

**BUGS****POURQUOI  
IL Y EN A  
DE PLUS  
EN PLUS****BACTÉRIES****ELLES  
SAVENT  
SE SACRIFIER****HÉLICOPTÈRES****ILS ACCÈDENT  
À LA TRÈS  
GRANDE VITESSE**

France métro : 4,20 € - DOM/surf. 4,80 € -  
DOM avion : 6,90 € - BEL: 4,70 € - CH: 8,50 € -  
CAN: 6,50 \$ - CAN - D: 6,90 € - A: 5,30 € -  
ESP: 5,50 € - FIN: 6,20 € - GR: 4,90 € - ITA: 4,90 € - LUX: 4,70 € - MAR: 4,50 DH: 14,00 CFP:  
6,40 € - TCM: 5,750 CFP - TCM: 4,90 € - TUN: 6,50 DTU  
- PORT/CONT: 4,90 € - TUN: 6,50 DTU

Henri IV

Ainsi crée la nature

Informatique

Hélicoptères

Eau sur Mars

Altruisme des bactéries

Neurosciences

Gravité

SCIENCE &amp; VIE

N° 1121 - février 2011

T 02578 - 1121 - F: 4,20 €

**MARS****DES MARES  
D'EAU LIQUIDE  
À LA SURFACE ?****VIEILLISSEMENT  
EN LABO, DES SOURIS  
RAJEUNISSENT !**

# AINSI CRÉE LA NATURE

*On a percé le secret de la  
diversité des formes du vivant*





# LA JOIE N'A PAS DE

La nouvelle BMW X3 est votre billet pour l'aventure. Au premier coup d'œil, l'élégance et le dynamisme de sa ligne vous promettent route, plaisir de conduire et respect de l'environnement ne font plus qu'un grâce aux technologies EfficientDynamics. En effet, la de 184 ch, des performances inégalées dans sa catégorie. Avec la nouvelle BMW X3, qui sait où s'arrêtera la Joie... [www.bmw.fr/x3](http://www.bmw.fr/x3)

## NOUVELLE BMW X3.

**BMW EfficientDynamics**

BMW X3 xDrive20d 5,6 l/100 km 147 g de CO<sub>2</sub>/km



Nouvelle  
BMW X3

[www.bmw.fr](http://www.bmw.fr)



Le plaisir de conduire



# LIMITE.

des moments forts. À l'intérieur, son coffre de 550 litres et son espace modulable s'adaptent à toutes les situations. Une fois sur la nouvelle BMW X3 xDrive20d ne consomme que 5,6 l/100 km en cycle mixte et n'émet que 147 g de CO<sub>2</sub>/km pour une puissance

Journées  
xDrive



Le plaisir de conduire

[www.bmw.fr](http://www.bmw.fr)



## BMW xDRIVE, LA TECHNOLOGIE 4 ROUES MOTRICES LA PLUS INTELLIGENTE.

xDrive, le système 4 roues motrices à gestion électronique de BMW, analyse en permanence l'adhérence de votre automobile afin de vous offrir un comportement dynamique jusqu'alors inconnu. Capable de transférer de 0 à 100 % de la motricité à l'avant ou l'arrière, la technologie xDrive est également intelligente et proactive. En effet, en une fraction de seconde elle corrige - en association avec le Contrôle Dynamique de la Stabilité DSC - le moindre écart de trajectoire. Disponible aussi sur plus de 20 modèles Berline, Touring et Coupé, la technologie xDrive est votre meilleure alliée partout, tout le temps et par tous les temps, pour que votre plaisir de conduire demeure intact.

**CET HIVER, VOTRE CONCESSIONNAIRE BMW  
VOUS OFFRE LA TECHNOLOGIE xDRIVE.**



Offre parmi une sélection de BMW Série 3, 5, 7, X1 neuves pouvant être équipées de la technologie xDrive chez les concessionnaires participants. Votre concessionnaire vous offre pour 1 € de plus la technologie xDrive pour toute commande avant le 31 Mars 2011.

# Avant-propos



▲ La diversité des formes du vivant repose sur une astuce géométrique géniale de la nature.

Savez-vous comment dessiner le plus grand nombre d'espèces de poissons en un minimum de temps? Il y a un truc. Dessinez-en un sur un film plastique extensible et vous pourrez en faire apparaître autant que vous le voulez en jouant sur la déformation du film. C'est simple et efficace. Etirée dans le sens de la longueur, votre dorade ressemblera immanquablement à un thon. Tirez encore, voici un maquereau, puis une anguille. Relâchez la pression horizontale et jouez sur des étirements en diagonale. C'est un loup, un grondin, une rascasse... Tout l'étal du poissonnier! Et cela fonctionne tout aussi bien pour les oiseaux (la cigogne est un moineau savamment étiré), les arbres, leurs feuilles et toutes les formes connues dans la nature. Cette ruse, qui pourra amuser les enfants et conforter les fainéants, est parfaitement connue depuis la publication, en 1917, du magnifique ouvrage de science *Forme et croissance* signé par D'Arcy Thompson, brillant biologiste et mathématicien écossais.

Or, voici que sa "théorie des transformations", injustement oubliée depuis près d'un siècle, est remise sur le devant de la scène par une équipe de généticiens. Preuves tangibles à l'appui, ils affirment que la nature ne s'y prend pas autrement pour engendrer les formes les plus diverses à partir de formes plus élémentaires. Ils nous disent que si Darwin avait raison, D'Arcy Thompson n'avait pas tort et qu'en réconciliant le premier (qui cherchait des forces externes aux espèces pour expliquer leur origine) et le second (concentré sur les contraintes internes liées à leur développement) on s'offre une clé nouvelle et particulièrement éclairante pour expliquer la diversité des formes du vivant. Et tant pis si, au passage, dame Nature révèle sa nature paresseuse. Savoir faire beaucoup avec peu, c'est aussi une preuve d'intelligence.

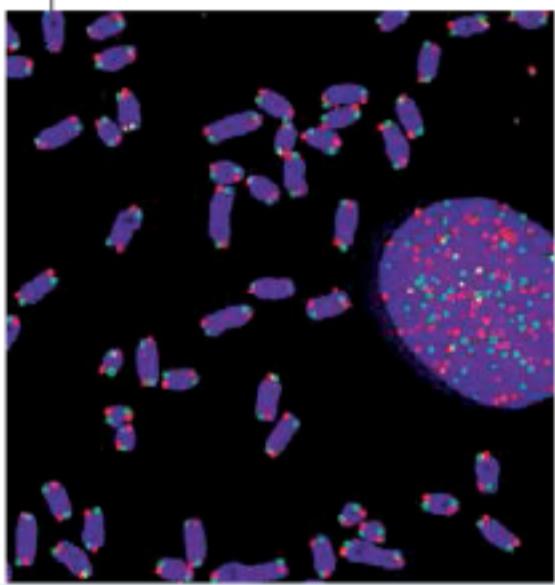
S&V

# Paresseuse par nature



34

*Un antioxydant des fraises protège nos neurones*

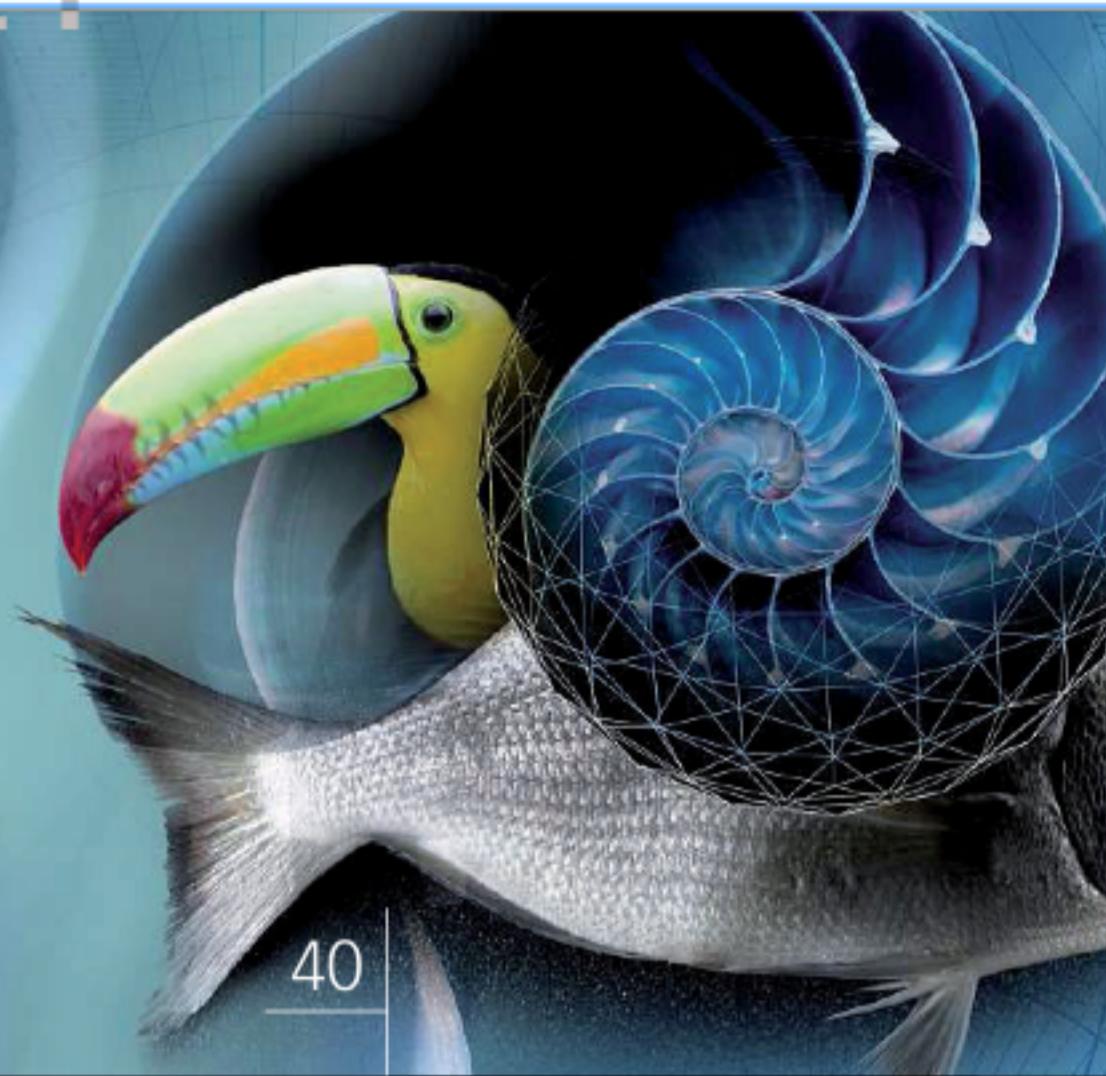


20

*Ils ont créé le premier être vivant qui rajeunit*

1121

&gt; FÉVRIER 2011



40

## A la une

9	<b>FORUM</b> Réactions, critiques, remarques... nos lecteurs prennent la plume.
10	<b>ILS L'ONT FAIT</b> Retour en images sur les derniers événements scientifiques.

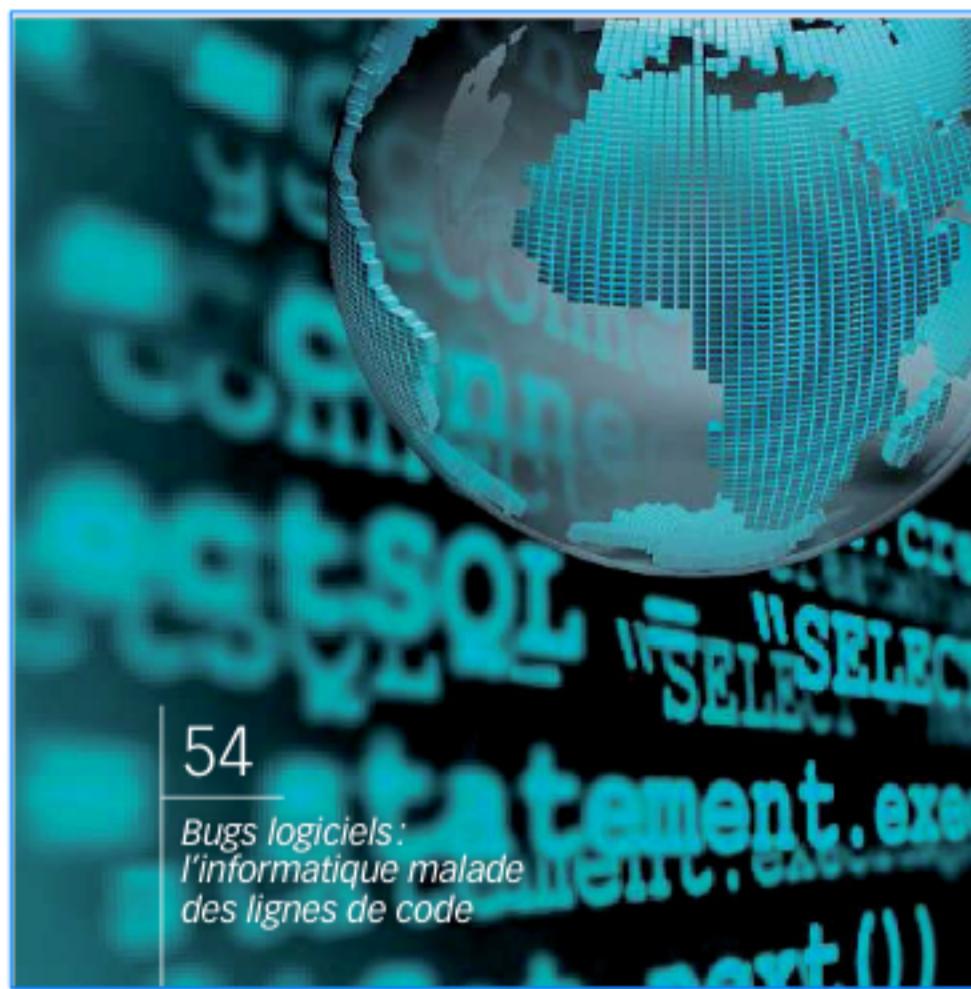
14	<b>EN DIRECT DES LABOS</b> Il existe des génomes d'un autre ordre; Une bactérie californienne empoisonne la Nasa, etc.
----	---

