réforme des "maths modernes" des années 1970 voulait faire partager aux élèves une ébauche de cette théorie des ensembles devenue si fondamentale. Une ambition abandonnée dès les années 1980.



→ en compréhension (entomologie). Alors que, dans la première manière de voir, caractéristique de la théorie des ensembles, l'ensemble des chats verts n'a d'existence qu'après la convocation du roi, une fois tous les spécimens réunis, la seconde conception, typique de la théorie des types, laisse la collection se constituer progressivement. Un type, ce n'est pas la réunion de tous les objets possédant une certaine caractéristique (par exemple l'ensemble de tous les entiers naturels), mais une sorte de boîte dans laquelle on peut faire entrer les objets qui ont le bon format (par exemple le type des entiers naturels). Or, vouloir rebâtir toutes les mathématiques à partir de ce concept, c'est faire la révolution.

UN SYSTÈME DE RÉFÉRENCE

Pour comprendre, il faut revenir au début de l'histoire, lorsque la théorie des ensembles prétend être aux fondements des mathématiques. En commençant par les prémices, posées par Georg Cantor. A la fin du XIX^e siècle, le mathématicien allemand développe des méthodes pour compter les éléments, fussent-ils en nombre infini. Son principe : deux ensembles ont la même taille si chaque élément de l'un peut être mis en relation exclusive avec chaque élément de l'autre. Ne pouvant mettre en relation chaque nombre entier avec chaque nombre réel, il en déduit qu'il y a infiniment plus de réels que d'entiers : l'ensemble des nombres réels n'est pas dénombrable. La notion d'ensemble fait dès lors une entrée tonitruante en mathématique. Ce qui crée tout de suite des tensions.

Le logicien Bertrand Russell met ainsi en évidence dès 1903 un paradoxe de la théorie : l'existence de l'ensemble de tous les ensembles est contradictoire. Et le mathématicien anglais résout lui-même ce paradoxe en introduisant... la théorie des types. Il propose que chaque objet soit défini par une sorte d'étiquette qui détermine la façon dont il peut être combiné

avec d'autres. Mais ce premier combat entre types et ensembles va tourner court. D'abord parce que la théorie des types de Russell, qui culmine dans son ouvrage écrit entre 1910 et 1913 avec Alfred Whitehead, *Principia Mathematica*, est trop lourde à mettre en œuvre – elle ne permet de déduire $1 + 1 = 2$ qu'après 362 pages de déductions formelles laborieuses... Ensuite parce que, en face, les critiques font réagir : en 1908, Ernest Zermelo publie son premier système d'axiomes – des vérités indémontrables qui doivent être admises – pour bâtir des résultats pressentis par Cantor. C'est le véritable acte de naissance de la théorie des ensembles – qui est formellement très éloignée de la théorie "naïve" enseignée à l'école. Ce système ensuite amélioré, connu depuis sous le nom de système ZFC, va permettre à la théorie des ensembles de devenir le système de référence dans lequel, *in fine*, tout doit pouvoir s'exprimer, l'algèbre aussi bien que la géométrie ou l'analyse (tout en résolvant le paradoxe de Russell).

Durant les premières décennies du XX^e siècle, c'est sous l'impulsion de David Hilbert que va peu à peu s'im-

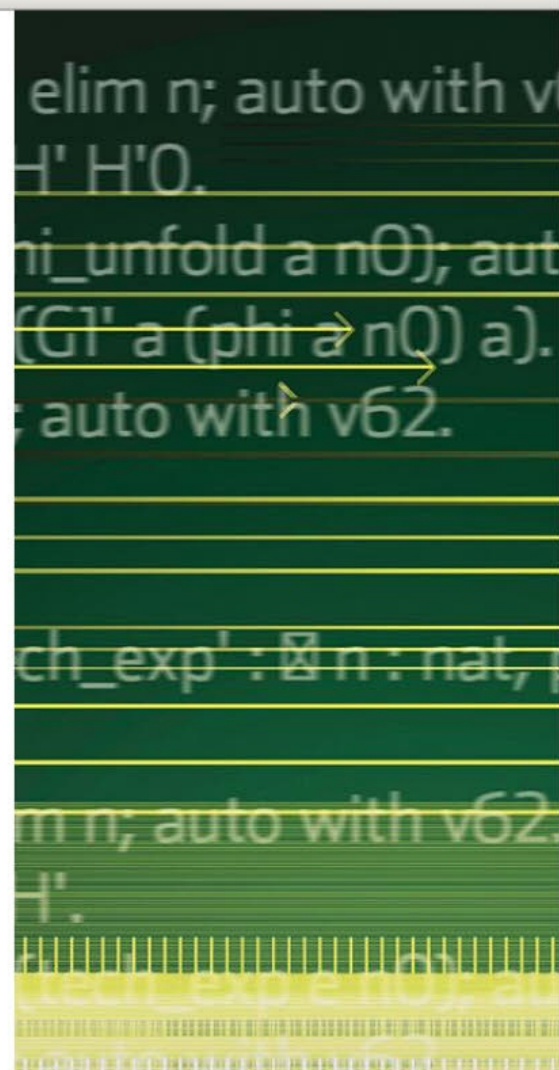
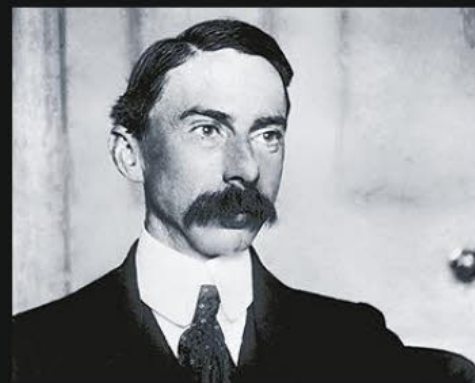
... la notion de "type" a peu à

poser cette théorie. "*Hors du paradis de Cantor, nul ne nous chassera !*" Le géant allemand rêve de mathématiques dont les fondements seraient exempts de paradoxes et de contradictions, où tout résultat pourrait se déduire de manière purement logique, sans faille possible dans le raisonnement. La théorie des ensembles, avec son système ZFC, lui semble parfaite pour ce programme.

Certains, comme Henri Poincaré, l'autre grande figure tutélaire des mathématiques de l'époque, émettent cependant encore des doutes sur le risque de cercles vicieux dans le raisonnement ou sur l'utilisation qu'il y est fait de l'infini : "*Aucune proposition concernant les collections* →

IMAGINÉE PAR BERTRAND RUSSELL...

Soucieux de déduire les mathématiques de la seule logique, le logicien anglais Bertrand Russell invente en 1903 une nouvelle notion, celle de type, censé mieux organiser les divers objets mathématiques.




```
elim H'4; intro H'1; clear H'4.
```

```
⊠ x0; ⊠ 0.
```

```
generalize H'0.
```

```
rewrite ← H'1.
```

```
rewrite <- (tech_exp a x0).
```

```
intro H'3.
```

```
lapply (sym_eq (x:=phi a x0) (y:=star (phi a  
[ intro H'9 | rewrite H'3; auto ]).
```

```
lapply (cancellation' (phi a x0) a); [ intro H'8  
rewrite H'8.
```

```
rewrite (tech_exp' x0).
```

```
rewrite (tech_exp' (S (S (x0 + 0)))); auto w  
auto with v62.
```

peu remis en question cette formalisation



▲ ... CETTE NOTION A ÉTÉ REPRIS PAR LES INFORMATIENS...

A partir des années 1970, les informaticiens réalisent toute l'utilité de l'invention de Russell pour mieux organiser leurs programmes informatiques, de plus en plus gros. Sans elle, difficile d'éviter les bugs ! La notion de type devient ainsi centrale en informatique.

▼ ... AVANT DE REVENIR AU CŒUR DES MATHÉMATIQUES

En envahissant l'homotopie, science des déformations des chemins, les types sont en train de révéler toute leur universalité.

**Homotopy
Type Theory**

Univalent Foundations of Mathematics





ANNÉES 1950

Le choc des "catégories"

Sous l'impulsion de Grothendieck, la notion de catégories – sortes de structures de structures – devient centrale. Très abstraite, elle semble plus facile à exprimer en termes de types que d'ensembles.

L&O V.A. ROSSO

axiom $\Rightarrow \exists (x \supset y)$.

The following notion of construction, for positive implicational propositional logic, was motivated by Curry's observation. More precisely, Curry's observation provided half the motivation. The other half was provided by W. Tait's discovery of the close correspondence between cut elimination and reduction of λ -terms (W. W. Tait, 1983). It is convenient to use λ -terms rather than combinators. This corresponds to the sequent formulation of propositional logic.

1. Formulation of the sequent calculus

Let $P(\mathcal{C})$ denote positive implicational propositional logic. The prime formulas of $P(\mathcal{C})$ are propositional variables. If x and y are formulas, so is $x \supset y$. A sequent has the form $\Gamma \vdash \delta$, where Γ is a (possibly empty) finite sequence of formulas and δ is a formula. The axioms and rules of inference of $P(\mathcal{C})$ are as follows.

(1.1) Axioms: all sequents of the form

$$(1.2) \frac{\Gamma \vdash x \quad \Gamma \vdash y}{\Gamma \vdash x \supset y}$$

$$(1.3) \frac{\Gamma \vdash x \quad \Gamma \vdash x \supset y}{\Gamma \vdash y}$$

(1.4) Thinning, permutation and contraction rules

2. Type symbols, terms and constructions

By a type symbol is meant a formula of $P(\mathcal{C})$. We will consider a λ -formalism in which each term has a type symbol \rightarrow as a superscript (which we may not always write); the term is said to be of type \rightarrow . The rules of term formation are as follows.

(2.1) Variables $x^{\rightarrow}, y^{\rightarrow}, \dots$ are terms

ANNÉES 1960

La fusion entre mathématique et informatique

Les informaticiens Curry et Howard établissent une correspondance entre démonstrations et programmes qui réinterroge les fondements de ces deux domaines.

Amorcé depuis 60 ans par une succession d'événements,

→ *infinies ne peut être évidente par définition.* Le mathématicien s'amuse par avance des difficultés qu'il y aura à tout rebâtir ainsi: "Quel que soit le remède adopté, nous pouvons nous promettre la joie du médecin appelé à suivre un beau cas pathologique." La suite de l'histoire lui donnera raison...

Cette vision fondamentale de la théorie des ensembles va d'abord être confrontée aux sévères critiques de Luitzen Brouwer. Dans les années 1920, le mathématicien néerlandais exige de ses pairs, s'ils veulent éviter tout raisonnement vicié, de ne parler que de ce qu'ils peuvent effectivement construire. Brouwer s'interdit en particulier le raisonnement par l'absurde, qui permet de manipuler des objets qui n'existent pas. Dans le courant des mathématiques qu'il fonde ainsi, baptisées "intuitionnistes", ou "constructivistes", la théorie des ensembles est exclue des fondations. Comment le roi peut-il être sûr que les chats verts sont bien au complet dans la salle du château?

Luitzen Brouwer préfère la prudence de l'entomologiste qui remplit au fur et à mesure ses tiroirs étiquetés. Pour la seconde fois, les types défient les ensembles. Combattu par Hilbert, ce courant, reste cependant très minoritaire.

PAS EXEMPT DE FAILLES

La théorie des ensembles va même résister aux fracassants résultats obtenus par Kurt Gödel au début des années 1930. En démontrant qu'une formalisation logique complète et consistante des mathématiques est impossible, le logicien autrichien met à bas le programme d'Hilbert. De quoi saper l'idéal de la recherche de fondements logiques universels. Mais le résultat est en accord avec l'expérience de beaucoup de mathématiciens sur l'inutilité pratique de telles formalisations (les 362 pages de Russell et Whitehead pour déduire $1+1=2$ en étant une parfaite illustration). Et si la question des fondements devient peu à peu secondaire, la théorie des ensembles reste, par consensus,

le paradigme dominant, les mathématiciens se contentant de cette formalisation imparfaite mais efficace.

"Malgré les critiques de Brouwer, de Poincaré, et d'autres très grands, malgré le théorème d'incomplétude de Gödel qui a ruiné le programme de Hilbert dans sa forme originale, c'est le formalisme version Hilbert qui l'a emporté", résume Henri Lombardi, mathématicien constructiviste de longue date. La preuve: à partir de la fin des années 1930, ce sont des bases ensemblistes que le groupe de mathématiciens Bourbaki a utilisées dans son ouvrage colossal et collectif *Éléments de mathématique*, dont l'ambition est de présenter toutes les mathématiques contemporaines, et dont le dernier volume fut publié... en 1998.

Pourquoi ce paradigme a-t-il finalement été adopté de manière quasi universelle, malgré ses défauts? "Sans doute parce que c'était le système le plus simple", estime Pierre-Louis Curien, logicien au Laboratoire PPS

^ ANNÉES 2000

L'arrivée des assistants de preuve

Grâce aux types, le "théorème des quatre couleurs", selon lequel il n'en faut pas plus pour qu'une carte n'ait pas deux zones adjacentes de même couleur, est vérifié par ordinateur.



v ANNÉES 2010

Le lancement de la grande refondation

Baptisé "Fondation univalente des mathématiques" et initié, notamment, par Vladimir Voïevodski (photo), le projet de tout réécrire à partir des types a réuni cette année une trentaine de mathématiciens. Les premiers résultats sont prometteurs.

ce renversement de paradigme...

de l'université Denis-Diderot (Paris-VII). Même s'il n'est pas exempt de failles, les mathématiciens disposent là d'un système construit avec la plus simple des logiques, qui leur offre un bon cadre pour traduire leurs intuitions, en leur laissant toutes leurs armes, comme le raisonnement par l'absurde. Bien sûr, aujourd'hui, bien peu de mathématiciens connaissent les axiomes de base de cette théorie : ils l'utilisent de manière intuitive, un peu comme Monsieur Jourdain faisait de la prose sans le savoir. Mais la facilité avec laquelle sa syntaxe traduit les raisonnements a finalement jeté un voile pudique sur les problèmes de sémantique – quel est le sens de ce langage ? Quel statut confère-t-il aux travaux mathématiques ? Que dit-il de l'activité des mathématiciens ?

Ce pragmatisme n'a cessé de nourrir des réticences d'ordre philosophique. "Une théorie sans sémantique sérieuse, la théorie ZFC, a semblé préférable à la communauté, déplore Henri

Lombardi. On renvoyait les problèmes de fond à plus tard – en gros : seulement si des contradictions apparaissent. Pourtant qu'est-ce qu'une théorie formelle sans sémantique sérieuse, sinon quelque chose de profondément creux. Dans l'introduction de son monumental traité, Bourbaki présente 'la' (et non pas 'les') mathématique comme un pur jeu formel. C'est vraiment tomber bien bas !"

A partir des années 1960, le principal problème auquel est confrontée la théorie des ensembles devient cependant d'ordre purement mathématique : cette théorie se marie mal avec le nouvel objet phare des mathématiques, la notion de "catégorie". Il faut dire que cette notion atteint des sommets de l'abstraction. Les catégories sont des collections de structures. Par exemple, on peut considérer la "catégorie des groupes" – la structure mathématique la plus élémentaire – en prenant la collection de tous les groupes possibles. L'idée est ensuite d'étudier les pro-

priétés de cette sorte de "structure de structure". Cette notion imaginée dans les années 1940 sera rendue encore plus abstraite durant les années 1950 et 1960 sous l'impulsion d'Alexander Grothendieck, qui n'hésite pas à considérer des "catégories de catégories", des "catégories de catégories de catégories", etc. Le problème est que ces notions deviennent si abstraites qu'il devient délicat de les exprimer en théorie des ensembles. Ce qui suggère que cette dernière ne serait peut-être pas le bon cadre fondamental.