20	<b>L'EXPLOIT</b> <b>Ils ont créé le premier être vivant qui rajeunit.</b> En réactivant une protéine, des chercheurs ont offert à des souris une cure de jouvence.
----	---

24	<b>PLANÈTE TERRE</b> <i>Environnement</i> Le "Big One" a été simulé; Les anesthésiants dopent l'effet de serre, etc.
----	--

30	<b>Médecine</b> Stimulé, le cerveau pourrait réduire la sclérose en plaques; Un antioxydant des fraises protège nos neurones, etc.
----	---

36	<b>Technos</b> Des arbres luminescents pourraient illuminer nos villes, etc.
----	---



54

*Bugs logiciels : l'informatique malade des lignes de code*

70

*Mars : l'affaire de l'eau liquide rebondit*



113

*Un vrai PC dans la main*

## Science & Vie d'aujourd'hui

54

**BUGS LOGICIELS**  
PC, téléphones, GPS, mais aussi moteurs automobiles et aériens... les programmes informatiques sont partout, et de plus en plus sophistiqués. Problème : en raison de cette inflation galopante des lignes de code, les informaticiens avouent ne plus pouvoir assurer la fiabilité de leurs systèmes. Alerte.

62

**HÉLICOPTÈRES**  
Jusqu'ici, il était techniquement impossible aux hélicoptères de dépasser les 400 km/h. Mais deux constructeurs ont repensé, chacun à leur manière, la conception de ces appareils pour enfin lever l'obstacle. A la clé : une nouvelle génération d'hélicoptères. Histoire d'un record qui atteint désormais... 463 km/h !

## Fondamental

70

**Mars : l'affaire de l'eau liquide rebondit.** La découverte d'étranges gouttelettes relance le débat sur la présence d'eau liquide sur la planète rouge... et sur l'existence potentielle de vie !

82

**Bactéries : l'altruisme est leur arme secrète.** Quelques bactéries ultrarésistantes peuvent protéger tout une colonie contre les antibiotiques. Crucial.

88

**Neurosciences : il faut se méfier des souris de laboratoire.** D'infimes variations dans leur environnement peuvent en effet biaiser les expériences destinées à l'étude du cerveau.

92

**Gravitation : sa mesure rend fous les physiciens.** La valeur exacte de G ne cesse de fluctuer, ce qui est aberrant pour une "constante" universelle...

## En pratique

100

**Q & R**  
Les "bracelets de puissance" rendent-ils plus forts ? Est-il vrai que les femmes enceintes ont l'odorat plus fin ?, etc.

106

**LE POINT SUR...**  
**Les LED**

112

**TECHNOFOLIES**  
La première voiture hybride diesel-électrique ; Un vrai PC dans la main, etc.

118

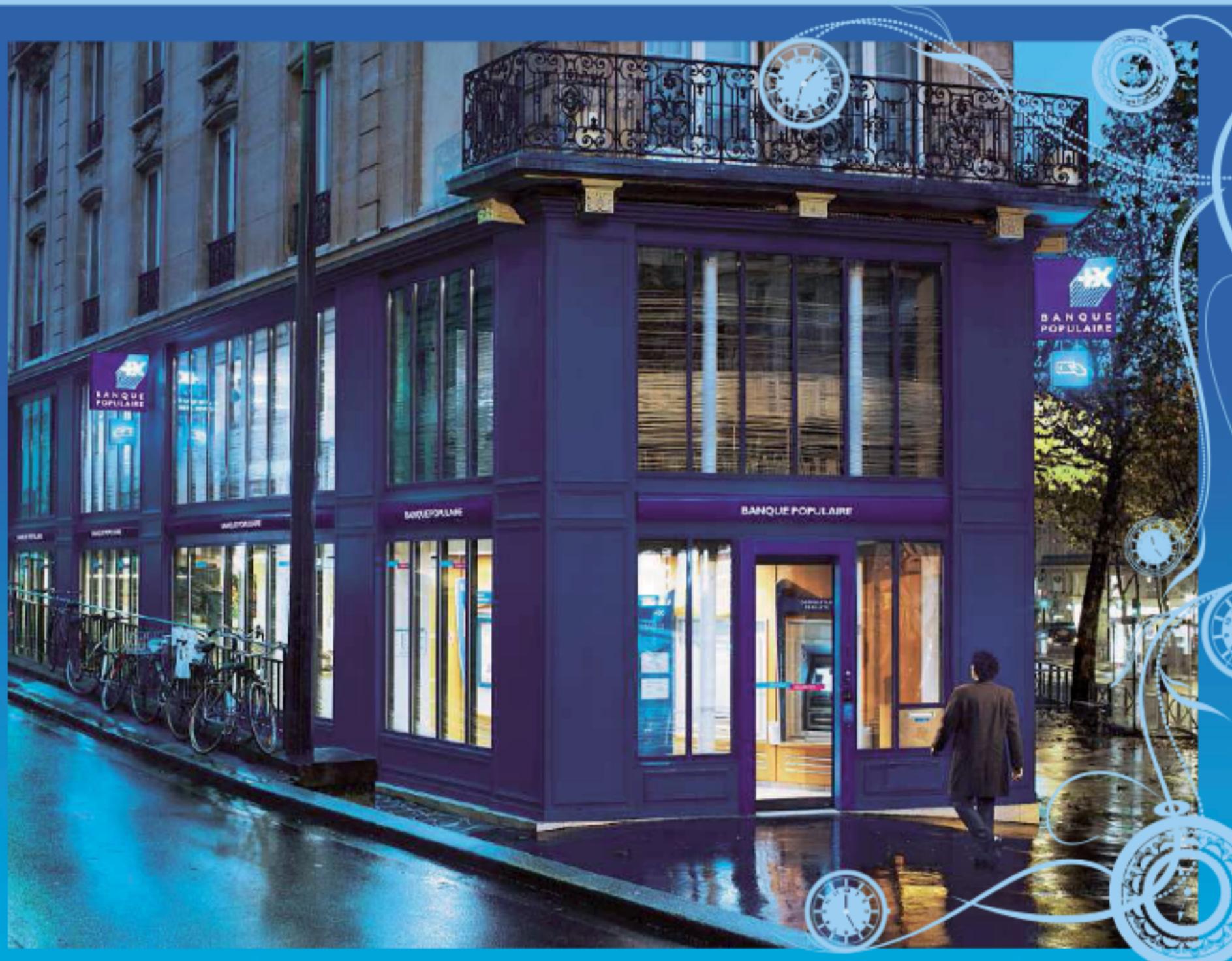
**À LIRE / À VOIR / .NET**  
Tous sur les livres, expositions, films, sites web, etc., de l'actualité des sciences. Et toujours "le ciel du mois".

126

**NOS 3 QUESTIONS À...**  
Ce mois-ci, le spécialiste du langage **Jean-Louis Desselles** répond à nos questions.

127

**INDEX**  
Tous les articles de l'année 2010 classés par thème.



# Le plus tôt sera le mieux.

## Pensez dès aujourd'hui à votre avenir pour mieux en profiter demain.

Selon votre âge, votre situation familiale ou professionnelle, vous n'avez pas les mêmes préoccupations. C'est pourquoi la Banque Populaire vous propose des solutions d'épargne, d'assurance et de crédit qui répondent à tous vos besoins.

**Avec Banque Populaire, votre présent a de l'avenir.**

Venez parler de vos projets avec un conseiller en agence ou bien rendez-vous sur [www.banquepopulaire.fr](http://www.banquepopulaire.fr)



*Banque et populaire à la fois.*



## Et la surgénération, alors ?

Dans votre dossier sur les déchets nucléaires, pourquoi ne présentez-vous pas Superphénix comme une solution envisageable ? La surgéné-

ration ne peut avoir été abandonnée définitivement par tous les pays au vu de son intérêt en termes de déchets.

Y. Bernard-Jouvenel, par Internet

**S&V** Même si nous n'avons pas mentionné Superphénix, notre article évoque bien la perspective de la désintégration de certains déchets nucléaires offerte par ce type de réacteur dit à "neutrons rapides".

L'histoire de ce prototype français s'est arrêtée en 1998, tant pour des raisons techniques que politiques. Néanmoins, la prochaine génération de centrales, attendue vers 2040, va s'inspirer de cette technologie qui permet la transmutation, c'est-à-dire la transformation par réactions nucléaires d'éléments hautement radioactifs durant des millénaires en

éléments plus inoffensifs et à durée de vie plus courte. Mais, que l'on ne s'y trompe pas, cette échéance est lointaine et ne concerne que les déchets futurs. De plus, le procédé ne s'applique qu'à une certaine catégorie d'éléments, les actinides mineurs (américium, neptunium, curium). Au bout du compte, les gestionnaires des déchets peuvent espérer réduire ainsi de 30 à 40 % le volume d'un prochain centre de stockage souterrain. Ce qui présente un intérêt économique non négligeable, mais ne résout pas encore le problème de fond posé par ces rebuts très spéciaux.

# 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: [symens@mondadori.fr](mailto:symens@mondadori.fr)

DIRECTEUR DE LA RÉDACTION  
Matthieu Villiers,  
assisté de Christelle Borelli

RÉDACTEUR EN CHEF  
Matthieu Villiers

RÉDACTEURS EN CHEF ADJOINTS  
Philippe Chambon, Hervé Poirier,  
Grégoire Bouillier (édition)

DIRECTRICE ARTISTIQUE  
Yvonne Diraillon

CHEFS DE RUBRIQUE  
Cécile Bonneau (physique),  
Valérie Greffoz (astronomie),  
Caroline Tourbe (médecine)

RÉDACTEURS  
Boris Bellanger, Germain Chambost,  
Vincent Nouyrigat, Emilie Rauscher,  
Muriel Valin

SECRÉTAIRE GÉNÉRAL DE RÉDACTION  
Jean-Luc Glack

SECRÉTAIRES DE RÉDACTION  
Catherine Robert, Anne Riera

MAQUETTISTES  
Valérie Samuel-Charier (1<sup>er</sup> 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

CORRESPONDANTE AUX ETATS-UNIS  
Sheila Kraft, 11655, Caracas Boulevard,  
Boynton Beach, Florida 33437, Etats-Unis,  
tél.: (00) 1 561 733 9207 ;  
fax: (00) 1 561 733 7965

ONT COLLABORÉ À CE NUMÉRO  
E. Abdoun, S. Aubin, S. Barenky, L. Blancard,  
B. Bourgeois, R. Brillaud, S. Brunier, V. Buron,  
O. Capronnier, G. Cirade, M. Comiou,  
M. Cygler, A. Dagan, O. Donnars, V. Etienne,  
S. Fay, L. Fery, M. Fontez, P. Grisot,  
P. Grumberg, E. Haentjens, E. Hamonou,  
C. Hancock, M. Hubert, R. Ikonikoff,  
M. Kontente, F. Lassagne, E. Leconte,  
M. Lestelle, D. Maume, D. Perrault, C. Poisson,  
B. Rey, P. Richard, J.-M. Sabatié, S. Tritz

### DIRECTION-ÉDITION

DIRECTION PÔLE  
Jean-Luc Breysse

DIRECTEUR DÉLÉGUÉ  
Vincent Cousin

### DIFFUSION

site: [www.vendezplus.com](http://www.vendezplus.com).

DIRECTEUR DIFFUSION

Jean-Charles Guéault

RESPONSABLE DIFFUSION MARCHÉ

Siham Daassa

### MARKETING

DIRECTEUR MARKETING  
Sébastien Petit

RESPONSABLE MARKETING

Claire Leprovost

CHARGÉE DE PROMOTION

Michèle Guillet

### ABONNEMENTS

Nathalie Carrère

### PUBLICITÉ

DIRECTRICE EXÉCUTIVE

Valérie Camy

DIRECTRICE COMMERCIALE

Francesca Colin

DIRECTRICE DE PUBLICITÉ

Valérie Leclère

### COMMERCIAUX

Virginie Commun, Lionel Dufour

### ASSISTANTE

Sylvie Angerville

### PLANNING

Sylvia Apodaca

### TRAFIC

Véronique Alex

### OPÉRATIONS SPÉCIALES

Jean-Jacques Benezech, Florence Bastid, Anne-Sophie Chauvière

Grande-Bretagne : Publieurope LTD  
([infolodon@publieurope.com](mailto:infolodon@publieurope.com))

- 44 (0)20 7927 9800 ; Allemagne :  
Publieurope Munich ([infomunich@publieurope.com](mailto:infomunich@publieurope.com) - 0049 89 2908150) ;

Suisse : Publieurope Lausanne  
([infolausanne@publieurope.com](mailto:infolausanne@publieurope.com))

- 0041 21 323 3110) ; Espagne : Publimedia  
Madrid ([infomadrid@publim-gestion.es](mailto:infomadrid@publim-gestion.es)  
- 0034 91 212 83 00)

### FABRICATION

Gérard-Laurent Greck, Alexandra Millet  
(chefs de fabrication)

### FINANCE MANAGER

Géraldine Pellerin-Faux

### DÉPARTEMENT INTERNATIONAL

Mathilde Janier-Bonichon  
Murielle Luche

### EDITEUR: Mondadori Magazines France

Siège social : 8, rue François-Ory  
92543 Montrouge Cedex

Président et directeur de la publication:  
Jean-Luc Breysse

Actionnaire principal :

Mondadori France SAS

IMPRIMEUR: Mondadori Printing S.p.A.,  
Via Luigi e Pietro Pozzoni, 11  
24034 Cisano Bergamasco (Bergamo)

N° ISSN: 0036-8 369

N° DE COMMISSION PARITAIRE:  
1010 K 79977. Tarif d'abonnement légal:

1 an, 12 numéros : 42,80 € ; 1 an,  
12 numéros + 4 HS : 52,80 €.  
DÉPÔT LÉGAL février 2011

### RELATIONS CLIENTÈLE ABONNÉS

Par Internet : [relations.clients@mondadori.fr](mailto:relations.clients@mondadori.fr)  
par téléphone : 01 46 48 49 00 (de 9 h à  
12 h et de 13 à 17 h 30, mercredi et  
vendredi, 16 h 30), par courrier :

Science & Vie TSA 10 005

8, rue François-Ory,

92543 Montrouge Cedex.

Vous pouvez aussi vous abonner sur

<http://www.kiosquemag.com>

Etats-Unis et Canada : Express Mag,  
8155, rue Larrey, Anjou (Québec),  
H1J 2L5. Tél. : 1 800 363-1310 (français)  
et 1 877 363-1310 (anglais) ; fax : (514)

355-3332. Suisse : Dynapresse, case postale  
1211, Genève 1.

Belgique : Excelsior Publications,  
PB 23, Poste 6, 1050 Bruxelles.  
Tél. : 02 62614 26.

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 de nos abonnés sont  
communiqués à nos services internes et  
organismes liés contractuellement avec  
S&V sauf opposition motivée. Dans ce cas,  
la communication sera limitée au service  
des abonnements. Les informations  
pourront faire l'objet d'un droit d'accès ou  
de rectification dans le cadre légal. Les  
manuscrits non insérés ne sont pas rendus.  
Sachez que la rédaction ne reçoit que sur  
rendez-vous. Copyright 1989 Science & Vie.

### À NOS LECTEURS

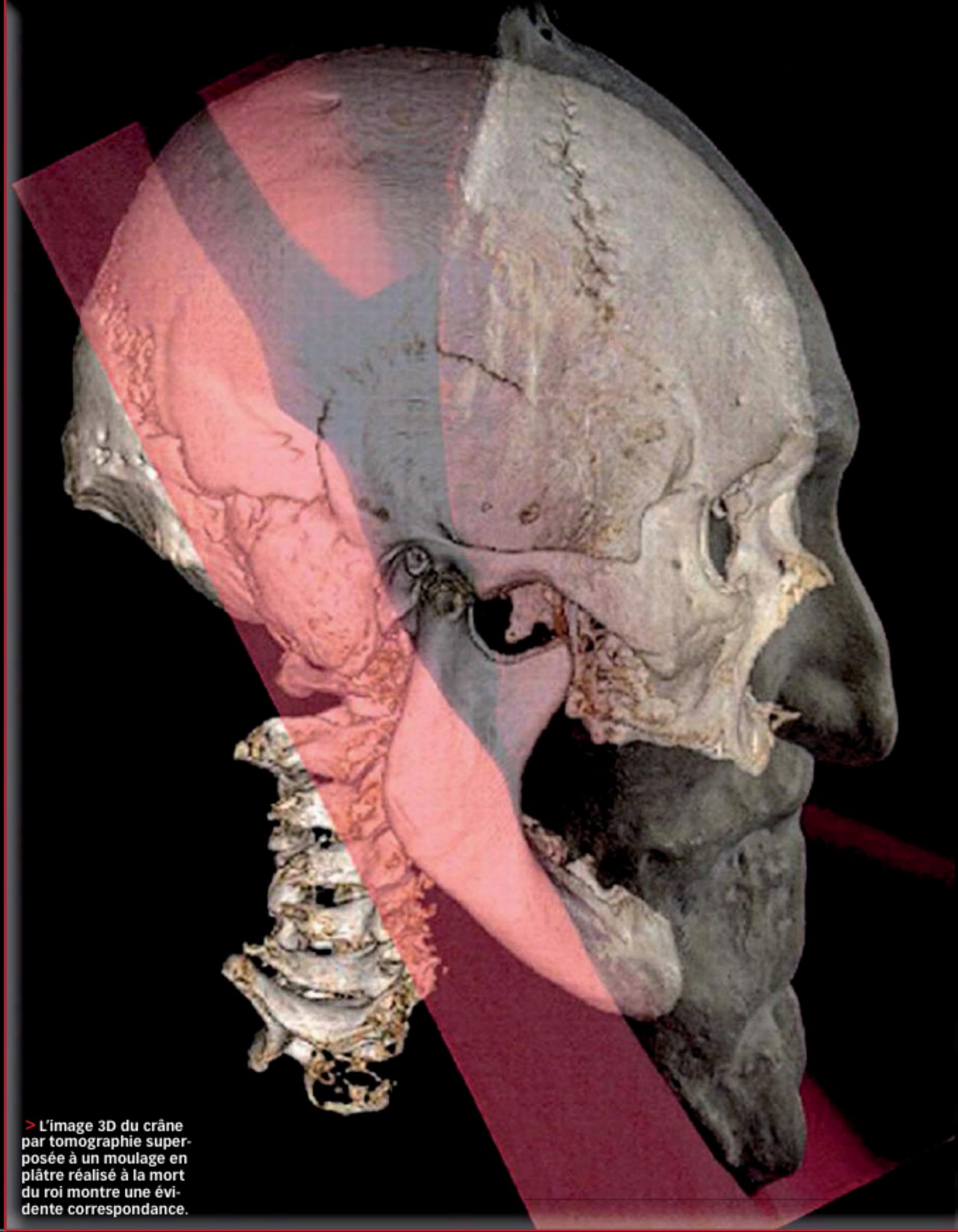
#### RENSEIGNEMENTS

Par courrier :  
8, rue François-Ory,  
92543 Montrouge Cedex.  
Par mail :  
[sev.lecteurs@mondadori.fr](mailto:sev.lecteurs@mondadori.fr)

COMMANDE D'ANCIENS  
NUMÉROS ET DE RELIURES  
Carole Zaragoza,  
tél. : 01 46 48 47 18

**OJD**  
**PRESSE PAYANTE**  
2009

# Ils l'ont fait...



➤ L'image 3D du crâne par tomographie superposée à un moulage en plâtre réalisé à la mort du roi montre une évidente correspondance.

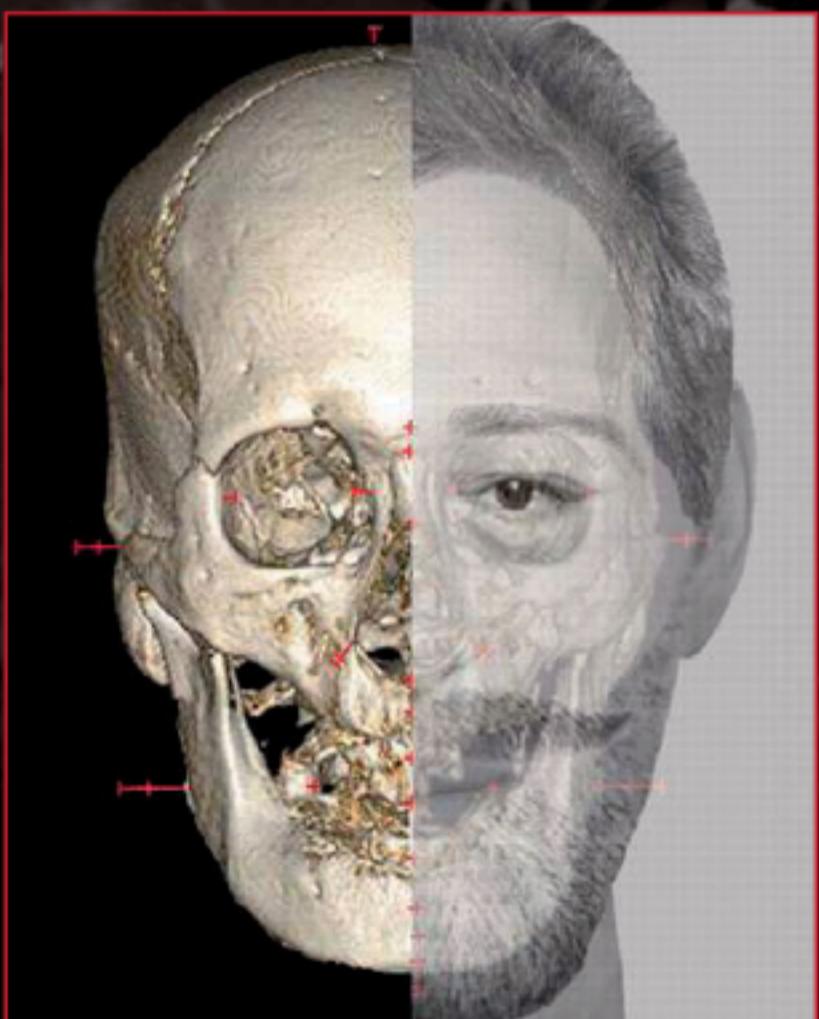
> Yeux mi-clos, bouche ouverte (édentée), la tête momifiée conserve des tissus devenus brunâtres. L'arête droite du nez porte la trace d'un grain de beauté.



Île-de-France, le 16 décembre. Henri IV avait perdu la tête... non de son vivant, ni à sa mort en 1610 sous la lame de Ravaillac, mais en octobre 1793 sous les coups de sabre d'un révolutionnaire lors du sac de la nécropole royale de la basilique de Saint-Denis. Depuis lors, sa dépouille étêtée gisait mêlée à celle de ses prestigieux voisins. Le Bon roi Henri vient aujourd'hui de la retrouver, grâce à une équipe d'archéologues, d'historiens, d'anthropologues et autres paléogénéticiens menée par le docteur Philippe Charlier. Pour réussir ce tour de force, les spécialistes ont fait appel à la médecine légale et à la sagacité des historiens. Réapparue mystérieusement à l'hôtel des ventes Drouot en 1919,

# LA TÊTE D'HENRI IV IDENTIFIÉE PAR LA MÉDECINE LÉGALE

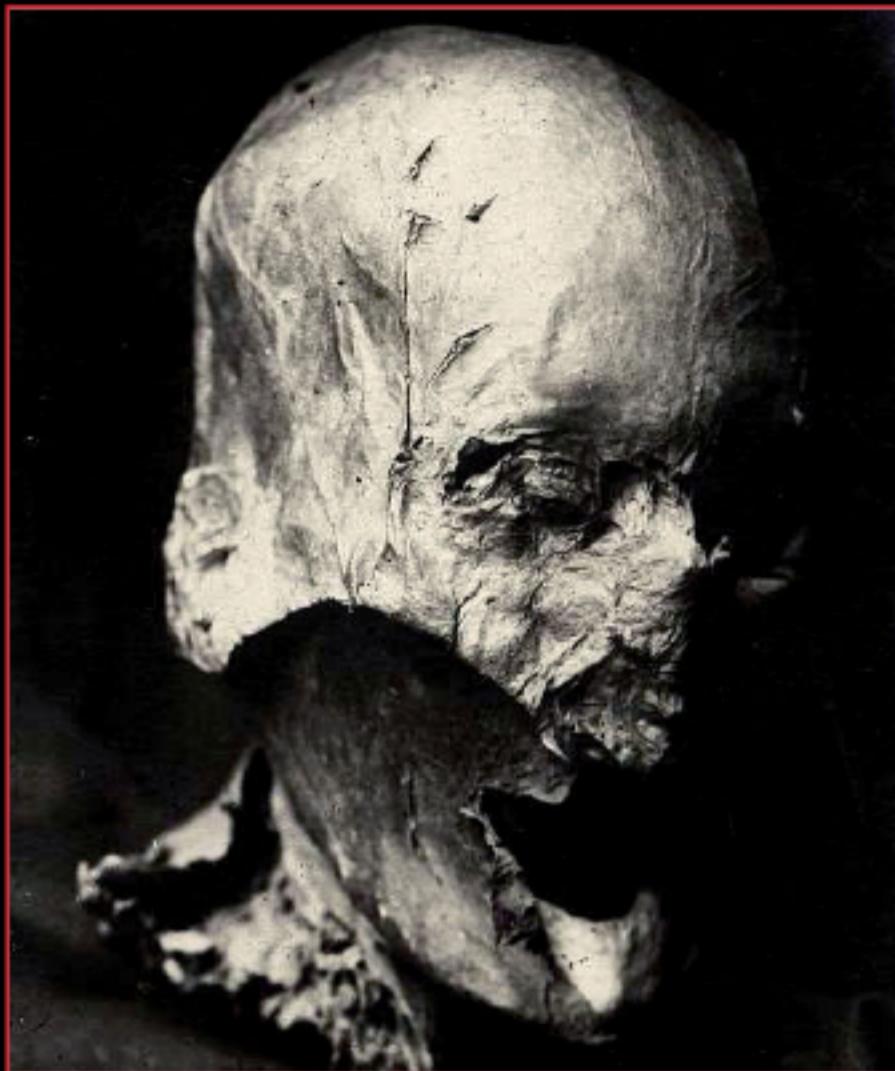
> La reconstitution faciale virtuelle a été faite selon les techniques de l'anthropologie judiciaire: on retrouve le front haut du roi, sa mâchoire carrée, etc.