A l'époque, les mathématiciens se demandent même s'il ne convient pas de donner aux catégories la place centrale qu'occupent les ensembles. Faut-il refondre les 20 volumes de Bourbaki déjà parus et qui étaient écrits dans un carcan très rigide ? "Remettre les catégories au premier rang aurait obligé à tout refaire et après des discussions qui ont duré presque huit ans, ce sont les conservateurs qui ont gagné, de sorte que Bourbaki a gardé ses bases en- →

→ *semblistes*”, raconte Pierre Cartier. C’est un nouveau rendez-vous manqué pour la théorie des types, susceptibles d’exprimer plus efficacement les catégories de Grothendieck. Et c’est à cette époque, malgré tous ses défauts, que la théorie des ensembles envahit les salles de classe, du primaire au lycée, avec le succès pédagogique que l’on sait...

De son côté, la théorie des types, délaissée pendant des décennies, commence à revenir sur le devant de la scène. Les premiers intéressés par cette résurgence sont en fait les informaticiens. La notion de type permet en effet de classer efficacement les objets définis dans les programmes informatiques. “*Expérimentalement, les types étaient un bon moyen de trouver les erreurs de programmation avant de lancer l’exécution d’un programme*”, explique Thierry Coquand, informaticien à l’université de Göteborg (Suède). Un besoin qui n’a fait que s’amplifier avec la taille croissante des programmes.

L’APPORT DÉCISIF DE COQ

Les travaux en logique pure constituent l’autre moteur de la renaissance des types. Une renaissance portée par la découverte à la fin des années 1960 d’une profonde correspondance entre les programmes informatiques et les démonstrations mathématiques, la “correspondance de Curry-Howard”. Cette correspondance stipule qu’en utilisant le langage des types, les preuves peuvent se lire comme des programmes. Le langage inventé par Russell est alors mûr pour sortir du bois. Plusieurs théories des types sont imaginées, comme le très élégant système F du logicien Jean-Yves Girard.

Mais c’est finalement le Suédois Per Martin-Löf qui élabore, dans les années 1970, la théorie des types que nous connaissons aujourd’hui. Un formalisme conçu pour mettre en pratique la correspondance preuve-programme.

Un pas décisif sera réalisé dans les années 1980 par deux informaticiens français : Gérard Huet et son étudiant en thèse Thierry Coquand. “*Avec notre ‘calcul des constructions’, nous cherchions comment utiliser la théorie des types pour représenter des preuves mathématiques sur ordinateur, mais aussi pour développer des programmes*”, raconte Thierry Coquand. *Nous voulions un formalisme qui fonctionne pour représenter à la fois des preuves mathématiques et des programmes, avec l’idée, sans doute un peu naïve alors, d’unifier mathématiques et informatique.*” L’assistant de preuve ainsi conçu, baptisé Coq par Gérard Huet, va se révéler très efficace. Il permettra en 2005 à l’équipe de Georges Gonthier et Benjamin Werner de vérifier sur ordinateur un théorème fameux, bien que secondaire, le “théorème des quatre couleurs” (voir p. 117). Puis, en 2012, le théorème de Feit-Thompson, un résultat de l’algèbre du XX^e siècle cette fois-ci majeur (voir S&V n° 1148, p. 82). “*Ce qu’a fait Georges Gonthier est pour moi un bon exemple d’unification entre mathématique et informatique, car il a dû réexprimer des concepts mathématiques de manière informatique. Et cela a été utile pour avoir de meilleures preuves*”, estime Thierry Coquand. Reste à voir si tout le reste des mathématiques se laisse aussi traduire à l’aide de la théorie des types.

Cette approche ranime inévitablement la vieille querelle des fondements des mathématiques. Elle s’inscrit dans le droit fil d’un Russell voulant éviter les risques de cercle vicieux que présente la théorie des ensembles, ou d’un Brouwer intimant l’ordre de ne raisonner qu’en utilisant des procédures de calculs effectivement réalisables. Et, grâce aux ordinateurs, elle n’est plus aussi lourde et paralysante que par le passé. La grande révolution des fondements des mathématiques est-elle, cette fois-ci, en branle ? Après tant de tentatives infructueuses, l’heure est-elle venue, pour les mathématiciens,

... promet de bouleverser

de penser types plutôt qu’ensembles ?

C’est pour répondre à cette question que s’est organisé à partir de septembre 2012 le séminaire spécial à l’Institut des études avancées de Princeton. Mais c’est en fait autour d’une découverte venue d’un domaine mathématique totalement différent que toutes les discussions ont tourné. Une découverte qui laisse penser que la théorie des types est justement prête à passer à des niveaux d’abstraction supérieurs, afin de représenter des notions plus élaborées, comme les catégories, et étendre ainsi son champ sur tout le paysage mathématique.

Le domaine en question est l’homotopie, c’est-à-dire l’étude des déformations continues d’un objet à un autre, comme l’étude des formes que peut prendre un lacet dont les extrémités sont fixées en deux points d’un espace. Rien à voir *a priori* avec la logique et l’informatique... Pourtant, Vladimir Voevodski, l’un des meilleurs spécialistes au monde de l’homotopie, a remarqué une correspondance inattendue. Une correspondance qui permet de définir de façon très élégante l’égalité entre deux types.

A et B étant deux types, quand peut-on dire que $A=B$? Déroutante de sim-

EN SAVOIR PLUS

Pour compléter cette leçon, vous pouvez plonger dans l’introduction de l’ouvrage collectif *Homotopy Type Theory, Univalent Foundations of Mathematics* (<http://homotopytypetheory.org/>). Plus abordable : *La Science et l’Hypothèse*, d’Henri Poincaré (Flammarion 2009, réédition de 1902). Encore plus lisible : la bande dessinée *Logicomix* (Vuibert, 2010), qui retrace les débuts de la logique.



< DANS SA PRATIQUE

Faire des recherches plus décentralisées

Cette refondation à partir de la théorie des types promet aux chercheurs de changer la façon dont ils travaillent. Les assistants de preuve, très adaptés à ce nouveau langage, permettront à chacun de vérifier la justesse de ses démonstrations, voire la pertinence de ses intuitions, sans avoir besoin de l'avis d'un spécialiste. Et certaines démonstrations pourront être construites par petits bouts, à partir d'une architecture générale.

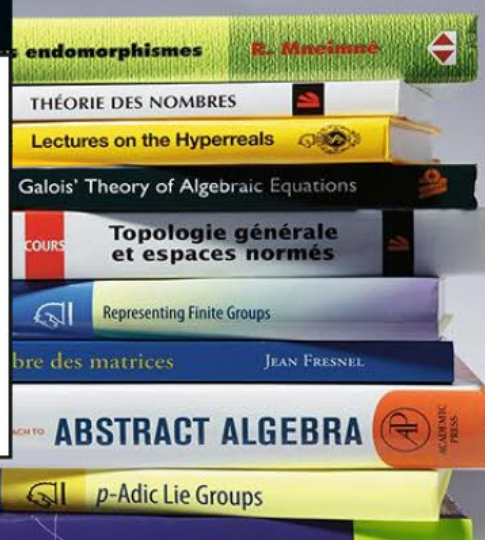
tout le paysage mathématique

plicité, la question était justement l'un des points d'achoppement dans les assistants de preuve. Car le statut de l'égalité est très contraignant. Et lorsque les notions deviennent trop conceptuelles, les informaticiens sont à la peine pour bien la définir. Quels axiomes faut-il prendre sur l'égalité entre deux types afin d'être en mesure de représenter les notions mathématiques les plus sophistiquées ? Il y a une dizaine d'années, avec plusieurs chercheurs dont le philosophe Steve Awodey de l'université Carnegie-Mellon à Pittsburgh, Vladimir Voïevodski a observé que la notion d'égalité en mathématiques, telle qu'elle existe dans la théorie des types de Martin-Löf sur laquelle est fondée Coq, se comporte exactement comme la notion de chemin entre deux points en théorie de l'homotopie. Autrement dit, deux types sont égaux à la manière que le sont deux formes que peut prendre un lacet fixé à ses extrémités. Ce qui lui a permis de proposer un axiome, "l'axiome d'univalence", permettant de définir de façon très générale quand est-ce que l'on peut dire que deux types sont égaux. Un axiome beaucoup moins rigide que les précédents qui promet une utilisation plus intuitive de la théorie des types, plus proche →

> DANS SES RÉSULTATS

Démontrer de nouveaux théorèmes

Les mathématiques issues des types ne seront plus les mêmes que celles fondées sur les ensembles. Ce nouveau langage permettrait d'obtenir des résultats novateurs. Des notions nouvelles de théorie des graphes ont par exemple été développées pour formaliser le théorème des quatre couleurs.



< DANS SON ENSEIGNEMENT

Découvrir ce nouveau langage fondamental

Faudrait-il présenter la théorie des types dans les futurs manuels scolaires ? Sans aller jusqu'aux abus de la réforme des "maths modernes", les rudiments de la logique, la grande absente de l'enseignement, pourraient être présentés. La récente introduction de l'informatique au lycée est sans doute un premier pas vers ce nouvel apprentissage.

→ du travail mathématique usuel. Ce qui rend le système axiomatique de la théorie des types en mesure d'affronter le fameux système ZFC.

Ce sont ces liens entre homotopie et type qui ont animé le séminaire de Princeton organisé par Voïevodski, Coquand, Awodey, baptisé "Fondation univalente des mathématiques". "La discussion a beaucoup porté sur cette notion d'égalité. Philosophiquement, nous aimerions justifier de manière

de représenter de manière plus efficace les mathématiques contemporaines."

Dans cette nouvelle rencontre au sommet entre la théorie des types et celle des ensembles, le combat n'est pas encore véritablement engagé – les tenants de la théorie des types fourbissent toujours leur arsenal axiomatique et la formalisation reste un travail de titan. Mais jamais la première n'a semblé aussi bien armée, et jamais la seconde ne l'a semblé aussi peu. Et

ment du chercheur, de le vérifier, voire de le guider. "Les assistants de preuve nous laissent espérer de faire des mathématiques de manière plus décentralisée, un peu comme le font ceux qui fabriquent du logiciel libre", explique Paul-André Mellies, logicien à l'université Denis-Diderot. "En particulier, on n'aura plus besoin de l'avis de spécialistes d'un domaine pour savoir qu'un résultat est vrai. Et, comme dans un logiciel libre, on peut imaginer que des démonstrations soient construites par petits bouts à partir d'une architecture que quelques experts (ou pas) auraient pu mettre en place." Ces mathématiques formalisées à l'aide de la théorie des types ne seraient alors probablement plus exactement les mêmes. Nettoyées, plus effectives, elles jetteraient un regard novateur sur les résultats classiques. Si Voïevodski s'est engagé dans cette aventure, c'est d'ailleurs avant tout dans l'espoir d'obtenir des résultats nouveaux en théorie de l'homotopie, grâce aux raisonnements logiques que la théorie des types et l'univalence permettent d'introduire.

D'un point de vue plus philosophique, les mathématiques pourraient se targuer de remporter l'adhésion grâce à un raisonnement fondé sur la seule logique – et non sur l'existence d'objets, comme l'ensemble des chats verts. Ce qui signerait la victoire des mathématiques constructivistes si longtemps marginalisées. "Les mathématiques non constructivistes auraient été alors juste une manière de survoler les obstacles, lâche Henri Lombardi, rêveur. La communauté, après un ou deux siècles d'errance, retomberait sur ses pattes, comme le souhaitait Poincaré."

Et il restera finalement, à se demander en quoi la révolution des types pourrait influencer l'enseignement. Faudrait-il une nouvelle réforme des maths modernes? Faudrait-il intégrer les types dans les manuels scolaires? Au final, de toutes les questions soulevées par ces batailles épiques, celle-ci n'est sûrement pas la moins complexe... ■

Ces nouvelles mathématiques signeraient la victoire du raisonnement basé sur la seule logique

intuitive l'ajout de l'axiome d'univalence à la théorie des types. Et je dois dire qu'après un an de discussion, ce n'est pas encore clair", avoue Thierry Coquand. Reste que les résultats sont déjà prometteurs. Certains théorèmes ont pu être redémontrés de manière nouvelle, purement logique, à partir de cette nouvelle expression de l'égalité en théorie des types. "Avec cette connexion qui relie deux domaines complètement différents, on sent que l'on met le doigt sur quelque chose de profond, reprend Thierry Coquand. Cette connexion permet une formalisation logique directe de concepts importants qui peuvent être appliqués à de vastes champs des mathématiques. La fameuse notion d'ensemble peut être définie à partir des fondations univalentes partant de concepts plus primitifs récemment découverts par Vladimir Voïevodski."

Et même les sommets de l'abstraction mathématique semblent maintenant à portée. "L'un des résultats très prometteur de ces mois de travail a consisté à formuler certaines catégories à l'aide de la théorie des types en utilisant la notion d'égalité mise en avant par Voïevodski", explique Pierre-Louis Curien. Algèbre, catégories, ensembles, les places fortes des mathématiques semblent tomber une à une. Et Vladimir Voïevodski en est persuadé: "La notion de type va permettre

il est d'ores et déjà possible d'imaginer les conséquences d'un tel changement de régime. D'imaginer à quoi pourraient ressembler les mathématiques reconstruites sous l'égide de Poincaré, Russell et Brouwer, comparées à celles imposées par Hilbert, Zermelo et Bourbaki.

UNE AUTRE RÉFORME DES MATHS ?

Ce changement dans les fondements consacrerait d'abord le rapprochement des mathématiques et de l'informatique, deux cultures qui, jusqu'à une période récente, ont suivi des voies plutôt séparées. Ce rapprochement, en soi, n'est guère étonnant: les programmes de nos ordinateurs ne sont-ils pas les descendants des systèmes logiques imaginés par les mathématiciens dans leur recherche des étapes élémentaires du raisonnement? Mais il est devenu depuis peu d'ordre culturel: "Les jeunes matheux qui arrivent savent programmer, perçoit Pierre-Louis Curien. Ces jeunes ne se posent plus la question de savoir s'ils sont mathématiciens ou informaticiens: ils manipulent les deux avec aisance." Un cocktail potentiellement explosif.

Cette fusion avec l'informatique transformerait à coup sûr la façon dont les mathématiques se pratiquent. On verrait le foisonnement de ces nouveaux outils que sont les assistants de preuve, capables de suivre le raisonne-

EN PRATIQUE

122 BON À SAVOIR

En direct des publications scientifiques et autres rapports et études.

124 ► ZOOM DU MOIS

Risque, efficacité, sevrage, dosage...

La cigarette électronique en 8 questions

130 QUESTIONS/ RÉPONSES

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

136 ► TECHNOFOLIES

La voiture qui conduit toute seule dans les bouchons; Il projette même en plein jour!, etc.

142 LE CIEL DU MOIS





EN PRATIQUE

BON À SAVOIR

LES BONBONS : 1^{re} CAUSE D'ÉTOUFFEMENT

Selon une étude menée aux Etats-Unis entre 2001 et 2009, les bonbons durs sont les principaux responsables des étouffements non mortels chez les moins de 14 ans (15,5 % des cas). Suivent de près les bonbons mous et la viande. "Pediatrics", juil. 2013

LA NUIT, LA LUMIÈRE FROIDE MET DE MAUVAISE HUMEUR

De nuit, les lumières bleues et blanches sont les plus utilisées (dans les bureaux, les usines, sur les écrans...). Or, il vaudrait mieux privilégier les lumières rouges pour éviter d'être d'humeur maussade. C'est ce que met en avant une étude américaine : dans la rétine de rongeurs, des cellules s'avèrent particulièrement sensibles aux longueurs d'ondes caractéristiques du bleu. Par ricochet, cette sensibilité modifierait l'une des régions cérébrales impliquées dans le contrôle des émotions, l'hippocampe. Ce qui accentuerait les troubles de l'humeur. Or, ces cellules de la rétine sont beaucoup moins sensibles aux lumières rouges. "J. Neurosci.", août 2013



LA DÉFAITE FAIT MANGER GRAS

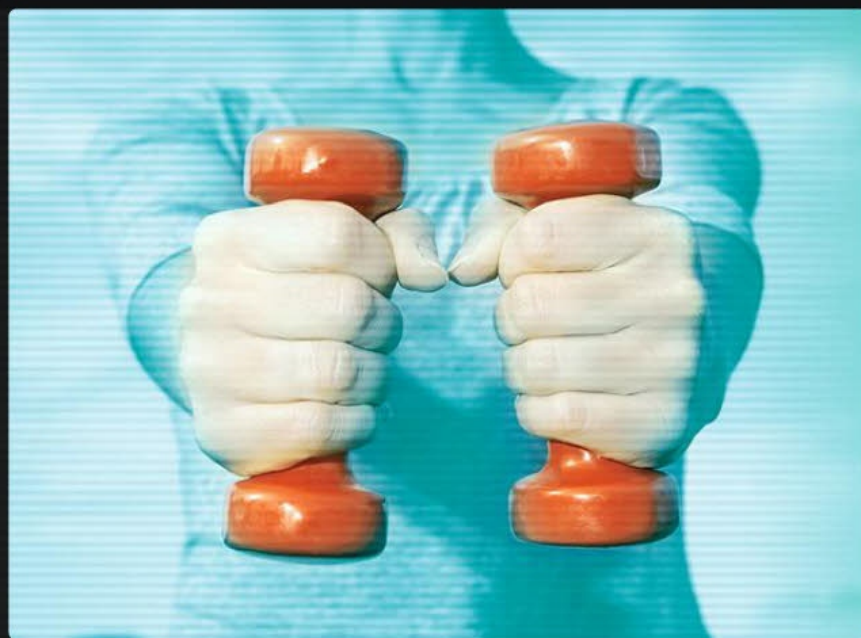
Selon une étude française, les férus de sport mangent plus gras et plus calorique le lendemain de la défaite de leur équipe favorite. Et c'est encore plus flagrant quand le match était serré. En revanche, les supporters de l'équipe victorieuse se nourrissent plus sainement. "Psychol. Sci.", août 2013

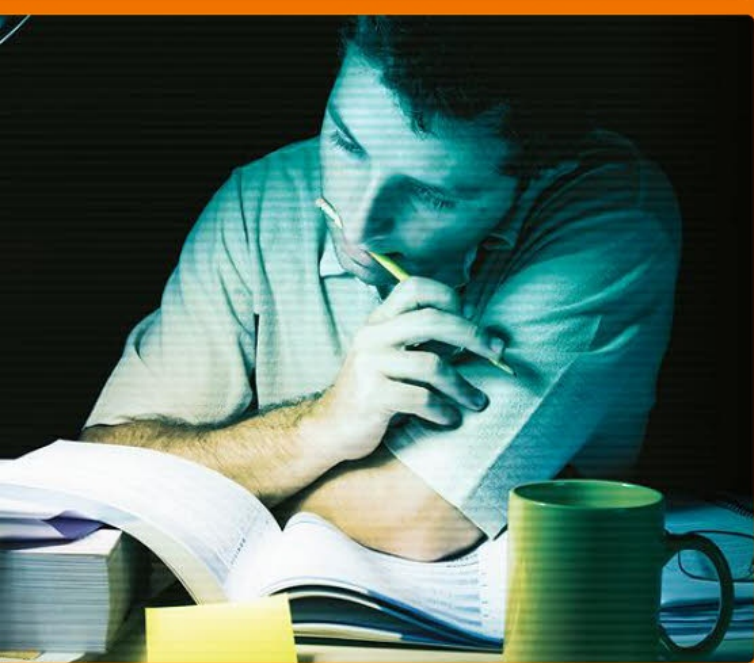
LE MIEL APAISE LES BRÛLURES

Comme le préconisaient les Egyptiens, le miel pur, non traité et non dilué, a bien un effet cicatrisant et antibactérien lorsqu'il est appliqué sur des brûlures. C'est la conclusion d'une équipe belge, qui a compilé les résultats de 7 études. "Burns", juil. 2013

CE N'EST PAS LA TAILLE DES MUSCLES QUI COMPTE

Sachant que la masse musculaire diminue avec l'âge, c'est la qualité du muscle (type de fibre, innervation, gras) qu'il faut favoriser pour conserver une force musculaire nécessaire au maintien d'une vie active le plus longtemps possible. Une équipe américaine et française a en effet montré que les femmes de plus de 75 ans ayant une bonne qualité musculaire ont une meilleure autonomie. Les auteurs proposent donc de privilégier un entraînement en puissance, par exemple en soulevant de petites charges plusieurs fois et rapidement plutôt que de grosses charges peu de fois. "JAMDA", juil. 2013





À 34 ANS, C'EST LE DÉBUT DU DÉCLIN POUR LE SPERME

Selon une étude américaine sur plus de 5000 hommes, âgés de 16 à 72 ans, la quantité et la qualité des spermatozoïdes diminuent à partir de 34 ans, sans pour autant atteindre le seuil où la fertilité décroît. Avec l'âge, ça va de mal en pis: après 40 ans, la proportion de spermatozoïdes "normaux" baisse; entre 43 et 45 ans, leur mobilité et le volume de l'éjaculat commencent à diminuer. Enfin, le sperme des plus de 53 ans possède moins de spermatozoïdes porteurs d'un chromosome Y. Autrement dit, plus le père est âgé, plus il aurait de chances d'avoir des filles. "Fertil. Steril.", juin 2013

ON NÉGOCIE MIEUX EN PRENANT LES DEVANTS

Dans les négociations, le premier à faire une offre est la plupart du temps avantageux. Un effet confirmé dans différentes situations et cultures, avec des négociateurs n'ayant pas forcément les mêmes niveaux de pouvoir. "Personality and Social Psychology Bulletin", août 2013

UN LÉGUME NE VAUT PAS TOUJOURS UN FRUIT

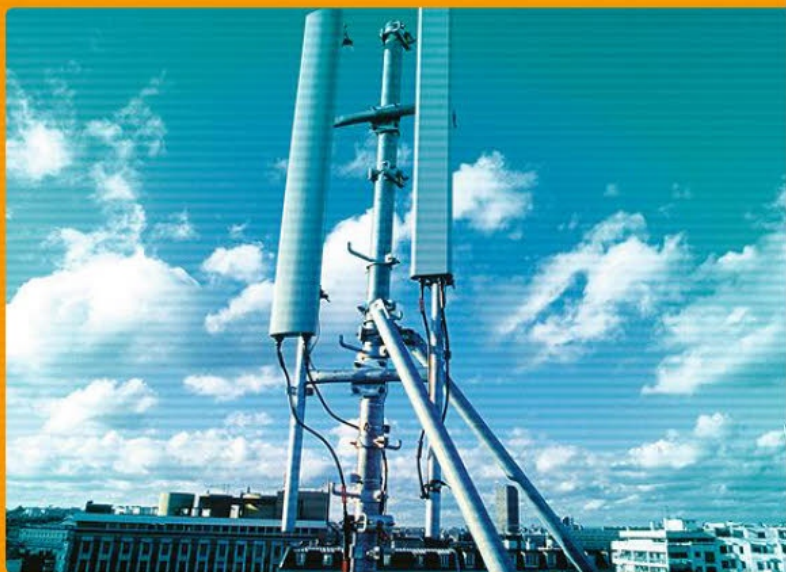
Quand la paroi de l'aorte se dilate (anévrisme), elle risque d'éclater et de causer la mort. La consommation de deux fruits par jour réduit ce risque de 39 %, et celle de trois fruits de 44 %. Par contre, les légumes n'auraient pas cet effet. "Circulation", août 2013

FACEBOOK N'EST PAS BON POUR LE MORAL

Se connecter au réseau social Facebook diminue le bien-être immédiat. Au fur et à mesure de leurs connexions, les 82 étudiants qui se sont prêtés à cette étude belgo-américaine ont déclaré avoir une moins bonne image générale de leur vie. "Plos One", août 2013

ANTENNES-RELAIS: EXPOSITION LIMITÉE

En l'attente de résultats définitifs sur l'impact sanitaire, un comité (opérateurs, Etat, associations...) a évalué le niveau d'exposition aux ondes dans 16 communes françaises. Les résultats sont plutôt rassurants: 90 % des mesures sont inférieures à 0,7 V/m et 99 % à 2,7 V/m, alors que les valeurs réglementaires sont comprises entre 40 et 61 V/m. Les zones rurales au relief faible sont les plus épargnées; les centres-villes anciens et denses, les plus exposés. Et ce, non pas à cause des antennes-relais, mais d'autres sources (téléphone sans fil DECT, wi-fi...). Ces mesures n'incluent pas les réseaux de Free et de la 4G, trop récents. "Rapport Copic", juil. 2013





EN PRATIQUE

ZOOM DU MOIS

Par Marielle Mayo, avec Emmanuel Monnier

Risques, efficacité, sevrage, dosage...

La cigarette électronique en 8 questions

Alors qu'un million de Français déclarent déjà vapoter, la cigarette électronique devient un vrai enjeu sanitaire... et financier. Faux substitut ou vraie alternative au tabagisme, notre dossier fait le point et répond à vos questions.

Le marché de la cigarette électronique explose, prenant de court les experts incapables d'en dresser un tableau précis. En 2013, les ventes mondiales se situeraient autour de 4 milliards de dollars, avec un nombre d'expérimentateurs qui serait passé de 0,6 % de la population en 2009 à 6 %. Selon l'Eurobaromètre 2012, les utilisateurs réguliers étaient évalués à 500 000 en France... Un an plus tard, en mai 2013, l'Office français de prévention du tabagisme (OFT) estimait

que la barre du million était atteinte! Première raison de ce succès: l'envie d'arrêter ou de réduire sa consommation de cigarettes. Au point que ce marché serait en passe de supplanter, dès cette année, celui des médicaments pour arrêter de fumer.

UN OVNI JURIDIQUE

Pourtant, définir juridiquement la cigarette électronique reste un casse-tête. Elle n'est pas un "produit du tabac": elle ne contient ni tabac ni produits "fumés". Elle n'est

pas non plus un substitut destiné à sevrer les fumeurs, ce qui ferait d'elle un médicament: elle ne nécessite pas d'autorisation de mise sur le marché s'appuyant sur des études démontrant son efficacité clinique. Résultat? Un flou juridique.

Comme elle n'est pas un médicament, l'e-cigarette doit, selon l'Agence nationale de sécurité du médicament, contenir moins de 10 mg de nicotine par recharge et une concentration maximale de 20 mg/ml (sur les taux de nicotine, voir la question 8). Ce qui en fait, par défaut en France, un produit de consommation courante. Un statut avantageux pour l'industrie du tabac, qui rachète massivement depuis 2012 ses fabricants. Les cigaretteurs poursuivraient ainsi, selon l'OFT, une triple stratégie: rendre l'e-cigarette la moins efficace possible pour arrêter de fumer; en faire une façon de fumer autrement; et entretenir l'idée qu'on peut "fumer" sans danger.

En face, les lobbies de santé publique, comme la Société européenne de pneumologie ou l'ENSP (European Network of Smoking Prevention), militent pour l'interdire



ou la faire enregistrer comme médicament si son efficacité dans le sevrage était démontrée. Une classification que rejettent sans surprise fabricants et vendeurs, au prétexte qu'elle pourrait décourager les fumeurs et qu'il ne faut pas laisser au tabac le monopole du plaisir. Quant à l'industrie du médicament, elle n'affiche pas encore de position faute d'intérêt évident.

En 2014, la Commission européenne soumettra au vote du Parlement une directive visant à créer une nouvelle catégorie pour ces ovnis juridiques avec un taux plafond en nicotine fixé à 4 mg/ml

Limitée, interdite ou prescrite

D'un pays à l'autre, la réglementation varie beaucoup. Par défaut, comme en France, la e-cigarette est souvent considérée comme un produit de consommation courante dont l'usage n'est pas limité (Japon, Espagne, Irlande, Italie ou États-Unis). Si elle contient de la nicotine, elle peut parfois être considérée comme un médicament (Autriche, Luxembourg, Danemark, Estonie, Pays-Bas, Afrique du Sud, et sans doute bientôt Royaume-Uni), être interdite à la vente (Australie, Islande ou Argentine) ou même à l'usage (Norvège). D'autres interdisent toute e-cigarette (Mexique, Lituanie, Israël, Singapour, Brésil, Uruguay) ou simplement leur vente (Seychelles, Canada).



(2 mg par recharge) inférieur à toutes les recharges existantes. De quoi vider la directive de sa substance. Un amendement adopté en juillet par la Commission prévoit aussi un classement en tant que médicament, quel que soit le taux de nicotine. Enfin, l'Assemblée nationale a choisi en juin d'interdire la vente de e-cigarettes aux mineurs. Compte tenu de l'importance des enjeux, on peut parier que la valse-hésitation des législateurs ne fait que commencer. Les utilisateurs, quant à eux, attendent des réponses claires... En voici quelques-unes.

1 Peut-on vapoter partout ?

Pour l'instant, oui.

Mais faute d'un statut clair en France, réglementer son usage n'est pas simple. Car si vapoter n'est pas fumer (il n'y a pas de combustion de tabac), utiliser une e-cigarette dans un lieu non-fumeur peut être considéré comme une "incitation au tabagisme", et tomber, dès lors, sous le coup de l'article R3512-2 du code de la santé publique. De même,

toute publicité en sa faveur, ainsi que de tout objet "qui rappelle le tabac", est interdite. Placé devant un choix difficile, le ministère des Affaires sociales et de la santé envisage d'empêcher l'usage de la cigarette électronique dans les lieux où il est interdit de fumer, comme c'est déjà le cas en Belgique, au Luxembourg ou à Malte. Avis aux globe-trotteurs : l'Association internationale du

transport aérien (IATA) demande de l'interdire dans tous les avions, prétextant que son usage pourrait inciter les passagers à fumer des cigarettes réelles ou créer des incidents causés par des passagers indisciplinés. Elle rappelle par ailleurs que les cigarettes électroniques contiennent des piles au lithium, et ne peuvent donc pas être mises dans les bagages de soute.