la tête momifiée avait été achetée par un brocanteur convaincu de son identité royale, Joseph Emile Bourdais. Elle avait ensuite disparu. Une enquête journalistico-judiciaire a, il y a un an, retrouvé sa trace chez un couple de retraités dans l'armoire desquels elle dormait depuis cinquante ans. L'identification pouvait sembler simple: si l'on fait parler des momies égyptiennes vieilles de trois mille ans, pourquoi pas celle-là? D'autant que l'on dispose d'autres reliques d'Henri IV auxquelles la comparer, et que le "Vert galant" a toujours des descendants aujourd'hui! Mais la tête a tellement été manipulée sans précaution, que l'ADN trouvé n'était pas attribuable à une personne précise... L'équipe a donc fait parler autrement le supposé chef royal. Pour qu'il y ait une chance qu'il s'agisse de celui d'Henri IV, il fallait déjà qu'il ait le bon âge. Premier indice, le carbone 14 indique un décès survenu entre 1450 et 1650. Second élément, l'analyse anthropomorphique attribue la tête à un homme blanc d'âge mûr. Or, Henri IV a été assassiné à 57 ans, en 1610. Elle révèle également, lors de la reconstitution faciale, un front haut, un nez fort et un

→

# Ils l'ont fait...



◀ Retrouvée en 1919, mais non identifiée à l'époque, la tête est intacte, alors qu'on extrayait souvent le cerveau des rois de France à leur mort. Henri IV a été embaumé à l'italienne, sous l'influence de son épouse Marie de Médicis.

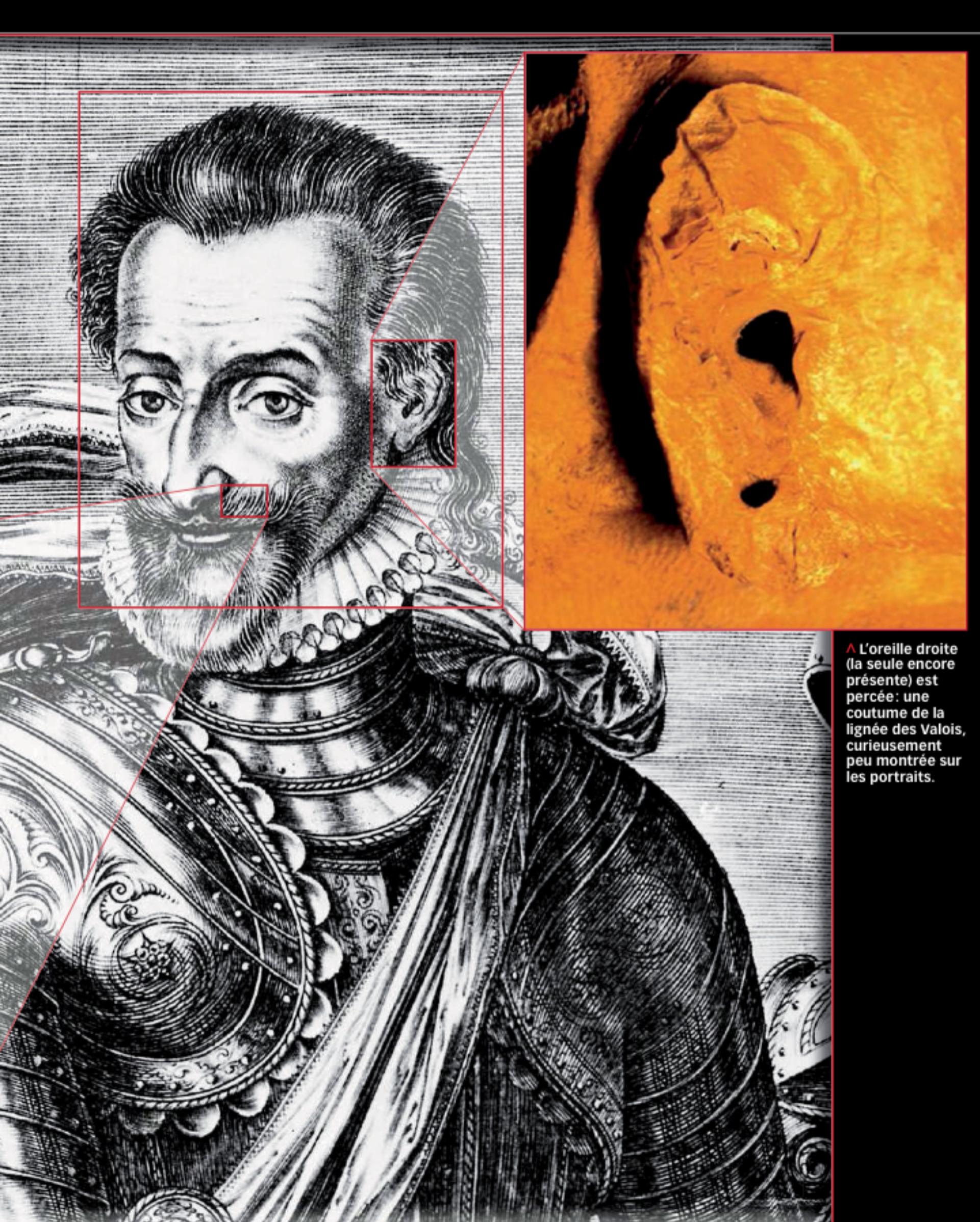
▶ La comparaison avec de nombreux portraits connus a permis de repérer plusieurs indices.

▼ En haut, reste de poils de moustaches, courts et roux comme ceux d'Henri IV. En bas, cicatrice osseuse sur le maxillaire gauche, due au premier attentat dont fut victime le roi en 1594.



→ menton carré et solide: ce qui colle avec les portraits. Plus fort, les images 3D du crâne obtenues par tomographie ont été superposées virtuellement avec un moulage de plâtre fait sur le cadavre du roi, et là encore la correspondance a été parfaite. Et les arguments les plus divers s'accumulent: comme le Bon roi, la momie a un "grain de beauté" sur l'arête droite du nez et une petite cicatrice osseuse sur le maxillaire gauche - là où une lame frappa Henri IV en 1594 lors d'une première tentative d'assassinat; son oreille restante est percée, et sa barbe et ses cheveux courts tirent sur le roux et blanc. La boîte crânienne étant intacte, la technique d'embaumement était plus italienne que française, sans doute sous l'influence de Marie de Médicis, son épouse. Quant à la décapitation, elle fut bien *post mortem*, et due à trois coups portés à l'arme blanche. Devant cette accumulation de faits, les spécialistes sont plutôt convaincus. Ainsi, la tête, après plus de deux cent vingt ans d'errements, devrait enfin retrouver une sépulture décente, à Saint-Denis. Et le protocole mis au point pour lui rendre son identité pourrait même servir pour redonner un nom et une dignité aux centaines d'ossements réunis pêle-mêle des anciens souverains français...

E.R.



▲ L'oreille droite (la seule encore présente) est percée: une coutume de la lignée des Valois, curieusement peu montrée sur les portraits.

## GÉNÉTIQUE

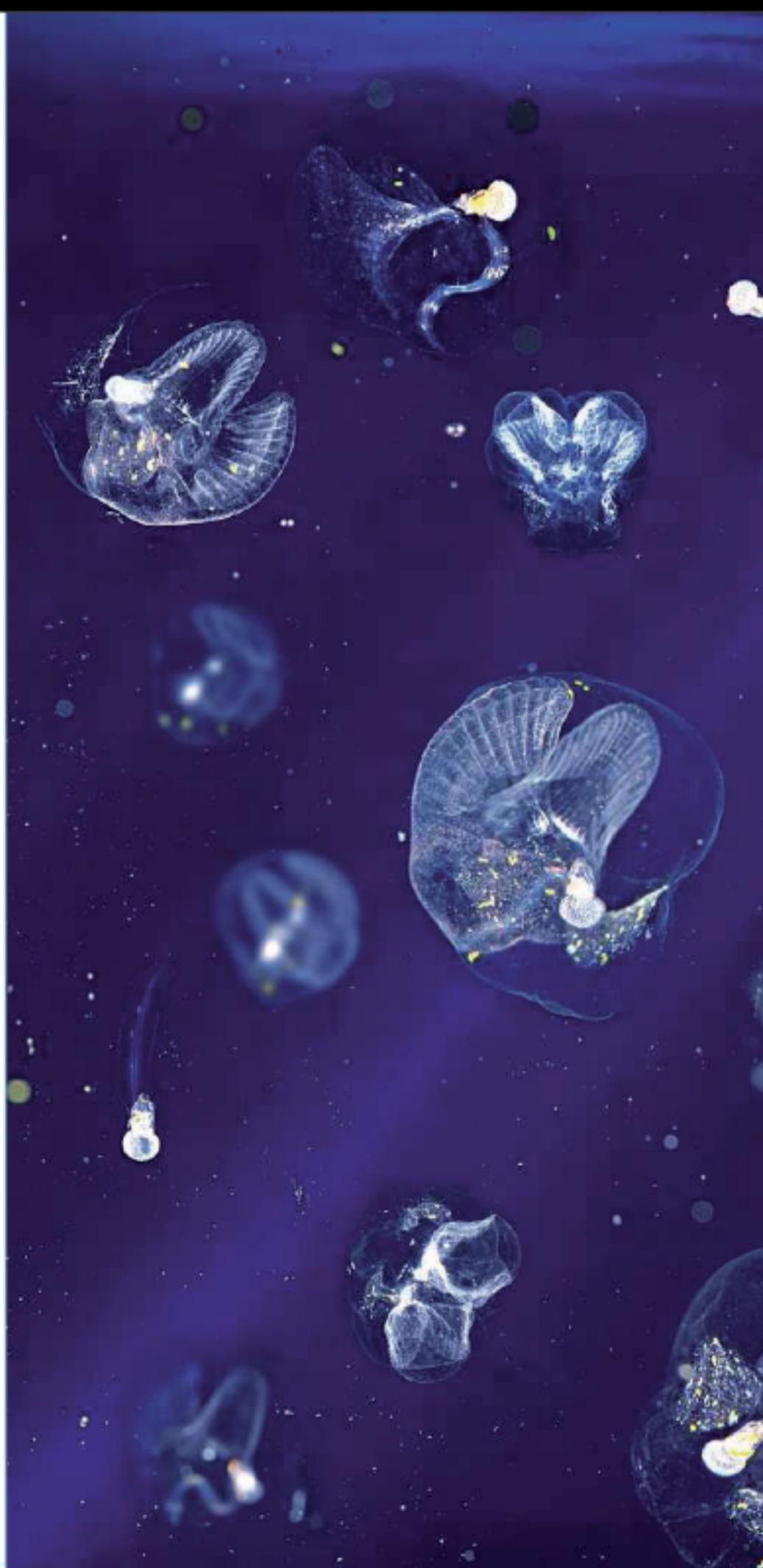
# Il existe des génomes d'un autre ordre !

Alors que les génomes étudiés jusqu'ici présentaient le même type d'organisation, celui d'*Oikopleura dioica* surprend les chercheurs.