2 L'e-cigarette permet-elle de limiter sa consommation de tabac ?

Très probablement, mais dans des proportions variables. Faute d'études suffisantes et vu les enjeux, le débat est passionné. *"Son efficacité comme aide à l'arrêt du tabac n'a pas été scientifiquement démontrée"*, rappelait l'Organisation mondiale de la santé (OMS) le 9 juillet dernier. En effet, bien que délivrant de la nicotine à l'organisme (quand elle en contient), l'e-cigarette n'est pas considérée comme un substitut nicotinique. Contrairement aux patchs et aux chewing-gums, elle libère sa nicotine directement dans les poumons. Or, les doses effectives délivrées et le mécanisme biologique qui permettrait de conduire à l'arrêt du tabac ne sont pas

connus. L'adopter pourrait donc revenir à lâcher la proie pour l'ombre...

Faut-il pour autant ignorer les témoignages des nouveaux convertis ? Si elles ne constituent pas des preuves indiscutables, les indications fournies, largement concordantes, appuient un potentiel effet bénéfique, au minimum équivalent à celui des traitements actuels dédiés au sevrage tabagique. Selon une enquête conduite par Jean-François Etter, professeur de santé publique à l'université de Genève, jusqu'à 96 % des vapoteurs déclarent avoir sinon arrêté, du moins diminué leur consommation tabagique. Et dans un sondage européen conduit sur Internet auprès de 5 241 vapoteurs réguliers,

mentionné dans le récent rapport d'experts commandité par l'Office français de prévention du tabagisme, 73 % indiquent avoir stoppé totalement la cigarette ! Un succès que la plupart des utilisateurs expliquent par l'absence de sensation de manque. Bien sûr, cela ne marche pas pour tout le monde, parce qu'arrêter de fumer est une affaire de motivation, et parce que la dépendance au tabac est un phénomène mal connu, complexe et variable selon les individus. Sans compter que la grande variété des liquides utilisés par les vapoteurs ne permet pas d'observer des effets homogènes...

Sans surprise, le sevrage paraît plus facile si le liquide comporte de la nicotine.

Comme toutes les substances addictives, en se fixant sur des récepteurs spécifiques, celle-ci déclencherait une cascade d'événements aboutissant à la libération de la dopamine dans le cerveau, un neuro-médiateur baptisé "molécule du plaisir".

Mais la nicotine seule ne suffit pas à expliquer la dépendance. D'autres molécules de la fumée concourraient à son pouvoir addictif. Selon le neurobiologiste Jean-Pol Tassin, des substances appartenant à la famille des IMAO (inhibiteurs des monoamines oxydases), produites lors de la combustion, amplifieraient les effets propres à la nicotine. Bref, celle contenue dans la e-cigarette pourrait ne pas

3 Peut-elle aider à décrocher définitivement ?

On n'en sait rien. Faute d'étude convaincante et de recul suffisant, impossible de dire si un sevrage tabagique par la cigarette électronique améliore le taux de rechute, qui, au bout d'un an, atteint généralement 80 à 90 %. Pour ses détracteurs, la cigarette électronique entretient la dépendance au geste, mais aussi la dépendance à la nicotine – certains vapoteurs décrivent d'ailleurs un besoin comparable à celui engendré par la cigarette traditionnelle. La persistance de la dépendance comportementale est difficile à caractériser. Quant à la persistance de l'addiction

à la nicotine, elle serait liée à la rapidité de son arrivée dans le cerveau.

On sait que la fumée de tabac provoque un "effet shoot", avec une saturation rapide des récepteurs à la nicotine qui ont tendance à se désensibiliser et à se multiplier, créant le besoin d'une nouvelle prise. Les substituts nicotiques permettent une réduction de l'addiction d'autant plus efficace qu'ils font monter lentement les taux de nicotine dans l'organisme, permettant une resensibilisation des récepteurs et la baisse progressive de leur nombre. Qu'en est-il de l'e-cigarette ? Le rapport

d'experts piloté par l'Office français de prévention du tabagisme avoue ne pas encore savoir si ses effets se rapprochent de ceux de la cigarette, du spray oral ou des autres substituts oraux. La question a son importance, car le maintien de la dépendance, dans sa double dimension physique et comportementale, ferait peser une épée de Damoclès sur la tête des fumeurs repentis.

En attendant, dans la mesure où un gros fumeur ne réussit pas à arrêter avec une aide au sevrage classique, l'e-cigarette, même s'il en est dépendant, semble un moindre mal.

Rappel : la nicotine

La nicotine n'est pas une substance anodine. Outre ses effets addictifs, il s'agit d'un poison mortel, utilisé comme insecticide naturel, inscrit sur la liste des substances dangereuses par l'OMS et par le règlement européen. Pour des dosages supérieurs à 1 mg/ml, les préparations nicotiques doivent porter les mentions "mortel par contact cutané" et "toxique en cas d'ingestion". Certains flacons d'e-liquide destinés à recharger les cartouches des cigarettes électroniques contiennent ainsi des doses létales. L'intoxication aiguë se manifeste par des troubles

suffire à compenser les pulsions du manque. Et ceci est d'autant plus vrai qu'on ignore à quel niveau de l'appareil respiratoire et dans quelles proportions elle est absorbée dans le sang. Sans compter de très nombreux facteurs individuels et génétiques (sensibilité aux odeurs, au stress, facteurs émotionnels, sociaux...). La sensation procurée par sa manipulation et par l'inhalation varie de plus chez chacun.

Parce qu'elle mime le geste de fumer, la e-cigarette semble à même de remplacer la cigarette. Constituerait-elle une béquille aussi efficace pour s'endormir, travailler, affronter le stress ? Son goût se mariera-t-il avec celui du café ou de l'apéritif ? Pour certains, c'est déjà non.



est un poison mortel

digestifs, des atteintes du système nerveux central (convulsions, coma) et des troubles cardio-respiratoires. Chez l'adulte, la dose mortelle est estimée à environ 40 à 60 mg, les enfants étant plus sensibles. Dans les faits, la présentation sous forme de flacon compte-gouttes et le goût très amer de la nicotine limitent les risques d'ingestion. En revanche, la manipulation des flacons et, *a fortiori*, la préparation artisanale de liquide exigent de grandes précautions. Aucun cas d'intoxication par contact n'a cependant encore été rapporté en France.

4 Donne-t-elle envie de commencer à fumer ?

Peut-être... On peut légitimement se demander si la cigarette électronique ne risque pas de constituer une voie d'accès au tabagisme pour les non-fumeurs, en particulier les plus jeunes, chez lesquels le taux d'expérimentation est en constante augmentation. Présentée comme produit de réduction des risques, la cigarette électronique pourrait paradoxalement contribuer à dédiaboliser le tabagisme en "normalisant" un comportement finalement très proche de celui des fumeurs. Sans oublier que cette "autre

façon de fumer" est aussi potentiellement une autre façon de développer une addiction à la nicotine. En tout état de cause, même si les responsables politiques sont d'ores et déjà confrontés à la question, l'initiation à la dépendance tabagique par la cigarette électronique, si elle existe, demandera un recul de cinq à dix ans avant de pouvoir être réellement démontrée. Mais certains évoquent le précédent du snus. Ce tabac oral autorisé en Suède y est devenu le principal produit d'initiation à la dépendance

nicotinique chez les jeunes Suédois, ouvrant souvent la voie à une consommation fumée, alors qu'il était présenté, vingt ans plus tôt, comme un produit de réduction du risque tabagique. L'appropriation de ce produit par la filière tabac semble avoir cependant joué un rôle dans cette évolution... Et le fait que les cigaretteurs s'intéressent aujourd'hui à la cigarette électronique, au point d'en racheter les fabricants, pourrait donc être à même de susciter quelque inquiétude...



5 Vapoter est-il dangereux pour la santé ?

Beaucoup moins que la cigarette ! Même si l'on manque de recul et que l'on ne peut exclure tout effet nocif des e-cigarettes... les dégâts du vapotage semblent mineurs par rapport à ceux du tabagisme.

Dans le détail, on sait que la nicotine, présente dans les cigarettes classiques comme dans les e-cigarettes, n'est pas toxique, même si elle a des effets psychoactifs et entraîne une augmentation du rythme cardiaque. En cas de surdosage, le vapoteur ressent des symptômes – nausée, insomnie... – qui lui feront réguler sa consommation.

Dans le liquide des recharges, on trouve également une solution de propylène glycol, de glycérine végétale (ou glycérol), d'arômes alimentaires, d'un peu d'eau et d'alcool. L'innocuité totale de ces produits, c'est vrai, n'est pas garantie. Ainsi, selon l'OMS, le propylène glycol est un irritant connu – les études menées sur des animaux mentionnent des saignements de nez et des irritations de la peau, des yeux... Mais plusieurs autres études ont montré l'innocuité de son inhalation occasionnelle (comme dans les salles de spectacle où on l'utilise pour produire de la fumée). Aucun effet grave sur la santé n'a

jusqu'à été mis en évidence. La glycérine végétale pourrait poser plus de problèmes : à forte température, il existe un risque théorique de production d'acroléine, connue pour endommager les poumons et le système cardiovasculaire. Mais, *a priori*, les e-cigarettes ne chauffent pas assez pour induire ce phénomène. Quant au risque lié à l'inhalation des arômes, il n'est pas documenté.

A propos du risque cancérigène, *60 Millions de consommateurs* a publié en septembre des résultats "préoccupants" pour deux substances cancérigènes. Selon les tests menés par le magazine, leurs taux frôlent

ou dépassent ceux relevés dans la fumée des cigarettes conventionnelles (où 60 cancérogènes à des taux significatifs sont recensés de longue date). Du côté des études scientifiques, la plus poussée à ce jour, menée par l'Américain Maciej Goniewicz, a bien relevé dans la vapeur des e-cigarettes les principaux composés toxiques de la fumée des cigarettes conventionnelles... mais dans des proportions entre 9 et 450 fois inférieures. Le monoxyde de carbone (CO), cause majeure des troubles cardiovasculaires et les fines particules, délétères également pour la respiration sont, eux, quasi absents.

Des notices pas toujours fiables

Jusqu'en 2009, les e-liquides affichaient des teneurs en nicotine fantaisistes... Depuis, la situation semble s'améliorer. Au mois de mai, l'étude menée par le tabacologue Jean-François Etter montrait que les doses retrouvées dans 20 échantillons de 10 marques d'e-liquide étaient très proches de celles indiquées sur l'étiquette. En France, selon l'Office français de prévention du tabagisme, "les e-cigarettes récentes présentent des concentrations en nicotine qui sont le plus souvent (mais pas toujours) proches des valeurs annoncées et utilisent pour la plupart une nicotine de qualité pharmaceutique".

7 Peut-on fabriquer son e-liquide soi-même ?

Oui, mais attention !

Faire son mélange sur mesure est possible... et économique. Tous les produits nécessaires (flacons, seringues, pipettes, ingrédients) sont disponibles pour quelques euros sur Internet ou dans les boutiques spécialisées qui poussent comme des champignons (près de 150, en France, début 2013).

Comment procéder ? Sur les forums consacrés au vapotage, les "anciens" délivrent volontiers leurs conseils et on trouve des "tutoriels" complets. Le principe de la recette est simple : un diluant, qui constitue l'essentiel du mélange, pour produire la

"vapeur" (en toute rigueur scientifique, ces très fines gouttelettes forment plutôt un aérosol), des arômes, en très faibles quantités, pour le goût, et différents additifs pour améliorer les caractéristiques ou rajouter de la nicotine. Le diluant est du monopropylène glycol (PG) ou de la glycérine végétale appelée glycérol (VG), deux produits utilisés depuis longtemps au cinéma pour produire un effet de fumée, mais qui ont aussi le pouvoir de renforcer les arômes. Les deux sont le plus souvent associés pour obtenir un meilleur équilibre, le propylène glycol renforçant davantage les arômes que la glycérine végétale, qui

produit une vapeur plus abondante. Les vapoteurs privilégient un mélange contenant trois quarts de propylène glycol pour un quart de glycérol. Le sigle USP, visible sur certains flacons, signifie "de qualité pharmaceutique" ("U.S. Pharmacopeial"). Ce diluant contient déjà, le plus souvent, de la nicotine à un taux plus ou moins élevé (jusqu'à 19,9 mg/ml en France). Quant aux arômes, il y en a pour tous les goûts : tabac, confiseries, bière, champagne... Des additifs permettent ensuite de parfaire le mélange. Un peu d'éthanol (alcool pur), en dessous de 5 %, améliorerait le "hit", cette sensation agréable



6 Que risque le vapoteur passif ?

Quasiment rien. Les dangers du vapotage passif semblent mineurs, voire inexistants, en tout cas sans commune mesure avec ceux provoqués par le tabagisme passif. En effet, 95 % des gouttelettes présentes dans la vapeur émise ont disparu dans la minute, le risque théorique calculé étant 100 fois moins élevé qu'avec la fumée de cigarette. Toutefois, les gouttelettes se vaporisent ensuite en gaz, libérant des composés qui subsisteraient dans l'atmosphère plus longtemps. Oui, mais sont-ils nocifs ? Les cancérogènes (particules et monoxyde de carbone), responsables des

principaux effets délétères du tabagisme passif, sont ici quasiment absents. Une étude a bien détecté du formaldéhyde, réputé cancérogène, mais à des taux négligeables. Restent les irritants et la nicotine. Propylène glycol et glycérol, ainsi que la diacétine, dérivée du glycérol, ne sont jamais retrouvés, même dans les conditions les plus extrêmes, à des niveaux toxiques. Tout au plus une étude expérimentale menée par l'Américain Andreas Flouris a-t-elle décelé un faible passage de nicotine dans le sang du "vapoteur passif", associé à un léger impact bronchique à explorer.

8 Comment doser son taux de nicotine ?

éprouvée sur le larynx quand la fumée pénètre dans l'arrière-gorge. Un peu d'eau (pas plus de 5 %) atténue le dessèchement de la gorge provoqué par le PG. Des boosters ou adoucisseurs permettent ensuite de corriger le goût. Reste la nicotine, classée comme "très dangereuse" par l'OMS. Lunettes de protection et gants sont conseillés, surtout lorsqu'on dépasse des concentrations de 20 mg/ml. *A fortiori* si on travaille avec de la nicotine pure ! Attention, également, si vous ajoutez des huiles. Non solubles, certaines peuvent s'accumuler dans les poumons et causer des pneumopathies lipidiques parfois mortelles.

Par un petit calcul... Et par l'expérience ! Il faut d'abord souligner que, comparés à ceux annoncés sur les paquets de cigarettes, ces taux, compris entre 0 et 20 mg/ml, peuvent paraître très élevés. En réalité, les deux indications ne sont pas comparables. Les valeurs qui figurent sur les paquets de cigarettes correspondent à la quantité théorique de nicotine inhalée par cigarette (soit une faible fraction de celle présente avant combustion, qui est de l'ordre de 8 à 25 mg). Elle est mesurée à l'aide d'une "machine à fumer" imitant le comportement du fumeur standard, qui tire une fois par minute et pendant deux secondes

une bouffée d'un volume de 35 ml. Une cigarette légère délivrerait ainsi une dose de 0,6 mg de nicotine (1 mg pour une cigarette standard), mais on sait que, selon les fumeurs, la quantité réelle peut dépasser le double de celle annoncée...

Pour la cigarette électronique, on considère habituellement qu'un millilitre de liquide correspond à un paquet de 20 cigarettes. Ainsi, une cartouche contenant 1 ml de liquide à 12 mg/ml de nicotine équivaldrait à un paquet de cigarettes légères à 0,6 mg de nicotine ($0,6 \times 20 = 12$), ce calcul devant être adapté en fonction de la contenance de la cartouche. Mais atten-

tion ! Des études ont montré que seulement 60 % en moyenne de la nicotine présente dans le e-liquide est vaporisée, avec de grosses variations en fonction des modèles. Et d'autres déperditions se produisent quand la vapeur est inhalée, en fonction notamment de l'amplitude des aspirations. Sachant qu'il n'existe aucune machine à vapoter équivalant aux machines à fumer, l'établissement d'une comparaison entre e-liquides et cigarettes s'avère hasardeux. En attendant que d'autres études soient menées, seule l'expérience peut donc permettre au vapoteur de choisir l'e-cigarette qui lui convient...



EN PRATIQUE

QUESTIONS RÉPONSES



Doit-on vraiment craindre l'existence d'“OGM cachés” ?

Question d'Alexis Blanc, Paris 12^e

Votre question fait sans doute écho à la lettre ouverte adressée le 29 juillet dernier par dix associations paysannes et anti-OGM au ministre de l'Agriculture, dénonçant l'absence de contrôle entourant des “OGM cachés”. Mais encore faut-il savoir ce que ce terme désigne exactement.

Pour la législation européenne, trois techniques permettent de modifier génétiquement des végétaux. Les plantes ainsi obtenues sont donc des organismes génétiquement modifiés. La première, la transgénèse, est à l'origine, notamment, du célèbre maïs MON 810 de Monsanto. Cette technique

consiste à insérer dans le génome d'une plante un ou plusieurs gènes qui sont étrangers à son espèce. Cette pratique est encadrée par de nombreux tests, dont la pertinence est d'ailleurs âprement débattue.

DEUX MÉTHODES DISPENSÉES DE TESTS

Les deux autres méthodes sont, quant à elles, totalement exonérées d'analyses de risque comme de toute obligation d'étiquetage. D'où le terme “caché” régulièrement utilisé par leurs opposants pour désigner les plantes qui en sont issues. Il s'agit tout d'abord de la mutagenèse, qui ne vise pas à introduire un gène extérieur, mais à modifier les gènes existants. La technique consiste à induire aléatoirement des modifications dans l'ADN de la plante, en l'exposant à des agressions chimiques (méthanesulfonate d'éthyle) ou physiques (radioactivité et ultraviolets). Ces mutations peuvent entraîner, par hasard, l'apparition de caractères intéressants (modification de la taille, résistance à une maladie ou au froid, tolérance

à un herbicide, etc.). La seconde méthode est la fusion cellulaire (soit l'extérieur du noyau de la cellule), utilisée pour obtenir des plantes dont les parties mâles sont stériles, et donc empêcher une autofécondation, c'est-à-dire la fécondation des parties femelles d'une plante par ses propres parties mâles. Sans ce risque d'autofécondation, il est ensuite plus facile pour les agriculteurs de procéder, dans leurs champs, à des hybridations de différentes variétés. Pour obtenir cette stérilité mâle en laboratoire, une cellule de plante est fusionnée de force avec une cellule d'une autre espèce, qui possède naturellement les gènes de stérilité mâle recherchés.

Pourquoi ces techniques de modification génétique ne sont-elles pas régulées ? Officiellement, parce qu'elles n'ont d'autre impact que celui d'amplifier ce qui pourrait se produire naturellement, contrairement à la transgénèse, qui insère dans le génome des gènes qui ne s'y seraient jamais retrouvés autrement. Ainsi, la mutagenèse ne fait qu'augmenter le nombre de mutations →



▲ Seules les plantes transgéniques font l'objet de tests (ici, des ananas, à l'université de Zulia, Etats-Unis).



→ survenant régulièrement dans le génome des plantes, et la fusion cellulaire n'est exonérée des tests liés aux OGM que si elle est utilisée pour fusionner les cellules de deux espèces qui pourraient naturellement s'hybrider. Mais une autre raison, plus pragmatique, a probablement pesé dans la balance: ces techniques sont massivement utilisées en Europe depuis les années 1970... alors que la législation sur les OGM a été élaborée dans les années 1990, en réaction à l'arrivée des plantes obtenues par transgénèse. A l'époque, la mutagenèse et la fusion cellulaire étaient donc déjà des techniques familières, soulevant moins d'inquiétudes auprès du grand public et chez les agriculteurs.

Il n'existe d'ailleurs pas de données officielles concernant la part de l'agriculture représentée aujourd'hui par ces "OGM cachés", car ces derniers ne font l'objet d'aucune déclaration obligatoire. Et les plantes obtenues par mutagenèse ne peuvent être différenciées, *a posteriori*, des plantes non-OGM

– ce qui implique d'ailleurs que l'on en retrouve dans l'agriculture bio (voir encadré ci-dessous). En France, *"la majorité des espèces cultivées sont concernées"*, affirme Anne-Marie Chèvre, chercheuse à l'Institut national de la recherche agronomique. En particulier, *"tous les riz et la plupart des tourneforts sont mutés"*, souligne Guy Kastler, membre de la Confédération paysanne. *En outre, la totalité des colzas utilisés pour concevoir de l'huile, ainsi que la plupart des plantes de la famille des choux, sont issus de la fusion cellulaire.* Une estimation qui fait débat.

Quelques données chiffrées existent. Un programme conjoint de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) et de l'Organisation pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) recense un minimum de 3218 variétés de plantes obtenues par mutagenèse, appartenant à 224 espèces dans le monde (principalement des céréales, mais aussi des légumes, des plantes oléagineuses ou ornementales), dont 30 % sont cultivées en Europe. **J.G.**

DES OGM PRÉSENTS JUSQUE DANS LE BIO

L'agriculture bio rejette-t-elle les "OGM cachés"? Sur le principe, oui. Mais il aura fallu du temps... Ce n'est qu'en 2008 que l'Ifoam (Fédération internationale des mouvements d'agriculture biologique) a officiellement reconnu la fusion cellulaire comme contraire aux principes de l'agriculture biologique. Quant à la mutagenèse, difficile de l'exclure... car les plantes qui en sont issues sont déjà omniprésentes dans l'agriculture française, et ne peuvent être différenciées des plantes non-OGM. On les trouve donc encore aujourd'hui dans la plupart des champs et magasins bio!

1 Les électrons de l'énorme atome d'or ont une vitesse de rotation équivalente à la moitié de celle de la lumière



Noyau de l'atome d'or



Tableau périodique des éléments

Avec son gros noyau de 79 protons et 79 neutrons, l'atome d'or est le 78^e atome naturel le plus lourd (sur 91).



Lingot d'or

Pourquoi l'or brille-t-il?

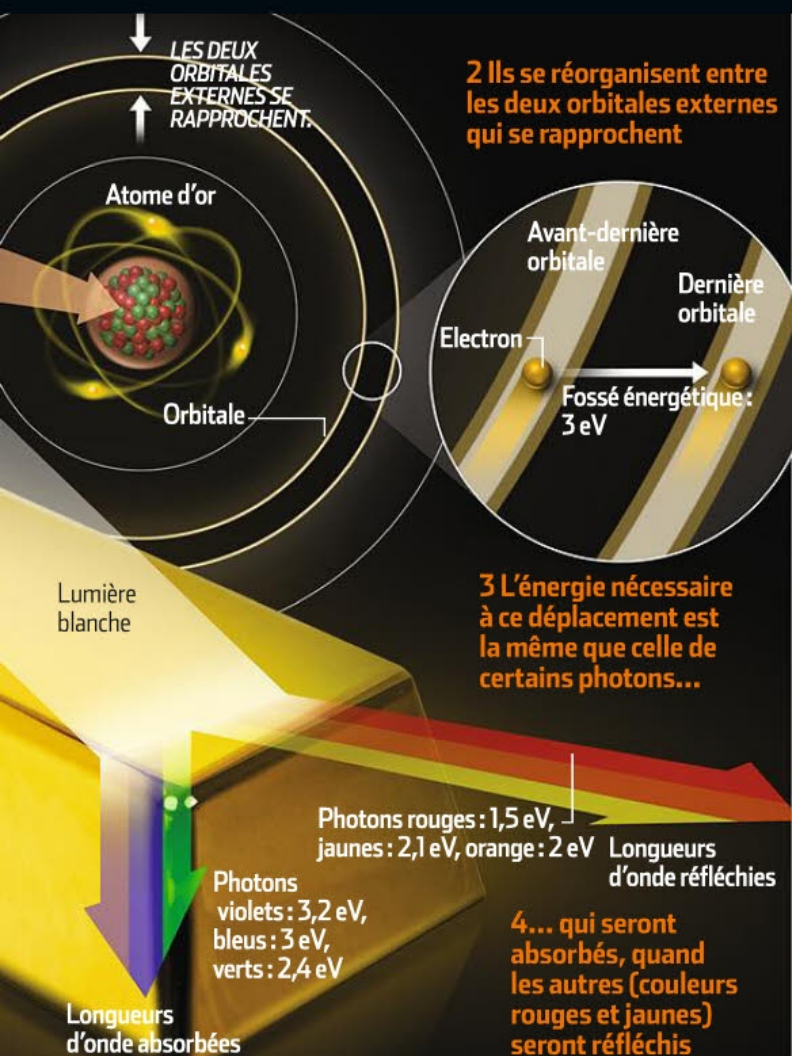
Question de Guillaume Leconte, Mons-en-Baroeul (59)

L'éclat particulier de l'or, sa fascinante robe jaune s'explique en fait par... la théorie de la relativité restreinte. Mais pour comprendre comment les fameuses lois d'Einstein appliquées aux atomes d'or confèrent au métal cette luminosité si spécifique, il faut d'abord revenir sur le mécanisme qui attribue une couleur aux matériaux.

Lorsqu'on lui envoie de la lumière blanche, tout solide absorbe une partie des rayons et en réfléchit une autre. *"Tout se décide vraiment au niveau atomique"*, dévoile Pekka Pyykkö, professeur de chimie à l'université d'Helsinki (Finlande).

C'est l'énergie nécessaire pour mener un électron de l'avant-dernière à la dernière orbitale des atomes qui détermine la portion de lumière absorbée... et donc la couleur apparente du métal. Si la plupart des métaux sont plutôt gris-blancs et n'ont pas de couleur définie, c'est parce que la portion de lumière absorbée par le métal correspond en général aux ultraviolets, invisibles pour l'œil humain.

Mais il n'en va pas de même pour l'atome d'or. Avec son noyau aux 79 protons, l'or est l'un des éléments stables les plus lourds qui soient – une qualité plus essentielle encore



que sa couleur. Du fait de cet énorme noyau, la force exercée sur les électrons est très forte, surtout pour les plus proches d'entre eux. Leur vitesse de rotation est donc grandement accélérée: elle peut atteindre jusqu'à la moitié de celle de la lumière.

LES EFFETS RELATIVISTES

Les électrons deviennent ainsi soumis aux étranges effets relativistes prédits par Einstein avec, en particulier, une masse qui s'accroît de 20 % environ. De quoi réorganiser toutes les orbitales électroniques. "Les effets relativistes peuvent rapprocher du noyau certaines orbitales, et en éloi-

gner d'autres, précise le chimiste. Pour le cas très particulier de l'or, ce sont les deux couches externes qui vont se rapprocher l'une de l'autre." Ce déplacement réduit le fossé énergétique nécessaire à la transition de leur électron, qui va alors atteindre une énergie d'environ 3 électronvolts. Ce qui correspond à une partie de la lumière visible: entre le violet, le bleu et le vert. Ces longueurs d'onde sont donc absorbées par le métal, et seules les couleurs restantes, un mélange de rouge, d'orange et de jaune, seront réfléchies, pour obtenir alors cette fascinante teinte dorée. **S.D.**

D'où viennent les allergies alimentaires ?

Question de Tran Tran Trang, Nanterre (92)

Qu'il s'agisse d'allergies à l'arachide, au lait de vache ou aux œufs – les plus fréquentes –, ces réactions exagérées de défense de notre système immunitaire, qui identifie à tort un aliment comme dangereux, peuvent être héréditaires. A condition, bien sûr, d'avoir une prédisposition génétique. Selon les dernières études épidémiologiques, les enfants dont les parents sont allergiques présentent un risque de 60 % d'être eux aussi allergiques. Risque qui chute à 40 % si seulement l'un des deux parents est allergique et à 15 % si aucun ne l'est.

Une allergie alimentaire est un dérèglement immunitaire associé à une forte production d'anticorps, les immunoglobulines E qui, en se liant spécifiquement à l'allergène sur les cellules immunitaires, provoquent la réaction responsable de démangeaisons, d'eczéma, de rougeurs, d'urticaire voire d'œdèmes. Ces réactions apparaissent ha-

bituellement avant l'âge de 4 ans, lorsque les systèmes digestif et immunitaire ne sont pas encore matures.

DES CAUSES MULTIPLES

"Ce sont les modifications sur des gènes impliqués dans la régulation de ces mécanismes immunitaires qui expliquent l'hérédité des allergies alimentaires", précise Loïc Bureau, spécialiste des allergies alimentaires à l'université de Rennes. Mais l'environnement joue aussi un rôle déterminant. "Les particules provenant du diesel ou du tabac, le stress et les médicaments peuvent ainsi freiner l'action de gènes codant pour des anticorps du système immunitaire, souligne Anne Moneret Vautrin, professeur au service d'allergologie du CHU d'Epinal. L'industrialisation des aliments et les profondes mutations de notre alimentation peuvent aussi expliquer le risque accru d'allergies alimentaires depuis vingt ans." **J.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-Orly, 92543 MONTRouGE CEDEX.



Comment sait-on si l'on manque de vitamine D ?

Question d'Olivier Fedorow, Chilly-Mazarin (91)

C'est difficile à déceler. La vitamine D est une hormone produite par notre organisme et dont la synthèse est stimulée à 90 % par le soleil. Elle contribue au bon fonctionnement des muscles et des systèmes hormonal et immunitaire et permet notamment aux os et aux reins d'absorber le calcium et le phosphore. Selon le rapport de la Haute Autorité de santé publié en janvier 2013, seule une carence en vitamine D (moins de 20 ng/ml de sang) donne lieu à de graves pathologies (contrairement à l'insuffisance en vita-

mine D, entre 20 et 30 ng/ml), comme l'ostéomalacie. *"Cette maladie se manifeste par de graves déformations des os, des fractures et de fortes douleurs musculaires"*, explique Michael Holick, professeur de médecine au Centre médical de l'université de Boston (Etats-Unis) et spécialiste de la vitamine D.

DISTINGUER ENTRE INSUFFISANCE ET CARENCE

Mais les tests sanguins ne sont pas suffisamment fiables pour trancher entre insuffisance et carence. *"Seule la chromatographie*

liquide couplée à la spectrophotométrie de masse permet de connaître son statut exact en vitamine D, souligne Marie-Thérèse Leccia, professeur en dermatologie et photobiologie au CHU de Grenoble. Or, cette technique très coûteuse n'est accessible que dans certains centres hospitaliers et laboratoires de recherche." La vigilance reste donc de mise, notamment l'hiver et pour les personnes qui ne s'exposent jamais au soleil (nouveaux-nés, enfants en bas âge, personnes âgées). Cinq minutes de soleil trois fois par semaine permettraient de produire la quantité suffisante de vitamine D. J.G.

➤ Seul un examen coûteux et peu répandu permet de connaître son taux exact de vitamine D (ici, en cristaux).