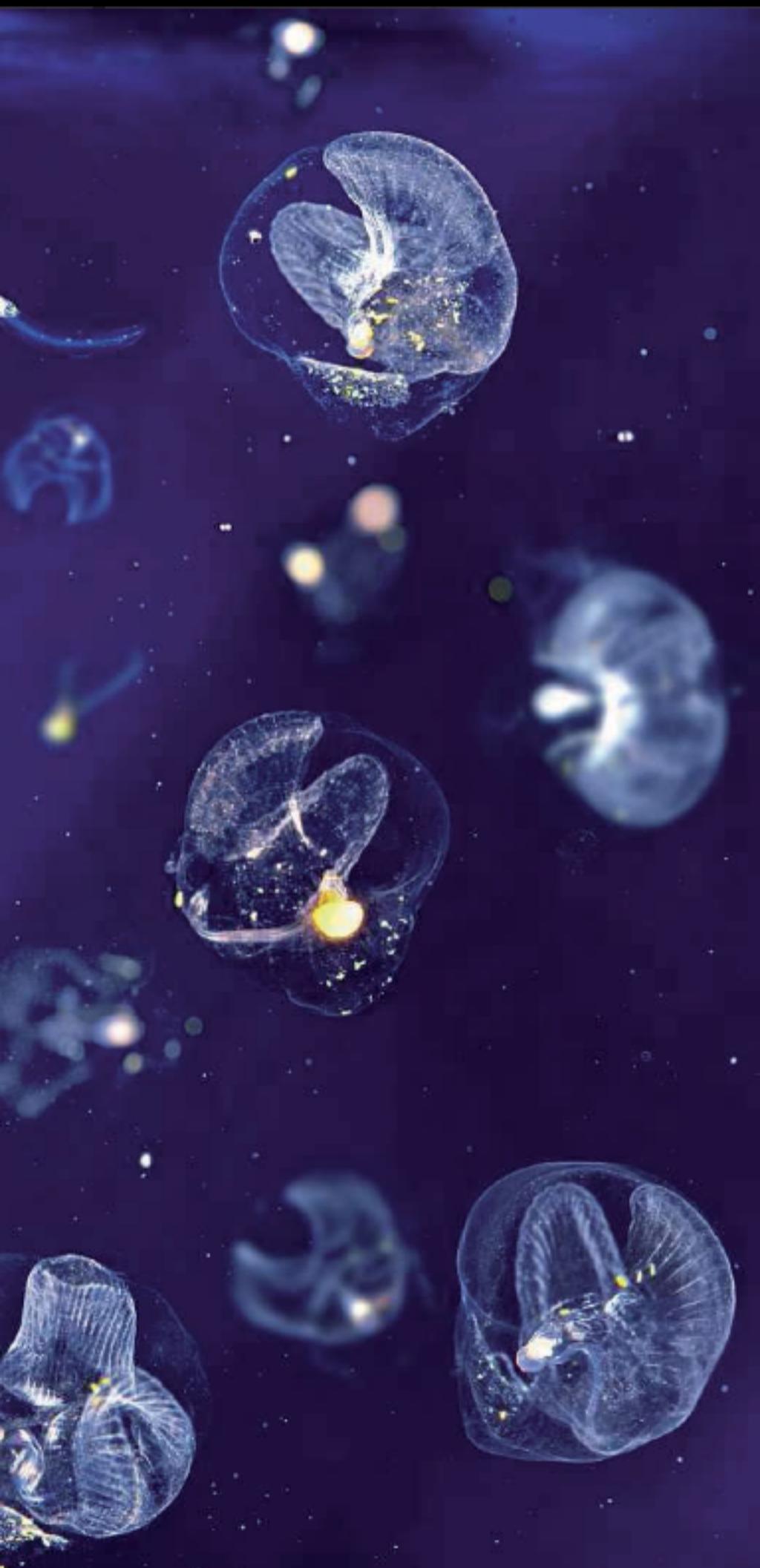
Qui aurait cru que l'analyse du génome d'une espèce de zooplancton nous amènerait à repenser le fonctionnement du nôtre ? Celle du génome très particulier d'*Oikopleura dioica*, animal marin microscopique de la famille des tuniciers, anéantit en tout cas quelques certitudes à ce sujet. En effet, l'arrangement désordonné de ses gènes sur ses chromosomes, ainsi que des différentes séquences d'ADN au sein même de ces gènes, renverse totalement l'idée répandue qu'une seule organisation est possible pour les génomes d'animaux. Il faut dire que "ceux séquencés ces quinze dernières années se révélaient quasiment tous organisés de la même manière, chez l'éponge comme chez l'homme", justifie le généticien Daniel Chourrout, qui a participé à l'étude. La structure inédite du génome d'*Oikopleura dioica* démontre au contraire que "dans l'assemblage de Lego

que constituent les génomes, d'autres ordres sont en fait possibles". Pourquoi alors, de manière générale, des animaux aussi éloignés que l'éponge et l'homme ont-ils conservé une organisation similaire ? Tout simplement parce que "celle-ci évolue très lentement", répond le chercheur. Le génome d'*Oikopleura dioica* aurait quant à lui muté exceptionnellement vite, probablement du fait de la sensibilité de cet animal transparent aux rayons UV traversant la surface des océans, et de la défaillance de son système enzymatique de réparation des mutations, induites notamment par ces UV. Cette particularité fait d'*Oikopleura dioica* un excellent modèle pour tenter de percer le mystère de l'évolution des génomes, et ainsi révéler l'histoire du nôtre. **E.A.**

► Les rayons UV auraient fait muter le génome de ce zooplancton transparent.



# » en direct des labos



## PHYSIQUE

### **LE SECRET DU POLISSAGE DU DIAMANT A ÉTÉ LEVÉ**

*Le diamant est le matériau le plus dur de la Terre.*

*Si dur qu'il est le seul à pouvoir se polir lui-même.*

*Pourquoi? En modélisant le comportement de deux échantillons frottés l'un contre l'autre, des chercheurs allemands ont observé que les atomes de l'interface (normalement rangés en une structure dérivée du cube) se désorganisaient totalement, ce qui facilitait le polissage. B.R.*



## SCIENCES COGNITIVES

### **La lecture modifie le fonctionnement du cerveau**

La lecture ne possède pas dans le cerveau ses propres circuits: lorsque nous lisons, nous sollicitons des régions cérébrales dédiées à d'autres fonctions. Ce qui les modifie. C'est ce qu'ont découvert les équipes de Stanislas Dehaene (Inserm, CEA, Paris-Sud) et de Laurent Cohen (AP-HP, Inserm, Paris). Les chercheurs ont recruté au Portugal et au Brésil des volontaires analphabètes et alphabétisés, dans l'enfance ou à l'âge adulte. Ils leur ont demandé d'écouter des phrases parlées, d'examiner des phrases écrites, des mots et des visages, puis ont comparé, avec l'IRM, leur activité cérébrale. Résultat: l'alphabétisation réorganise à la fois les aires visuelles du cerveau, et celles utilisées pour le langage parlé. Ce sont par exemple les zones dédiées à la perception des visages qui doivent faire de la place à la lecture! Une nouvelle démonstration de la plasticité cérébrale, la capacité du cerveau à acquérir de nouvelles compétences et à en modifier des anciennes, qui s'opère tout au long de la vie. V.B.

## ASTROPHYSIQUE

# Deux énormes bulles ont émergé de la Voie lactée

Elles sont gigantesques et pourtant, elles étaient jusque-là passées inaperçues... Deux bulles de 25 000 années-lumière viennent d'être découvertes dans la Voie lactée. A elles deux, elles valent, en taille, la moitié de notre disque galactique ! C'est une équipe de l'université Harvard, aux Etats-Unis, qui a discerné leur rayonnement gamma en étudiant les images prises par le télescope *Fermi* de la Nasa. "Il s'agit de deux énormes nuages de particules accélérées parfaitement symétriques, qui s'étendent de part et d'autre du centre de la Galaxie", détaille Meng Su, qui a participé

aux recherches. L'origine de ces bulles géantes demeure mystérieuse. Elles auraient pu naître, il y a quelques dizaines de millions d'années, des flots de matière éjectés par le trou noir supermassif central de la Voie lactée. "Ou bien, ces particules accélérées pourraient avoir été produites par l'explosion de dizaines de milliers d'étoiles massives", ajoute Meng Su. Pour trancher, d'autres observations seront nécessaires. Patience... les chercheurs sont déjà en train de s'y atteler. M.F.

► Les deux nuages géants (ici, une vue d'artiste) s'étendent de part et d'autre du disque galactique.

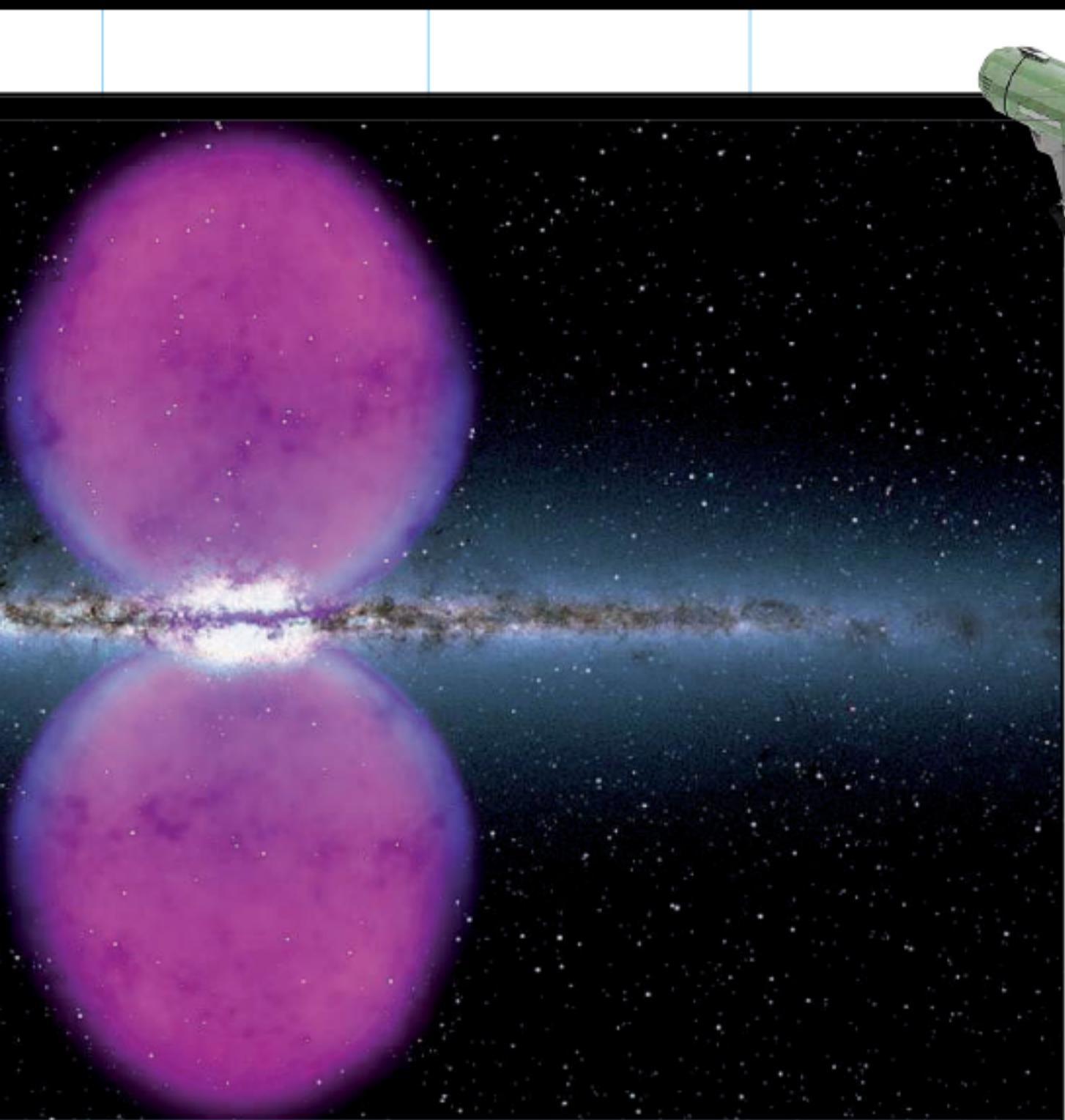


## BIOLOGIE CELLULAIRE

## Des parasites obligent les plantes à les nourrir

Certains champignons et bactéries détournent le glucose nécessaire à leur développement en obligeant la plante qu'ils parasitent à l'exporter elle-même hors de ses cellules ! Ils réalisent ce véritable "hold-up" à travers les canaux Sweet, de minuscules pores impliqués dans les échanges de sucre de part et d'autre de la membrane cellulaire. La mécanique, élucidée par Li-Qin Chen (Carnegie Institution for Science, Californie), est implacable : l'organisme pathogène injecte dans la cellule végétale une protéine qui stimule l'expression des gènes Sweet. Il s'ensuit une multiplication des canaux, qui se manifeste par un afflux massif de glucose, directement utilisable par le parasite. Cette découverte marque un pas de plus dans la compréhension des interactions entre le pathogène et sa plante hôte, et ouvre de nouvelles perspectives dans la lutte contre les parasites. E.H.

◀ Le champignon *Botrytis cinerea*, responsable de la pourriture grise, parasite plus de 200 plantes différentes.



#### ARCHÉO-ENTOMOLOGIE

## DES INSECTES RÉVÈLENT DES PRATIQUES FUNÉRAIRES MILLÉNAIRES

*Déjà utiles à la police scientifique, les insectes nécrophages viennent désormais en aide à... l'archéologie. Grâce à l'étude de 200 cocons de larves de diptères (ci-dessous) prélevés sur une tombe de plus de 1700 ans, Jean-Bernard Huchet, de l'université de Bordeaux, et Bernard Greenberg, de l'université de l'Illinois, ont révélé un rituel funéraire précolombien. Les Moches, civilisation du Pérou de 100 à 700 de notre ère, attendaient un mois avant d'enterrer leurs morts, peut-être pour attirer justement les mouches et libérer l'âme des cadavres.*

R.B.