Pourquoi met-on des cailloux sous les voies ferrées ?

Question de Daniel Wolf, Dombasle-sur-Meurthe (54)

Placé sous les traverses qui maintiennent les deux rails écartés, le lit de pierres qui compose le ballast est crucial pour stabiliser la voie ferrée: il répartit au sol la charge engendrée par la circulation des trains, pour que le sol ne se déforme pas par tassement et n'altère pas le confort des voyageurs. Si ces cailloux ne sont pas liés les uns aux autres, ils bénéficient néanmoins d'une

certaine cohésion entre eux qui leur permet de résister aux forces générées par le passage du train... Le ballast est donc tout sauf un banal tas de pierres.

LA MASSE ET LE POIDS

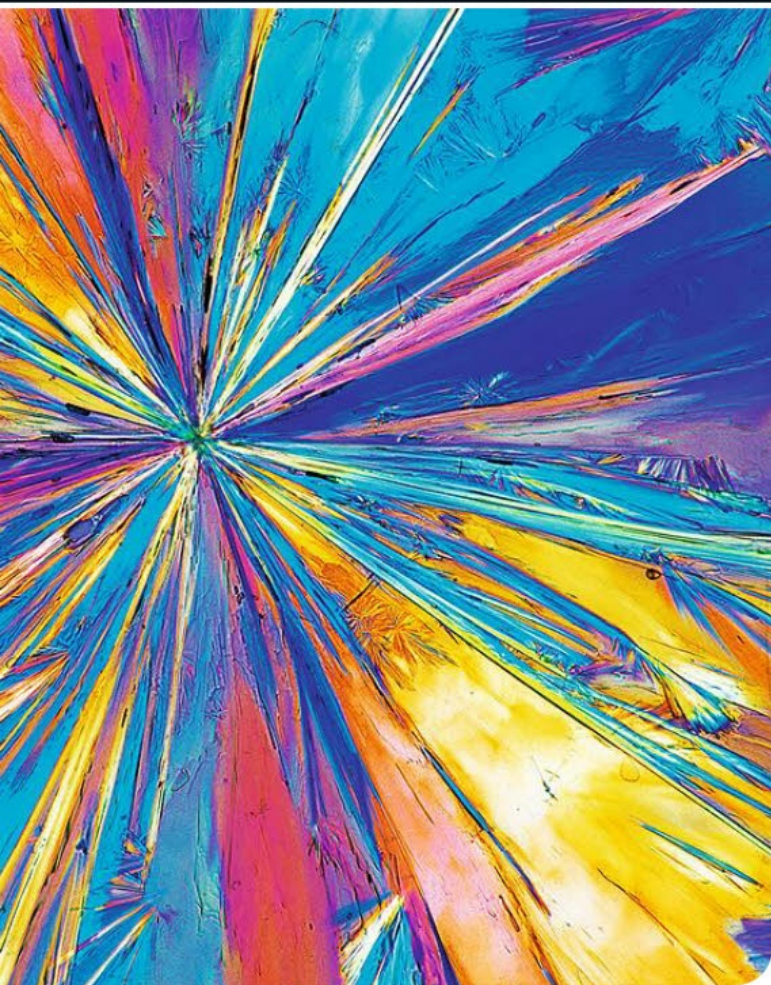
"Il est formé de cailloux particuliers de 2,5 à 5 cm de diamètre, issus de roches dures concassées (généralement des roches éruptives: granite, quartzite...), qui

sont assez lourds. De plus, ils possèdent une surface rugueuse et sont très anguleux; ceci leur confère différents points de contact pour s'imbriquer les uns dans les autres, formant ainsi une masse compacte avec une certaine cohésion. Or, cette cohésion et le poids des grains de ballast suffisent à contrecarrer les forces qu'ils subissent lors du passage du train", détaille Olivier Ca-

zier, chef de l'unité "référentiels techniques" chez Réseau ferré de France (RFF).

Sans compter l'épaisseur de la couche de ballast, qui a été calculée de manière à pouvoir supporter les forces engendrées par le passage des trains. Elle varie selon la charge et l'intensité du trafic: 30 cm sur une ligne classique, contre 40 cm sur les lignes à grande vitesse (LGV, allant jusqu'à 300 km/h), plus sollicitées.

Ceci dit, le ballast peut parfois sortir de son lit, no-



Plisser des yeux permet-il de mieux entendre ?

Question de L. Hardy, Longueil (Canada)

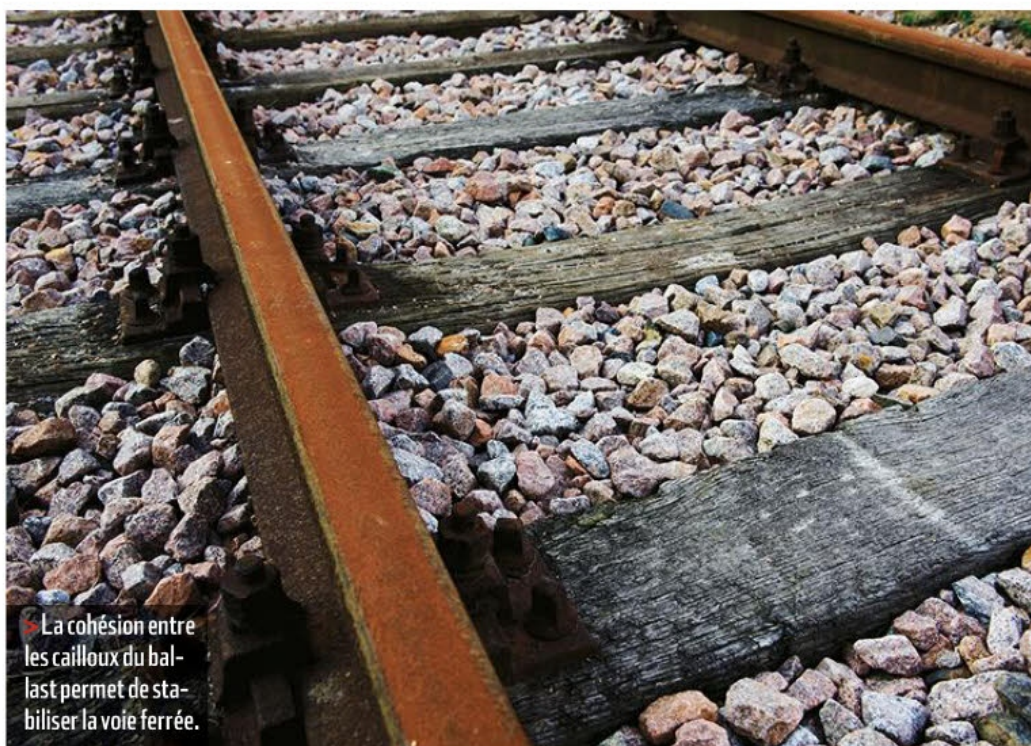
En fait, la vision restant le sens dominant chez l'être humain, le plissement des yeux réduit la part de cette information au sein du cortex somatosensoriel, au profit des informations sonores.

En parallèle, cet acte instinctif améliore la perception des détails de ce qui est au centre du champ de vision. Par exemple, "on gagne de 10 à 20 % d'intelligibilité lorsqu'on lit sur les lèvres de son interlocuteur dans un environnement bruyant, et on réduit par ailleurs l'effort d'écoute", affirme Michel Hoen, neurobiologiste et chercheur sur la

compréhension de la parole dans le bruit au Centre de recherche en neurosciences de Lyon. "Les indices visuels et auditifs sont aussi importants l'un que l'autre dans la compréhension de la parole, explique-t-il. Dans le cortex préfrontal des primates, notamment, des neurones multisensoriels, en particulier des neurones audiovisuels, répondent lorsqu'ils entendent quelqu'un parler, mais aussi lorsqu'ils voient la personne bouger les lèvres. Ces neurones travaillent mieux quand ils disposent simultanément de ces deux entrées sensorielles." L.P.C.

tamment quand les arêtes de ses cailloux sont usées. Ceux-ci risquent alors de ne plus rester enchevêtrés les uns dans les autres quand le train passe... Une machine, appelée "bourreuse", vient alors remettre le ballast en place en le recompactant sous les traverses et les rails. Cet entretien se fait normalement une fois par an sur les LGV très utilisées; tous les trois à cinq ans sur les lignes moins rapides; et quasiment jamais sur les autres.

Notons que RFF réfléchit à des voies en béton sans ballast pour faire circuler les TGV allant de 320 à 350 km/h, afin de se prémunir du risque que le ballast s'envole par endroits. K.B.



La cohésion entre les cailloux du ballast permet de stabiliser la voie ferrée.



EN PRATIQUE

TECHNOFOLIES

La voiture qui conduit toute seule dans les bouchons

Dans la famille des dispositifs de pilotage automatique, voici le Stop & Go Pilot de Mercedes, qui prend le volant... dans les embouteillages. Une option high-tech, sur laquelle le conducteur doit toutefois garder un œil...

Après la voiture qui accélère, qui freine, qui corrige la trajectoire et qui se gare toute seule, voici la voiture qui se pilote toute seule. Sans les pieds et sans les mains ! Mais attention : ce

pilotage automatique est limité à 30 km/h. En clair : il ne s'agit pas de rouler sur l'autoroute les yeux fermés, mais uniquement dans les embouteillages, lorsque les voitures avancent au pas et font l'accordéon. Telle est l'option que propose le constructeur allemand Mercedes sur la nouvelle version de sa Classe S lancée en septembre, via le dispositif Stop & Go Pilot. Une fois programmé par le conducteur, il prend, en théorie, les commandes du véhicule pour que celui-ci reste dans sa file. Il ajuste la direction et régule la vitesse afin de maintenir la distance de sécurité avec la voiture qui le précède. Bien sûr, il freine et stoppe la voiture avant qu'elle ne percute quoi que ce soit.

Le secret du Stop & Go Pilot ? Simple : les ingénieurs ont poussé d'un cran les possibilités offertes par des dispositifs d'aide à la conduite déjà répandus, comme le régulateur de vitesse adaptatif et l'assistance directionnelle. Une caméra sté-



réoscopique placée derrière le rétroviseur central balaye l'avant de la voiture afin de localiser le marquage au sol et d'en déduire la position du véhicule dans sa voie. Trois radars (jusqu'à 200 m de portée) situés derrière la calandre permettent de mesurer à quelle distance se trouvent les voitures à l'avant.

À CERTAINES CONDITIONS

Grâce à ces "yeux", le système peut tourner le volant, accélérer ou freiner (jusqu'à l'arrêt complet). Du moins dans des conditions idéales. Car lorsque la caméra n'est plus capable de "lire" la route – en raison, par exemple, d'un brouillard épais ou d'un marquage au sol dégradé –,

le système alerte, grâce à un signal sonore et visuel, le conducteur qu'il lui repasse les commandes.

En cas d'absence de lignes blanches, la Classe S peut cependant décider de suivre le véhicule précédent. Mais si ce dernier fait une sortie de route, pour quelle option va-t-elle opter ? Et si un motard remonte entre les voies : sait-elle se déporter ? *"Le conducteur doit toujours rester maître de son véhicule"*, tranche-t-on laconiquement chez Mercedes. Le système ne peut donc se passer totalement de l'humain, qui devra garder sans cesse

3 DATES CLÉS

1977

L'université de Tsukuba, au Japon, fait rouler, sur circuit, à 30 km/h, un véhicule qui suit le marquage au sol.

2006

La Toyota Lexus LS 460 est le premier véhicule de série doté d'un dispositif de correction active de la trajectoire.

2010

Google dévoile 8 voitures équipées d'un lidar (détection laser), de radars, d'une caméra et d'un GPS, capables de rouler seules sur un parcours programmé.

Avancer-freiner

La voiture se cale sur le véhicule devant elle. S'il démarre, le régulateur de vitesse accélère, et maintient une distance adaptée, mesurée par radar. Il peut également stopper la voiture en cas de ralentissement.

La caméra stéréo filme le trafic et repère le marquage au sol. Elle voit en 3D jusqu'à 50 m et en 2D jusqu'à 500 m.

Trois radars mesurent les distances avec les autres usagers de la route.

Comment ça marche ?

Une caméra 3D filme le trafic et la route. Des radars – de courte, moyenne et longue portée – mesurent la distance avec le véhicule qui précède. Ces données sont analysées dans un calculateur qui va, au besoin, déclencher une accélération, un freinage ou un braquage du volant pour aider le véhicule à rester à distance du véhicule précédent et au centre de sa voie de circulation.

Tourner

Quand la route tourne, la caméra, qui détecte les lignes blanches, ordonne au système de tourner les roues en générant un couple dans la direction assistée.

Interpréter

En cas de situation ambiguë (véhicule suivi qui sort de sa file, insertion d'un autre...), le système émet un signal et impose au conducteur de reprendre le contrôle.

▲ Le Stop & Go Pilot est disponible sur la nouvelle Mercedes Classe S. Il s'utilise à moins de 30 km/h.

un œil sur la route pour pouvoir reprendre le contrôle à tout moment. Un sacré bémol au pilotage réellement automatique puisque, dès lors, le conducteur devient l'assistant forcément assidu de celui-ci...

De fait, même si la Mercedes est bardée de capteurs lui permettant par ailleurs de repérer les véhicules dans l'angle mort ou les piétons, ces derniers peinent encore à égaler la capacité

d'analyse humaine. *"La difficulté est essentiellement logicielle. Ces systèmes n'ont pas encore assez d'expérience, estime Laurent des Places, associé en charge du secteur automobile au cabinet d'audit KPMG. Ils ont du mal à anticiper que si un ballon traverse la route, il y a un risque qu'un enfant surgisse. Ou à faire un choix critique, du type : vaut-il mieux percuter un piéton ou un abribus?"*

Ces dispositifs n'en sont pas moins amenés à se généraliser dans les prochains mois (Lexus, Volvo, Nissan et BMW annoncent des systèmes similaires), car ils ouvrent la voie aux voitures 100 % autonomes, supposées plus sûres par les constructeurs et considérées comme l'avenir de l'automobile. *"Cela passera par des capteurs, comme ceux de la Classe S, mais aussi par l'échange d'infor-*

mations entre les véhicules, pour transmettre des alertes de façon anticipée", rappelle Laurent des Places. Les premières voitures capables de communiquer entre elles sont prévues pour 2014. La voiture autonome, elle, est annoncée pour 2020.

Pierre-Yves Bocquet

Prix : env. 2700 € l'option (incluant la détection de piétons, d'angle mort et le freinage d'urgence). Rens. : www.mercedes-benz.fr



> Collé à même la peau, ce détecteur transmet un signal à un centre d'appel en cas de chute de son porteur.



Le patch qui détecte vos chutes

Le système Vigi'Fall, développé par la start-up française Vigilio, permet de détecter quasiment 100 % des chutes. Destiné aux personnes âgées, il se compose d'un détecteur triangulaire (de 4 cm de côté et de 1,75 cm d'épaisseur) qui se colle directement sur la peau. A l'intérieur, un capteur accélérométrique – qui sait distinguer les positions couchée et debout – émet un signal si son détenteur tombe. Il est transmis à

un boîtier auquel sont également reliés des détecteurs de mouvement infrarouges disséminés dans la maison.

Si le boîtier ne distingue plus aucun mouvement ni déplacement après un temps prédéfini en fonction des habitudes de la personne, il appellera un centre de secours qui, à son tour, tentera de joindre le porteur du Vigi'Fall. En l'absence de réponse, le centre déclenchera l'arrivée des secours. **S.F.**

Prix : environ 990 €. Rens. : www.vigilio.fr

Une souris hybride tactile

Conçu par la société taïwanaise Asus, Vivomouse est un périphérique hybride sans fil qui se manipule soit comme une souris optique classique (avec une sensibilité de 1200 dpi), soit en mode tactile : sa surface lisse et circulaire peut servir de pavé tactile comme sur un ordinateur portable. Destiné à être utilisé sous Windows uniquement, le pavé intègre notamment toutes les fonctions associées à Windows 8. Ainsi, en écartant deux doigts sur le disque, vous agrandirez la partie de l'écran sur laquelle se trouve le curseur, tandis qu'un mouvement de rotation le fera

pivoter. Pour faire défiler l'écran vers le haut ou le bas, il suffira d'effleurer le bord inférieur du disque. Un mouvement de balayage du bord vers le centre fera quant à lui apparaître le menu des applications et autres icônes appelées "charmes"

("rechercher", "paramètres"). La souris ne possédant aucun bouton, une petite tape sur le bord du disque servira de clic (elle n'est donc pas adaptée pour jouer !). A noter que Vivomouse est

aussi compatible avec Windows 7 et que, prise dans la paume de la main, elle peut être utilisée comme télécommande. **S.F.**

Prix : non communiqué. Rens. : www.asus.com/fr/



LE PREMIER SIÈGE "SPÉCIAL TELEPHONE ET TABLETTE"

Gesture est le premier siège au monde adapté aux personnes qui utilisent les nouveaux appareils nomades (tablettes, smartphones...). Suite à une étude menée sur 2000 personnes dans onze pays, la société américaine Steelcase a en effet répertorié neuf nouvelles postures liées à l'utilisation de ces nouveaux écrans. Elle a également identifié que ces postures pouvaient à la longue être inconfortables sur des sièges traditionnels. C'est là que Gesture entre en scène. Ses accoudoirs ont été redessinés et peuvent se surélever pour soutenir les bras lors de l'envoi de textos (posture dite "texteur") ou encore s'écarter pour permettre à l'utilisateur de se rapprocher d'un écran (posture "surfeur"). Le dossier et l'assise de Gesture réagissent également comme un système synchrone (de basculement), garantissant un maintien parfait, notamment dans la posture dite "vautrée", c'est-à-dire ultra-inclinée!

S.F.

Prix: environ 1000 €. Rens.: www.steelcase.fr



LE COIN DES PROTOTYPES

UN BALLON DE FOOT POUR TRAVAILLER SON SHOOT

Les entraîneurs sont-ils menacés par le Smart Ball ? Conçu par l'entreprise allemande Adidas, ce prototype, qui a nécessité trois ans de recherche, "coache" les apprentis footballeurs pour améliorer leur technique de frappe ! Semblable, de prime abord, à un ballon traditionnel (il respecte les standards exigés par la Fédération internationale de football), le Smart Ball dissimule ses secrets dans sa sphère de cuir : celle-ci contient un accéléromètre et un magnétomètre destinés à calculer la vitesse et la position du ballon. A chaque tir, ces données s'affichent sur un smartphone via Bluetooth. Une application dédiée reproduit en 3D la trajectoire et prodigue ses conseils, en indiquant, par exemple, à quel endroit la balle doit entrer en contact avec le pied en fonction du type de shoot. Le joueur pourra ainsi s'entraîner à imprimer plus d'effet ou bien travailler la puissance pure, façon Ronaldo !

S.B.

Rens.: <http://news.adidas.com>



UNE VOITURE SOLAIRE À PANNEAUX MOBILES

Resolution est une voiture 100 % solaire unique. Au lieu d'être fixés sur le toit, ses panneaux sont logés dans le coffre, sur des plateformes mobiles, et suivent la trajectoire du soleil. Selon ses créateurs – une soixantaine d'étudiants de l'université de Cambridge (Royaume-Uni) –, cette solution améliorerait leur rendement de 20 %, sans réduire l'aérodynamisme. Conçue pour participer au World Solar Challenge, une course de 3000 km dédiée aux voitures solaires qui débutera en octobre en Australie, Resolution a été allégée au maximum : la structure, essentiellement en carbone, a été assemblée avec de la glue, et le moteur est logé directement dans la roue arrière gauche. Le véhicule, long de 4,5 m, large de 0,8 m et haut de 1,1 m, ne pèse ainsi que 120 kg. Il serait capable d'atteindre les 140 km/h !

G.S.

Rens.: www.cuer.co.uk





Ce smartphone pense très fort aux seniors

Le Stylistic S01 de l'entreprise japonaise Fujitsu est un téléphone mobile dédié aux seniors. Toute son ergonomie a été conçue autour de fonctionnalités adaptées. Ainsi, le son du haut-parleur est amplifié et compatible avec les appareils auditifs. Pour améliorer la qualité de la conversation, le smartphone dispose d'un double micro réduisant le bruit ambiant et d'un système ralentissant le débit de la voix de l'interlocuteur à 70 % de sa vitesse initiale : il écourté pour cela les silences presque en temps réel pour "étirer" chaque mot tout en conservant la fluidité de la phrase. Pour faciliter l'usage de l'interface tactile, le smartphone est également doté d'une technologie spéciale de saisie : un premier toucher sur une icône permet de sélectionner un élément (alors entouré en bleu). Le clic doit ensuite être validé en maintenant l'appui. L'appareil déclenche alors une faible vibration qui indique que l'application va bien être lancée. En cas d'urgence, l'utilisateur peut appeler rapidement un contact favori – et aussi lui envoyer un SMS – en actionnant simplement une tirette présente sur le côté du téléphone. Si le destinataire ne décroche pas au bout de trois appels, le Stylistic S01 appelle un second contact, et ainsi de suite.

Pour finir, des applications liées à la santé (mesure du pouls, podomètre, journal du sommeil) sont pré-installées. Cet appareil, qui fonctionne avec le système d'exploitation Android, dispose aussi d'un capteur photo de 8 mégapixels et de 4 Go de mémoire interne, extensibles via une carte micro SD. Il est compatible wi-fi (802,11 n) et Bluetooth 4.0 et 3G.

Ph.R.

Prix : env. 90 € avec l'abonnement Orange.
Rens. : <http://boutique.orange.fr>

> Le Stylistic S01 ajuste le débit de la voix de l'interlocuteur, amplifie les sons et son utilisation est simplifiée.



Il projette même en plein jour !

Inutile de fermer les rideaux avant de projeter un film... Conçu pour être utilisé comme un téléviseur, ce nouveau projecteur home cinéma 3D HD25-LV d'Optoma permet de profiter des images, même en plein jour. Son secret pour combattre la luminosité ambiante ? C'est sa lampe, de 3200 lumens, 30 % plus puissante que celle des vidéoprojecteurs standard. De plus, elle s'ajuste automatiquement en fonction de la luminosité de chaque image, afin de parfaire le contraste (ratio de 20 000 : 1, c'est-à-dire que le blanc est 20 000 fois plus lumineux que le noir). Doté de haut-parleurs 16 watts intégrés, ce projecteur ne nécessite pas l'ajout de haut-parleurs externes. Enfin, sa durée de vie va jusqu'à six mille heures (deux fois plus que les modèles classiques).

J.H.

Prix : env. 1190 €.
Rens. : www.optoma.fr

LE TEE-SHIRT "REDRESSEUR"

Exit les épaules qui tombent avec le Up T-shirt, imaginé par la société française Upcouture. Une pression les rappelle à l'ordre dès qu'elles quittent leur alignement idéal. Tout repose sur une résistance élastique en forme de 8, fixée entre les couches de coton bio du tee-shirt, de part et d'autre du haut des bras, et qui enveloppe les deux épaules. Elle revient à sa forme initiale dès que celui qui porte le tee-shirt se tient de nouveau droit. Une autre résistance, transversale celle-ci, entre les deux épaules, renforce le système.

Ph.R.

Prix : env. 130 €.
Rens. : www.upcouture.com



[L'ÉVÉNEMENT CONTINUE!]



Visuel non contractuel

**UN COFFRET
DE DEUX LIVRES
EXCEPTIONNELS**

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

VOLUME 1 :

« UN SIÈCLE DE SCIENCE PAR SCIENCE & VIE »

VOLUME 2 :

« LES MEILLEURS ARTICLES DU SIÈCLE »

**Disponible fin octobre en librairie
et sur www.laBoutiqueScienceetVie.com**



EN PRATIQUE

CIEL DU MOIS

Par Serge Brunier

NORD

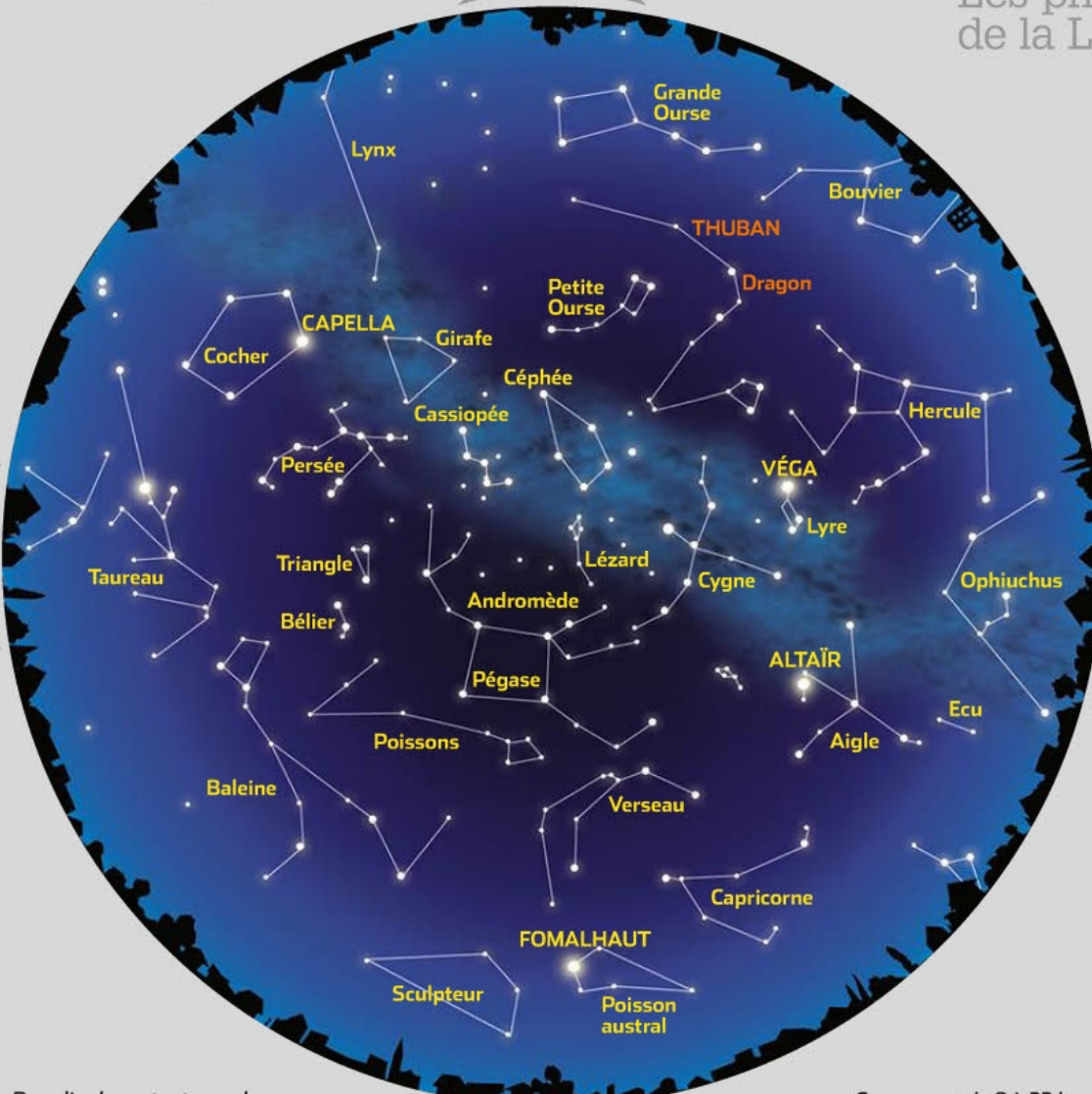
Les phases de la Lune



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 8 à 22 heures

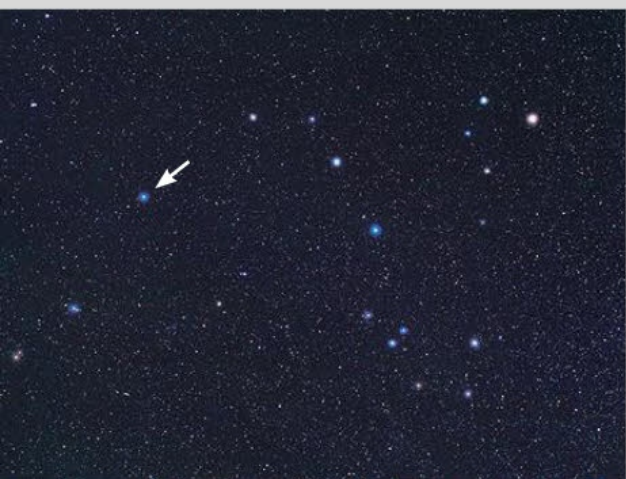
B.A.TAFRESH/NOVAPIX - B&S.FLETCHER/NOVAPIX



À NE PAS MANQUER... LE 8

Cette nuit-là, la Terre croise l'orbite de la comète Giacobini-Zinner, laquelle, chauffée par le rayonnement du Soleil, laisse sur son passage une multitude de particules de roches et de glaces. Les plus grosses d'entre elles, en pénétrant à 70 000 km/h dans l'atmosphère terrestre, s'échauffent, brûlent et éclairent le ciel, laissant la trace fugace d'une étoile filante. Si le maximum d'intensité de cet essaim – une quinzaine d'étoiles par heure, à partir de 22 h – surviendra le 8, elles seront aussi visibles les 7, 9 et 10 octobre.

< Le croisement de la Terre et d'une comète provoquera une pluie d'étoiles filantes.



▲ Aujourd'hui située à 25 degrés de l'étoile Polaire, Thuban indiquait le pôle Nord céleste il y a 5 000 ans.

THUBAN DU DRAGON

Thuban est une modeste étoile de la constellation du Dragon qui eut, un temps, son heure de gloire auprès des hommes. Bien visible à l'œil nu sous un beau ciel de campagne, cette jeune étoile située à 300 années-lumière de la Terre est 5 fois plus massive, 6 fois plus grande et 250 fois plus lumineuse que le Soleil. Voici 5 000 ans, Thuban était située exactement dans l'axe de rotation de la Terre, un fait qui n'avait pas échappé aux astronomes égyptiens. Aujourd'hui, elle se trouve à 25 degrés du pôle Nord céleste, actuellement occupé par l'étoile Polaire. Ce décalage, qui l'a chassée de notre mire, est dû à la précession des équinoxes, ce lent mouvement de toupie qu'exécute la Terre dans l'espace.