**On tenait à vous dire**

## Une bactérie californienne empoisonne la Nasa

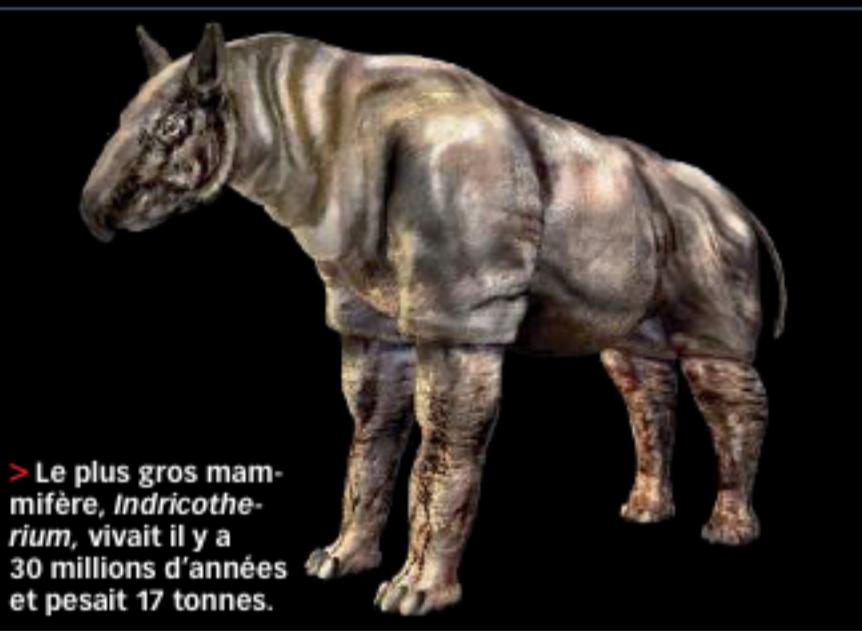
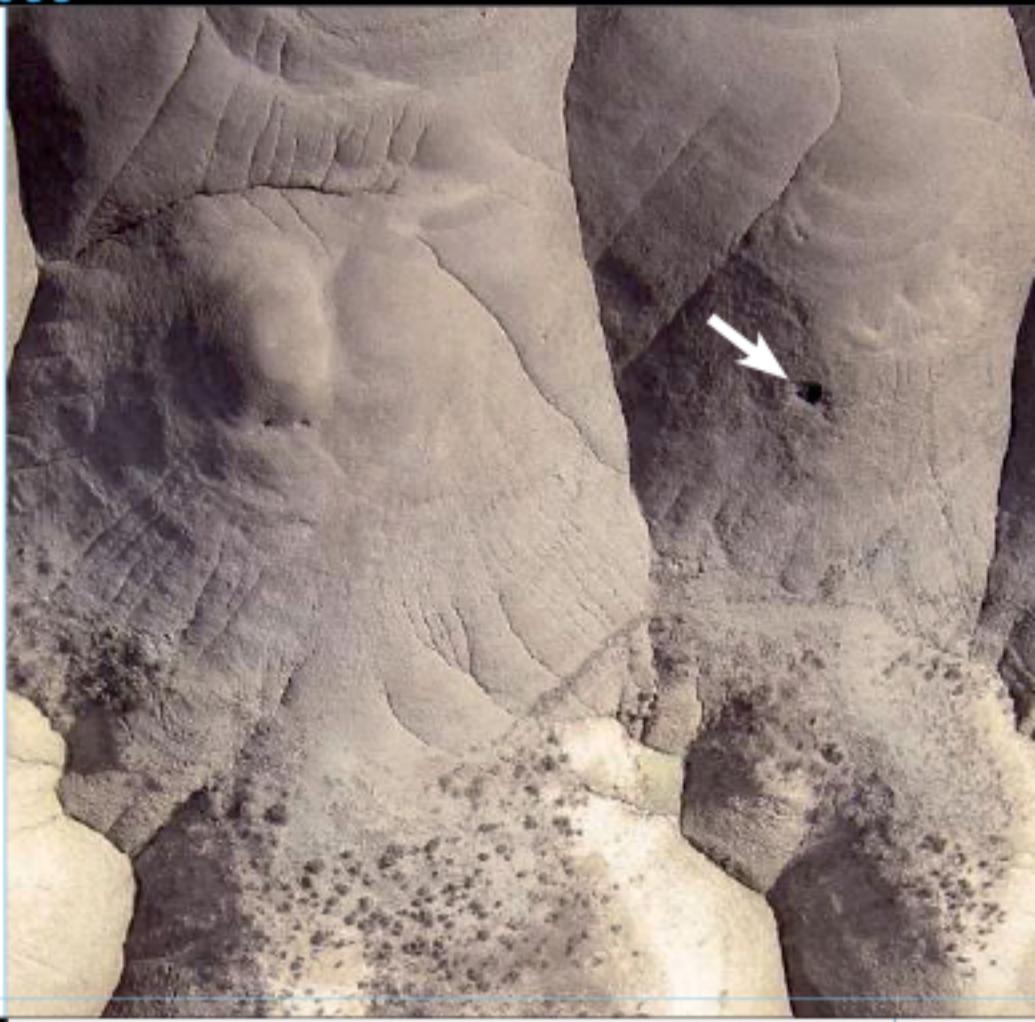
L'annonce par la Nasa d'une mystérieuse "découverte en astrobiologie qui impactera la recherche de preuves de vie extraterrestre", en novembre dernier, a suscité des réactions à des années-lumière de celles escomptées par l'agence spatiale américaine. La communication excessive de cette dernière, laissant supposer la découverte d'un organisme extraterrestre, a en effet été unanimement mise en cause, puisque la bactérie est... californienne. Le bactérie GFAJ-1 présente en fait un fonctionnement particulier: capable d'utiliser l'arsenic pour assurer sa croissance, il pourrait même faire entrer cette molécule, poison mortel pour la plupart des espèces, dans la composition de son ADN! Cette découverte pourrait élargir le spectre des différentes formes de vie potentiellement cachées dans l'Univers... si plusieurs scientifiques ne contestaient pas la méthodologie employée par les chercheurs, mettant du même coup en doute la réalité de leur découverte. En attendant les résultats de nouvelles expériences, la polémique sur une vie faite d'arsenic devrait donc continuer d'empoisonner la Nasa. E.A.

## ARCHÉOLOGIE

## On extrayait déjà le sel il y a 6 500 ans

Les gisements de sel de Duzdag (Azerbaïdjan) étaient déjà exploités par l'homme il y a 6 500 ans. Une équipe d'archéologues franco-azerbaïdjanais dirigée par Catherine Marro (CNRS/université Lyon-II) et Veli Bakhshaliyev a en effet découvert dans cette mine encore en activité des outils ayant servi à l'extraction, ainsi que des céramiques dont les plus anciennes datent de 4 500 ans avant J.-C. : "Ce sont les plus anciennes traces

directes d'exploitation d'une mine de sel", précise Catherine Marro. De grandes quantités de céramiques datant de 3 500 ans avant J.-C. ont aussi été mises au jour : "Au Bronze ancien, cette mine était donc exploitée de façon intensive, de sorte que les quantités extraites étaient certainement supérieures aux besoins des populations locales, laissant supposer des échanges avec des populations plus éloignées", ajoute la chercheuse. C.H.



Le plus gros mammifère, *Indricothrium*, vivait il y a 30 millions d'années et pesait 17 tonnes.

## ÉVOLUTION

## Les mammifères ont grandi après la mort des dinos

Opportunistes, les mammifères ? Leur poids, qui ne dépassait pas les 15 kg pendant les 140 premiers millions d'années de leur existence, aurait explosé après l'extinction des dinosaures, il y a 65 millions d'années. Voilà ce qu'a observé l'équipe de Felisa Smith (université du Nouveau-Mexique) en compilant d'abondantes données. En disparaissant, les dinosaures ont laissé vacantes des niches écologiques que les mammifères auraient vite colonisées, aidés par leur système de thermorégulation qui les protégeait du climat. Résultat : ils ont considérablement grandi et des espèces géantes sont apparues. Mais la thermorégulation, qui consomme 90 % de leur énergie, a fini par stopper leur croissance. Et leur taille s'est stabilisée il y a 25 millions d'années. B.R.

## PHYSIOLOGIE ANIMALE

## LA PEAU DU KILLI DES MANGROVES LUI PERMET DE VIVRE HORS DE L'EAU

C'est grâce à sa peau que le killi des mangroves, un petit poisson américain, survit hors de l'eau plusieurs semaines. Celle-ci lui permet non seulement de respirer, en laissant passer l'oxygène à la place des branchies (inactives à l'air libre), mais aussi de réguler sa concentration en eau et en ions. Des chercheurs canadiens ont en effet découvert sur sa peau quantité de cellules ionocytes, naturellement présentes dans les branchies, qui assurent cet échange avec le milieu extérieur.

R.B.





< C'est dans ces galeries (flèches) d'Azerbaïdjan qu'ont été découverts outils et céramiques utilisés pour l'extraction.

#### BIOLOGIE MOLÉCULAIRE

**Une simple tache de sang, même vieille de 18 mois, permet d'évaluer l'âge de son propriétaire à 9 ans près!** La méthode de Dimitri Zubakov (université Erasme, Rotterdam) repose sur une particularité des lymphocytes T. Lors de leur maturation dans le thymus (organe situé dans la poitrine), l'ADN de ces cellules sanguines est réarrangé. Des fragments de gènes éloignés sont mis bout à bout, les portions d'ADN intermédiaires persistant sous forme circulaire dans les cellules. Or, les réarrangements, et donc la production de ces rebuts, diminuent avec l'âge, en même temps que régresse le thymus. En quantifiant les cercles d'ADN trouvés dans le sang de 185 personnes âgées de quelques semaines à 80 ans, les chercheurs ont trouvé une corrélation avec l'âge, suffisante pour déterminer la génération à laquelle appartient un individu. Un nouvel outil pour la police scientifique. V.E.

## En bref...

➤ **LES ÉTOILES SERAIENT 3 FOIS PLUS NOMBREUSES QUE PRÉVU DANS L'UNIVERS.** En examinant huit galaxies proches, des astronomes américains se sont aperçus qu'elles contenaient entre 5 et 10 fois plus d'étoiles que la Voie lactée. Notre galaxie serait donc une exception! M.F.

➤ **ON EST PLUS HEUREUX LORSQU'ON EST CONCENTRÉ SUR CE QUE L'ON FAIT** que lorsqu'on laisse son esprit vagabonder. Pour le savoir, des scientifiques ont demandé à 5000 volontaires de décrire leurs activités, leurs pensées et d'estimer leur contentement à divers moments d'une journée. V.B.

➤ **L'ALIMENTATION DE LA MÈRE MODIFIE LE CERVEAU CHEZ LE FŒTUS.** Chez des souriceaux dont la mère a eu une alimentation "goûteuse" lors de la gestation, les glomérules olfactifs (zones où arrivent les axones des neurones olfactifs) sont plus développés. D'où la préférence des petits, ensuite, pour le même type d'aliments. E.A.

➤ **LA GALAXIE D'ANDROMÈDE SERAIT NÉE D'UNE FUSION DE DEUX GALAXIES** survenue il y a 5,5 milliards d'années. D'après leurs simulations, des astronomes français avancent même que les nuages de Magellan, deux galaxies voisines, seraient, à l'origine, d'immenses gerbes de gaz et d'étoiles éjectées lors de la collision. B.R.

www.  
**Vallee-**  
**Culture**  
.fr

# La Science se livre

## La Chimie du laboratoire au quotidien

Dans les bibliothèques des Hauts-de-Seine  
Conférences / ateliers / débats  
19 janvier > 5 février 2011

Venez rencontrer des scientifiques et des écrivains sur le thème de la chimie. Participez à des ateliers et des animations ouverts à tous, visitez les expositions proposées dans les bibliothèques et les lieux culturels des Hauts-de-Seine.

Gratuit pour tout public

Tout le programme sur [www.vallee-culture.fr](http://www.vallee-culture.fr)  
Renseignements 01 47 29 34 26

92  
Conseil général  
Hauts-de-Seine

Conception et réalisation : Conseil général des Hauts-de-Seine • Direction des communications • Novembre 2010

BnF Bibliothèque  
Muséum  
Centre Pompidou

clio  
un lieu d'enseignement

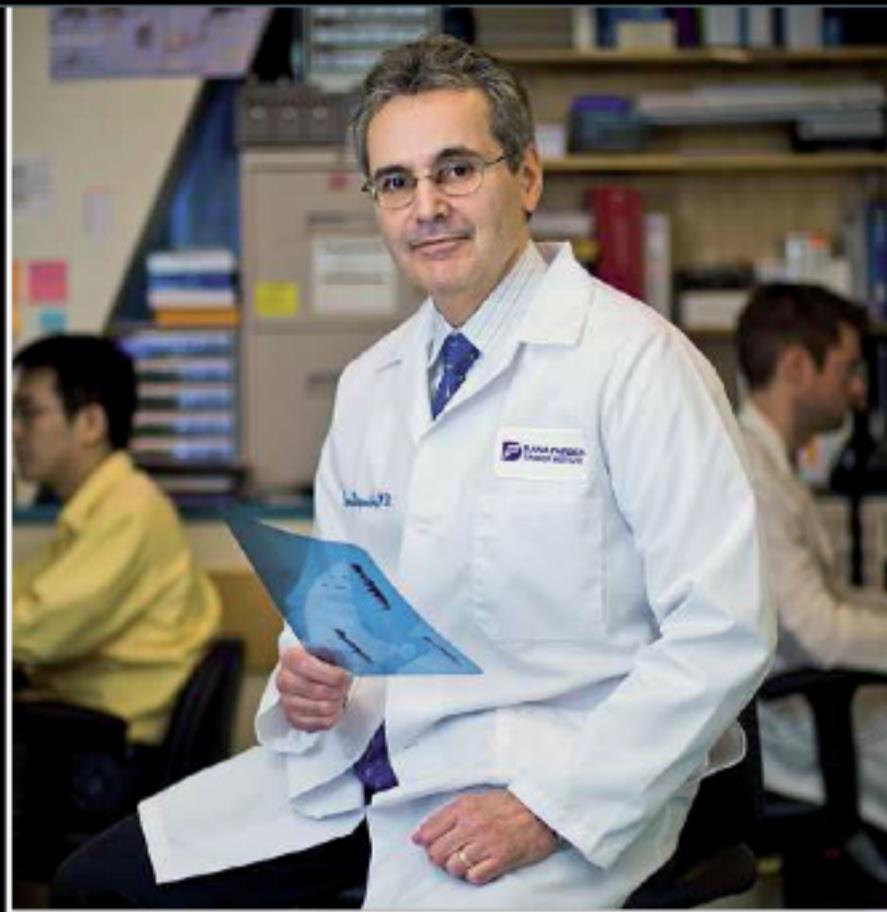
International Year of CHEMISTRY 2011

CNRS

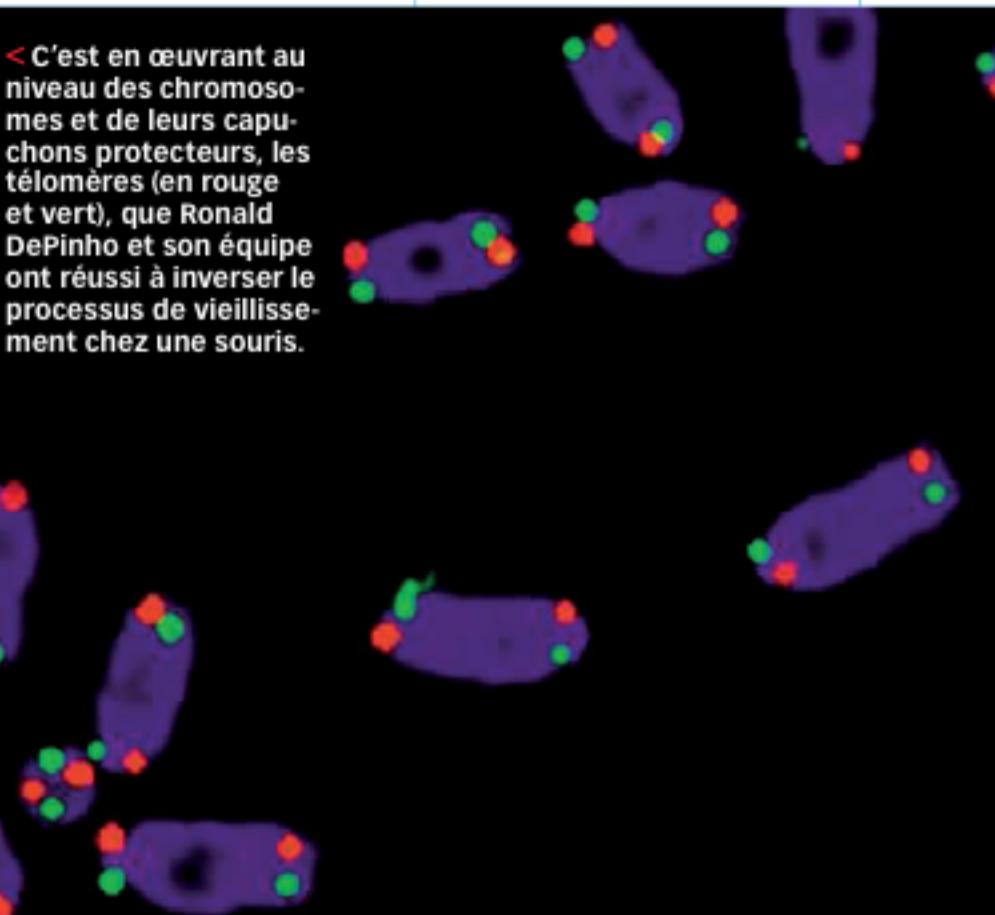
le Parisien

cea

La Science se Livre est organisée par le Conseil général des Hauts-de-Seine



« C'est en œuvrant au niveau des chromosomes et de leurs capuchons protecteurs, les télomères (en rouge et vert), que Ronald DePinho et son équipe ont réussi à inverser le processus de vieillissement chez une souris.



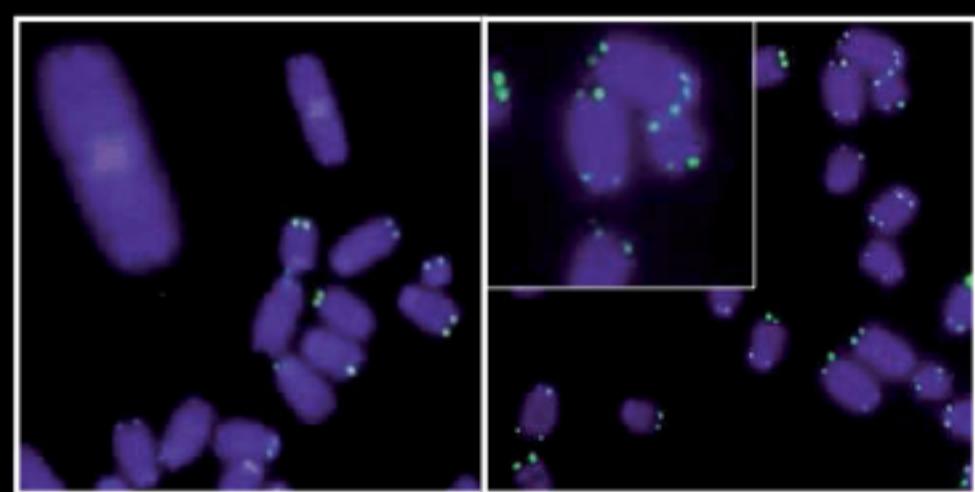
# Ils ont créé le premier être vivant qui rajeunit

En réactivant chez des souris âgées une protéine qui régénère les cellules, des chercheurs américains ont fait mieux qu'enrayer leur vieillissement: ils leur ont donné une vraie cure de jouvence. Une première!

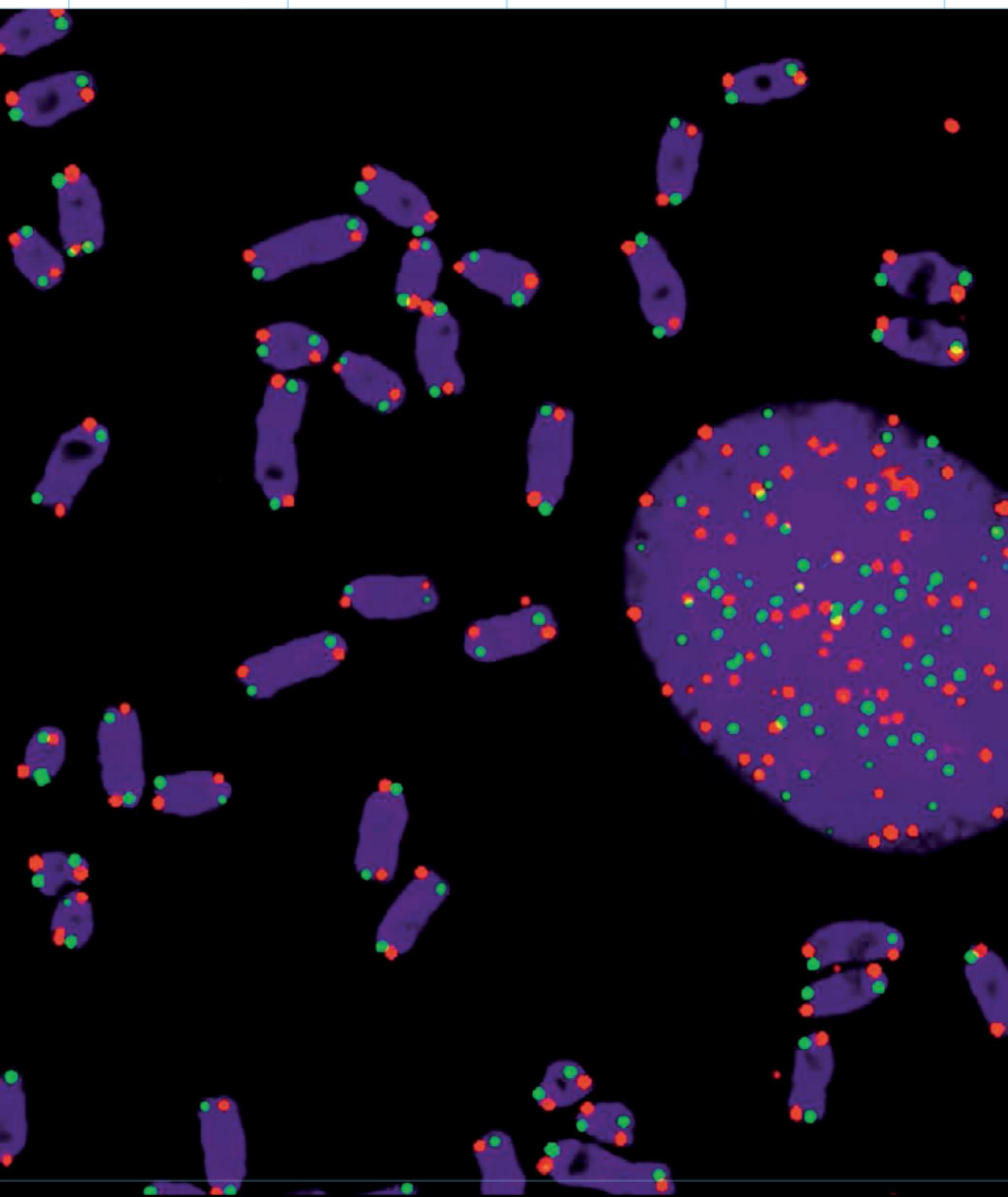
De l'élixir de longue vie aux machines à remonter le temps, les recettes destinées à rajeunir ont fait les grandes heures de la science-fiction... sans jamais cesser de hanter les scientifiques. C'est ainsi qu'à force de persévérance et de manipulations génétiques, des chercheurs américains viennent de réussir l'impossible: faire littéralement rajeunir un être vivant! En l'occurrence, une vieille souris mâle dont les organes – cerveau, foie, testicules, intestins... – ont retrouvé leur jeunesse. Un remarquable exploit quand les meilleures

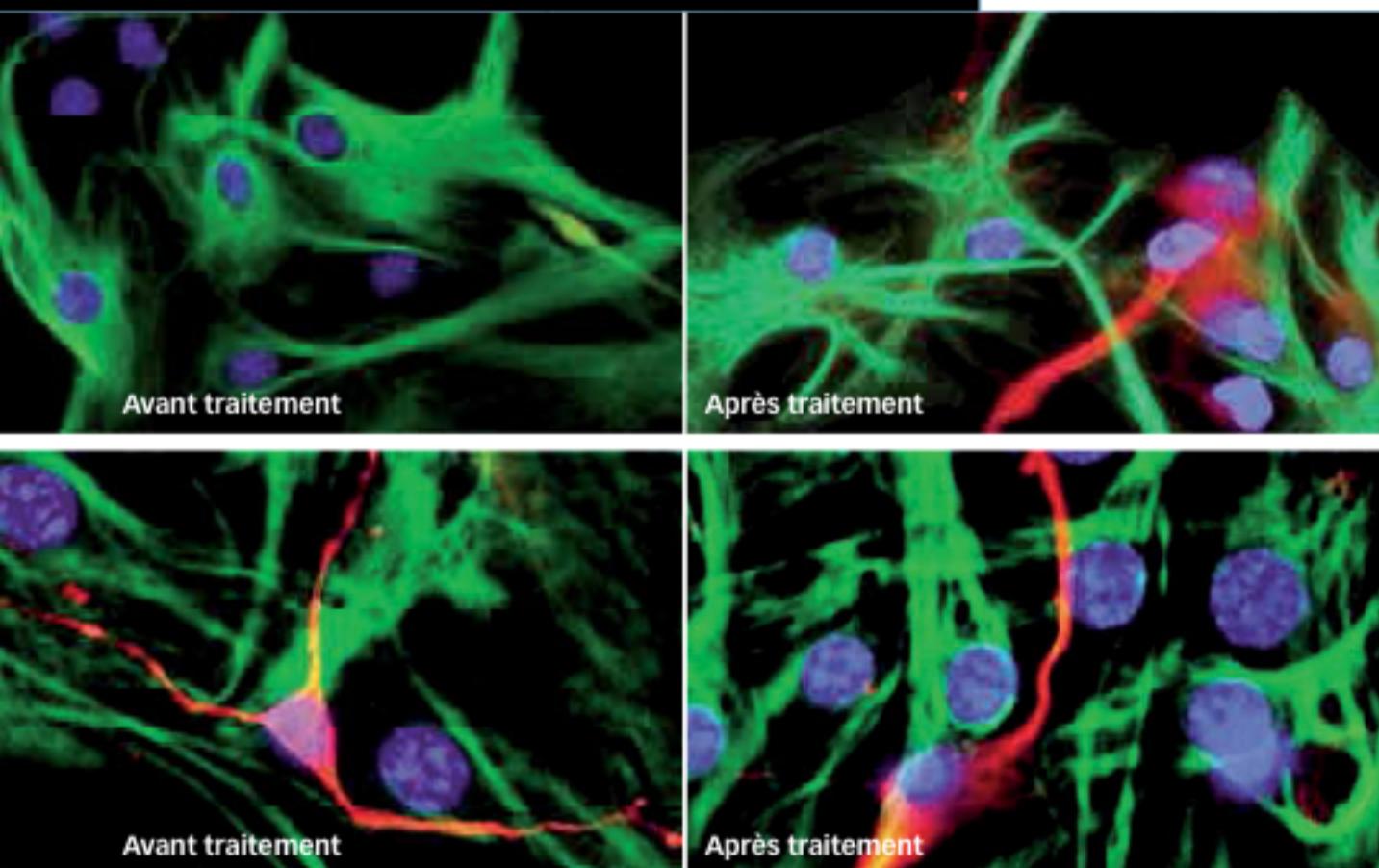
équipes mondiales ont tout au plus réussi à retarder le vieillissement de leurs animaux de laboratoire. « C'est bien la première fois que l'on parvient à inverser le phénomène du vieillissement », s'enthousiasme Mariela Jaskelioff, qui a conduit l'expérience avec Ronald DePinho, à l'Ecole de médecine de Harvard (Boston, Etats-Unis).