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

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



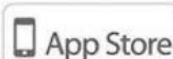
ePresse.fr
**Votre kiosque
ouvert
24h/24 7j/7**



**e
Presse**

**Vos journaux sur
tous les écrans**

**Téléchargez gratuitement
l'application ePresse sur**



*Offre valable sur les forfaits et bouquets illimités sur ePresse.fr

© La petite agence dans la prairie - Crédits photos : Thinkstock.

CONTRE-SOMMAIRE

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

4,2 dents cariées p. 36	Le confort des voyageurs p. 134
A ne rater sous aucun prétexte p. 104	Le temps qui passe.....p. 103
Au cœur de l'Ouralp. 100	Les plus pressés.....p. 30
Avec un peu d'abnégationp. 104	Lit de pierres..... p. 134
Aveu d'impuissance p. 94	Musculation mentale p. 54
Balbutiant p. 93	Ne manquait pas d'ambition.....p. 102
Bouger les lèvres p. 135	Oui, mais.....p. 104
Brise-glace.....p. 46	Pas très reluisantp. 102
Cerbères peu commodes. p. 101	Perspective post-apocalyptique p. 90
Chasse aux trésors.....p. 99	Pire que l'indifférence ...p. 100
Chats vertsp. 112	Plus cruelp. 100
Choyés.....p. 100	Poignée d'aventuriers p. 102
Cœur chimérique p. 35	Profusion superfétatoire..... p. 89
Contrecarrer.....p. 134	Romans d'espionnage.....p. 100
Dans ces régions hostilesp. 105	Rustines.....p. 35
D'humeur maussade.....p. 122	Rutabagasp. 84
Dalaï-lama.....p. 52	Sans remordsp. 84
De la confiture aux cochons.....p. 28	Sauf que...p. 102
Elle est horrifiéep. 101	Scénario déchirant.....p. 100
En période de vaches maigresp. 109	Se mettre au frais.....p. 30
Entrepreneurs peu scrupuleuxp. 55	Se retrouver face à soi-même.....p. 63
Expédiées à la cavep. 100	S'il n'est pas trop tard....p. 100
Fanfaronnade?p. 89	Sortir de son lit.....p. 134
Fatras indescriptiblep. 100	Stupéfiante beautép. 23
Formidable!.....p. 104	Sur le front d'Italiep. 53
"Has been"p. 100	Syndrome de l'œil paresseuxp. 36
Hippies.....p. 52	Titillép. 86
Il y avait un problème.....p. 105	Transe hypnotiquep. 64
Itératifp. 91	Très mauvaise réputationp. 55
Juge et bourreaup. 84	Un scandale!p. 100
"Kit de démarrage de la civilisation"p. 90	Une certaine forme d'insouciance p. 103
La dernière roue du carrosse.....p. 102	Vous avez dit <i>Nimbus</i> ?.. p. 104

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

Philippe Chambon, 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. Aubin, S. Barge,
K. Bettayeb, L. Blancard, P.-Y. Bocquet,
B. Bourgeois, R. Brillaud, S. Brunier,
O. Capronnier, L. Cavicchioli, M. Chaballier,
G. Cirade, A. Debroise, A.-L. Delaunay, S. Dessert,
S. Devos, O. Donnars, V. Etienne, S. Fay, J. Fraud,
J. Grenèche, J. Hocine, D. Humbert, R. Ikonicoff,
M. Kontente, O. Lapirot, M. Martin, M. Mayo,
M.-C. Merat, E. Monnier, Ph. Pajot, L. Parra
Craviotto, A. Rebmann, Ph. Richard, G. Siméon,
M. Spée, S. Tesson

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 3101);

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

ÉDITEUR MONDADORI MAGAZINES FRANCE

Siège social : 8, rue François-Ory
92543 Montrouge Cedex

DIRECTEUR DE LA PUBLICATION

Camille Perna

ACTIONNAIRE PRINCIPAL

Mondadori France SAS

IMPRIMEUR : Mondadori Printing S.p.A.,

Via Luigi e Pietro Pozzoni, 11
24034 Cusano Bergamasco (Bergamo)
N° ISSN : 0036-8 369

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 octobre 2013

RELATIONS CLIENTÈLE ABONNÉS

Par mail : relations.clients@mondadori.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

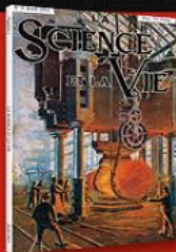
tél. : 01 46 48 48 97

relations.clients@mondadori.fr



EN KIOSQUE CE MOIS-CI





Pour vous remercier de prendre le temps de répondre, un tirage au sort sera effectué parmi les questionnaires reçus.

Vous aurez ainsi la possibilité de recevoir :

- L'un des 20 exemplaires de la réédition du *Science & Vie* n° 1 d'avril 1913

Une fois rempli et complété, ce questionnaire est à nous retourner au plus vite, sans l'affranchir, à l'adresse suivante :

Science & Vie - Libre réponse 23016 - 92125 MONTROUGE CEDEX

Q1. Vous lisez Science & Vie...

- > Tous les mois 1
- > De 6 à 10 numéros par an 2
- > De 3 à 5 numéros par an 3
- > Moins de 3 numéros par an 4
- > C'est la première fois 5

Q2. Comment vous procurez-vous Science & Vie, en général ?

- > Vous êtes abonné
(vous ou une autre personne de votre foyer) 1
- > Vous l'achetez chez votre marchand de journaux
(vous ou une autre personne de votre foyer) 2
- > Autres (on vous le prête, donne...) 3

Q3. Avez-vous le sentiment, ces derniers mois, de lire Science & Vie, avec

- > Plus d'intérêt 1
- > Moins d'intérêt 2
- > Sans changement 3
- > C'est la première fois que je le lis 4

Q4. Notez de 0 à 10 la couverture du numéro de Science & Vie que vous tenez entre vos mains, 10 signifiant que vous l'appréciez beaucoup, 0 signifiant que vous ne l'appréciez pas du tout. Les notes intermédiaires vous permettant de nuancer votre jugement.

sur 10

Q5a. Pour chacun des articles de ce numéro, indiquez dans le tableau ci-dessous :

a- Si vous l'avez lu, en entier, en partie, parcouru sans vraiment le lire ou pas lu du tout.

b- Si vous l'avez au moins parcouru, s'il vous a intéressé, assez, peu ou pas du tout.

	a- Lecture				b- Intérêt			
	En entier	En partie	Parcouru sans vraiment le lire	Pas lu	Beaucoup	Assez	Peu	Pas du tout
> Sommaire (p. 8 et 9).....	1	2	3	4	1	2	3	4
> Forum (p. 11 et 13).....	1	2	3	4	1	2	3	4
Actualités								
> Ensemble de la partie "Actualité" (p. 14 à 48).....	1	2	3	4	1	2	3	4
> Ensemble de la partie "Actus Labos" (p. 14 à 24).....	1	2	3	4	1	2	3	4
> Actus labos focus "On a enfin vu tomber la goutte de poix !" (p. 22 et 23).....	1	2	3	4	1	2	3	4
> Ensemble de la partie "Actus Terre" (p. 26 à 31).....	1	2	3	4	1	2	3	4
> Actus Terre- "Les clés pour comprendre" (p. 46 et 47).....	1	2	3	4	1	2	3	4
> Actus Terre- "Idée neuve": Je peux extraire de l'or avec du sucre (p. 34).....	1	2	3	4	1	2	3	4
> Ensemble de la partie "Actus Médecine" (p. 36 à 42).....	1	2	3	4	1	2	3	4
> Actus Médecine- "On tenait à vous dire" (p. 42).....	1	2	3	4	1	2	3	4
> Ensemble de la partie "Actus Technos" (p. 44 à 48).....	1	2	3	4	1	2	3	4
> Actus Technos "On en reparle" (p. 48).....	1	2	3	4	1	2	3	4
À la une								
> Guérir par la pensée (p. 50 à 65).....	1	2	3	4	1	2	3	4
Fondamental								
> Exploit - On sait enfin faire exploser les étoiles ! (p. 68 à 79).....	1	2	3	4	1	2	3	4
> Événement - Diabète : la piste virale se confirme (p. 80 à 83).....	1	2	3	4	1	2	3	4
> Casse-tête - Evolution : l'hypothèse quantique (p. 84 à 87).....	1	2	3	4	1	2	3	4
> Perspectives - Projet "Open Source Ecology": Et si on repensait toutes les machines... (p. 88 à 93).....	1	2	3	4	1	2	3	4
> Découverte - Pleine lune : elle nous empêche bel et bien de dormir (p. 94 à 97).....	1	2	3	4	1	2	3	4
> Enquête - Climat, astrophysique, médecine, botanique, paléontologie... Les trésors des archives perdues (p. 98 à 109).....	1	2	3	4	1	2	3	4
Le point sur								
> Leçon n° 7 - Mathématiques : penser types plutôt qu'ensembles (p. 111 à 120).....	1	2	3	4	1	2	3	4
En pratique								
> Ensemble de la partie "En pratique" (p. 121 à 143).....	1	2	3	4	1	2	3	4
> Bon à savoir (p. 122 et 123).....	1	2	3	4	1	2	3	4
> Zoom du mois (p. 124 à 129).....	1	2	3	4	1	2	3	4
> Questions & Réponses (p. 130 à 135).....	1	2	3	4	1	2	3	4
> Technofolies (p. 136 à 140).....	1	2	3	4	1	2	3	4
> Le ciel du mois (p. 142 et 143).....	1	2	3	4	1	2	3	4

Enquête

Répondez à cette enquête et participez à l'amélioration de Science & Vie !

Q5b. Notez de 0 à 10 ce numéro de Science&Vie, que vous tenez entre vos mains, 10 signifiant que vous l'appréciez beaucoup, 0 signifiant que vous ne l'appréciez pas du tout, les notes intermédiaires vous permettant de nuancer votre jugement.

sur 10

Q6. Pour chacune des phrases ci-dessous que l'on peut entendre à propos de Science & Vie, indiquez si, vous personnellement, vous êtes tout à fait d'accord, plutôt d'accord, plutôt pas d'accord ou pas du tout d'accord :

Les numéros de Science & Vie sont ...

	Tout à fait d'accord	Plutôt d'accord	Plutôt pas d'accord	Pas du tout d'accord
> Clairs, bien organisés	1	2	3	4
> Agréables à lire	1	2	3	4
> Complets	1	2	3	4
> Distrayants	1	2	3	4
> Faciles à comprendre	1	2	3	4
> Riches en informations que vous ne trouvez pas ailleurs	1	2	3	4
> Très intéressants	1	2	3	4

Q7. Vous est-il déjà arrivé de recommander à quelqu'un ...

	Oui souvent	Oui rarement	Non jamais
> La lecture de numéros de Science & Vie	1	2	3
> Un article précis paru dans Science & Vie	1	2	3

Q8. Si Science & Vie disparaissait, diriez-vous qu'il vous manquerait beaucoup, assez, peu ou pas du tout ?

> Manquerait beaucoup	1	> Manquerait peu	3
> Manquerait assez	2	> Ne manquerait pas du tout	4

Q9. Vous-même, depuis combien de temps lisez-vous le magazine Science & Vie ?

> Moins d'un an	1	> 6 à 10 ans	5
> 1 à 2 ans	2	> 11 ans et plus	5
> 3 à 5 ans	3		

Q10. Quels magazines achetez-vous/lisez-vous régulièrement ?

.....

Q11. Quels sites internet consultez-vous pour trouver des informations scientifiques ?

.....

Pour finir,
voici quelques dernières
questions destinées
à mieux vous connaître.

RS1. Vous êtes ...

> Un homme	1
> Une femme	2

RS2. Votre âge ...

> moins de 18 ans	1
> de 18 à 24 ans	2
> de 25 à 34 ans	3
> de 35 à 49 ans	4
> de 50 à 64 ans	5
> 65 ans et plus	6

RS3. Dans quelle catégorie, parmi les suivantes, pouvez-vous vous ranger personnellement et/ou le chef de famille ?

	Vous-même	Le chef de famille
> Agriculteur	1	1
> Profession libérale	2	2
> Artisan, petit commerçant	3	3
> Chef d'une entreprise de plus de 10 salariés	4	4
> Cadre supérieur	5	5
> Cadre moyen	6	6
> Employé	7	7
> Ouvrier	8	8
> Élève, étudiant	9	9
> Retraité	10	10
> Autre inactif	11	11
> Chômeur	12	12

RS4. Quel est votre département de résidence ?

Vos coordonnées

Nom :

Prénom :

Adresse :

.....

.....

CP :

Ville :

Email :

.....

Vous êtes susceptible de recevoir des informations commerciales sur nos produits par voie postale et voie électronique, veuillez cocher l'une des cases suivantes :

☐ Non, je ne le souhaite pas ☐ Oui, je le souhaite

Les informations personnelles qui vous sont demandées sont nécessaires au traitement de votre questionnaire. Conformément à la Loi Informatique et Libertés du 06/01/1978 modifiée, vous disposez d'un droit d'accès, de rectification, de suppression et d'opposition sur vos données nominatives. Pour exercer vos droits, il suffit de nous écrire en nous indiquant vos noms, prénom, adresse et numéro de client à l'adresse suivante : Mondadori Magazines - Marketing Science - 8, rue François ORY - 92543 MONTRouGE CEDEX.



VOTRE VIE AU CŒUR DE NOS TECHNOLOGIES

NOUVEAU VOLVO XC60

À partir de 360 €/mois*

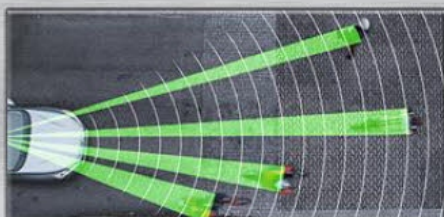
(LLD 48 mois et 60 000 km valable du 1^{er} septembre au 31 décembre 2013)

f REJOIGNEZ
VOLVO AUTOMOBILES FRANCE



Nouvelles technologies VOLVO

volvocars.fr



DÉTECTION PIÉTONS & CYCLISTES EN PREMIÈRE MONDIALE

Freinage d'urgence en cas de risque de collision.



SENSUS CONNECTED TOUCH

Centre multimedia tactile connecté à Internet.



FEUX DE ROUTE INTELLIGENTS

Pleins phares permanents anti-éblouissement.

*Exemple de Location Longue Durée sur 48 mois et 60 000 km pour un VOLVO XC60 D3 BM6 Momentum neuf : un premier loyer de 5 900€ suivi de 47 loyers mensuels de **360€ TTC** (hors assurances facultatives et prestations). Modèle présenté : VOLVO XC60 D3 BM6 Momentum neuf avec options peinture métallisée, jantes alliage Titania 20", le sabot de protection avant, le pack Aide à la Conduite et Sensus Connected Touch pour un premier loyer de 5 900€ suivi de 47 loyers mensuels de **510€ TTC** (hors assurances facultatives et prestations). Offre réservée aux particuliers, valable du 01/09/2013 au 31/12/2013 dans le réseau participant et sous réserve d'acceptation du dossier par Volvo Automobiles Finance, département de CGL, Compagnie Générale de Location d'Équipements, SA au capital de 58 606 156€ - 69, avenue de Flandre 59708 Marcq-en-Baroeul Cedex - SIREN 303 236 186 RCS Lille Métropole.

Volvo XC60 D3 BM6 : consommation Euromix (L/100 km) : 5,3 - CO₂ rejeté (g/km) : 139.

AZZARO

CHROME UNITED



LE NOUVEAU PARFUM

votre boutique en ligne : azzarostore.fr