Pour rendre sa vigueur juvénile au rongeur défraîchi, point de baguette magique. Les chercheurs ont plutôt misé sur la télomérase, une protéine connue pour son rôle essentiel dans le maintien →



▲ En pratique, les chercheurs ont réactivé la télomérase (à dr.), une protéine réparatrice dont la production diminue avec l'âge. Résultat: les télomères (en vert) se sont mis à rallonger.





► Alors que ces deux souris ont été génétiquement modifiées pour être vieilles, celle de gauche a repris du poil de la bête après avoir été traitée par l'équipe de Boston.



→ de la "jeunesse". De fait, chaque fois qu'une cellule se divise, ses chromosomes – de longs filaments d'ADN qui contiennent les gènes – sont endommagés. Plus précisément, leurs extrémités, appelées télomères, qui servent de "capuchons" protecteurs, raccourcissent à chaque division, jusqu'à un point de non-retour qui signe la mort de la cellule. La télomérase est une sorte de protéine "réparatrice" qui lutte contre ce processus en allongeant les capuchons de télomère à chaque division. Mais quand on prend de l'âge, les quantités de télomérase produites diminuent, et le vieillissement cellulaire, lui, s'accélère.

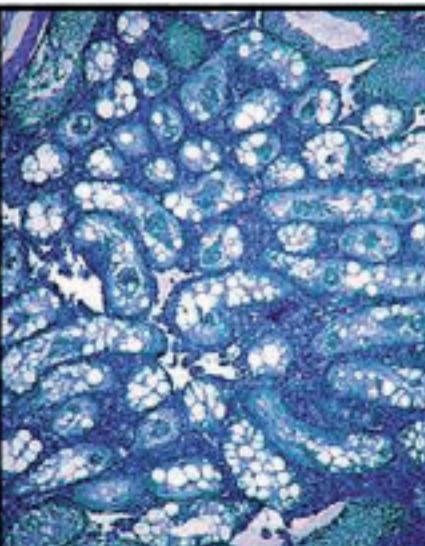
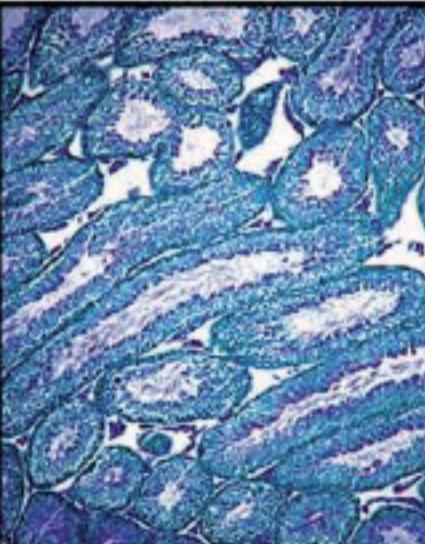
### PROTÉINE MAGIQUE...

"Nous avons voulu savoir ce qui se passerait si l'on parvenait à rallonger des capuchons de télomères déjà raccourcis, raconte Mariela Jaskelioff. Pourrait-on enrayer le vieillissement, ou du moins le ralentir?" Autrement dit, comment réagit un individu déjà âgé lorsqu'on parvient à raviver la fameuse protéine réparatrice?

Pour le savoir, les chercheurs ont recouru à une astucieuse manœuvre génétique. Ils ont créé des souris chez lesquelles l'activité de la télomérase peut être "allumée" ou "éteinte" sur demande. "Nous avons fabriqué une télomérase dotée d'une sorte de 'poignée', qui l'attache à de grosses protéines. Elle est ainsi séquestrée hors du noyau de la cellule, loin des chromosomes et incapable de réparer leurs capuchons. Mais en présence d'une certaine substance, le tamoxifène, la 'poignée' change de forme et permet à la télomérase de se libérer, de voyager jusqu'au noyau et d'allonger les télomères", précise la chercheuse. Ainsi, chez les souris utilisées pour l'expérience, la télomérase est totalement inactive. Si bien que les rongeurs vieillissent à toute vitesse : peu fertiles, ils souffrent d'ostéoporose précoce, de diabète et de neurodégénérescence cérébrale... Mais il suffit d'injecter du tamoxifène à ces vieilles souris pour que la télomérase se mette au travail et répare les télomères rongés par le temps. Le résultat? Simple : il s'est

▲ Le traitement relance le processus de régénération des cellules du cerveau de la souris vieillie (en haut, en rouge); chez la souris témoin (en bas), pas de changement.

▼ Une fois la télomérase réactivée, les vieilles cellules allongées du tissu testiculaire font place à une multitude de petites cellules vigoureuses.



produit ce que les chercheurs n'osaient même pas espérer. L'activation tardive de la télomérase a eu l'effet d'une cure de jouvence.

"Nous nous attendions à une stabilisation du vieillissement; or, nous avons observé une inversion spectaculaire du processus en seulement quatre semaines", s'étonne encore Mariela Jaskelioff. Concrètement, la taille des organes a augmenté, les testicules ont repris du service et les signes de dégénérescence visibles dans les intestins ou le foie ont régressé. "Mais c'est l'effet sur le cerveau qui nous a le plus impressionnés : chez les animaux à qui l'on ne donne pas de tamoxifène, le cerveau ne



*fait que 75 % de la taille normale d'un rongeur adulte en raison du vieillissement accru. Après activation de la télomérase, le cerveau atteint 87 % de la taille normale !* ", explique la biologiste, qui y voit déjà un espoir de réparer les dégâts causés par les maladies neurodégénératives.

Pour autant, la communauté scientifique critique la méthodologie de ces travaux : ce rajeunissement a eu lieu chez des souris longuement privées de télomérase et donc soumises à un vieillissement artificiel. L'équipe américaine n'a, de plus, agit que sur un seul facteur de sénescence – le raccourcissement des télomères –, laissant de côté

les dizaines d'autres phénomènes, notamment le stress oxydatif (libération de radicaux libres) qui sous-tendent également l'inexorable vieillissement des individus normaux. Et que se passerait-il donc pour eux si l'on agissait uniquement sur la longueur des télomères ? Pour l'instant, nul ne le sait.

#### ... MAIS AMBIVALENT

Il n'empêche, ces résultats étonnent... "La capacité de régénération du système nerveux après restauration de l'activité de la télomérase est spectaculaire", concède Arturo Londoño-Vallejo, spécialiste des télomères à l'Institut Curie, à Paris. Alors, pourra-t-on,

un jour, remonter le temps ? Peut-être, mais il existe un bémol de taille : l'activité accrue de la télomérase est associée à de nombreux cancers. Lorsqu'elle est mutée dans les cellules tumorales, la télomérase contribue à leur survie anarchique. L'équipe de Harvard n'a toutefois pas observé de cancers chez les souris rajeunies, mais l'expérience était de courte durée. "Cela reste une question importante", admet Mariela Jaskelioff. Enfin, comme le souligne Arturo Londoño-Vallejo, les mécanismes en jeu sont probablement plus complexes qu'une simple élongation des chromosomes, puisque la télomérase n'agit pas uniquement

sur les télomères. "Elle régule d'autres phénomènes moléculaires, dont certains impliqués dans la mobilisation des cellules souches, qui pourraient expliquer en partie les phénomènes observés."

Quoi qu'il en soit, la curiosité des chercheurs est piquée. "Nous voulons désormais savoir si une réactivation prolongée de la télomérase permet d'effacer complètement les effets du vieillissement", explique Mariela Jaskelioff. Quant aux compagnies pharmaceutiques, elles risquent de redoubler d'effort pour mettre au point un médicament "allongeur" de télomères et offrir des pilules de jeunesse éternelle.

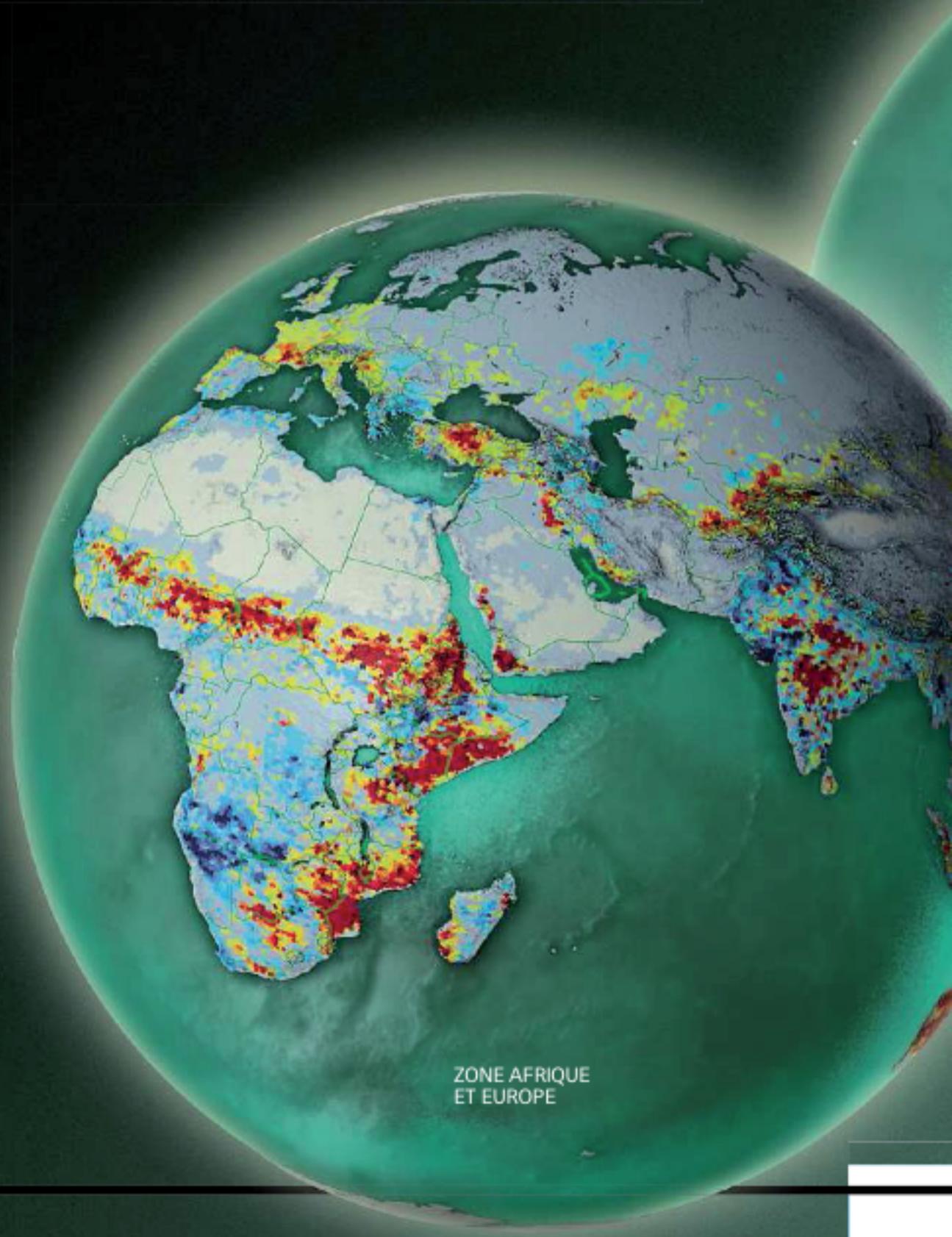
**Marine Corniou**

HYDROLOGIE

## De moins en moins d'eau s'évapore des continents

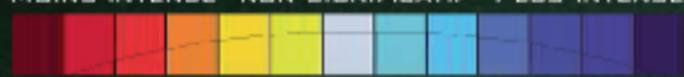
Après avoir augmenté pendant quinze ans, la quantité de vapeur d'eau libérée dans l'atmosphère par évaporation des sols et transpiration de la végétation (évapotranspiration) a diminué régulièrement de 1998 à 2008. Telle est la conclusion d'une étude internationale basée sur des observations obtenues par satellite et grâce à un réseau de 253 tours à flux. Selon Nicolas Viovy, du Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement, ces fluctuations trouveraient leur origine dans le changement climatique: "Lorsque la température augmente, l'énergie disponible pour évaporer l'eau augmente aussi. Il s'évapore donc plus d'eau dans une atmosphère qui, parce qu'elle est plus chaude, peut également contenir plus de vapeur d'eau." De quoi expliquer l'augmentation initiale mesurée entre 1982 et 1997. Mais ce phénomène s'est probablement heurté à partir de 1998 à son facteur limitant: la disponibilité en eau dans les sols. Les chercheurs ont ainsi montré que les régions où l'évapotranspiration a le plus diminué, comme l'Australie ou l'Amérique du Sud, sont aussi celles qui ont connu une forte réduction de l'humidité des sols sur la même période. Un assèchement qui, s'il se poursuit, pourrait altérer la productivité agricole, mais aussi accélérer la hausse des températures. L'énergie solaire dissipée jusqu'ici pour évaporer l'eau chauffera en effet l'air.

C.H.



## Evolution de l'évapotranspiration sur la période 1998-2008 comparée à la période 1982-1997

MOINS INTENSE NON SIGNIFICATIF PLUS INTENSE

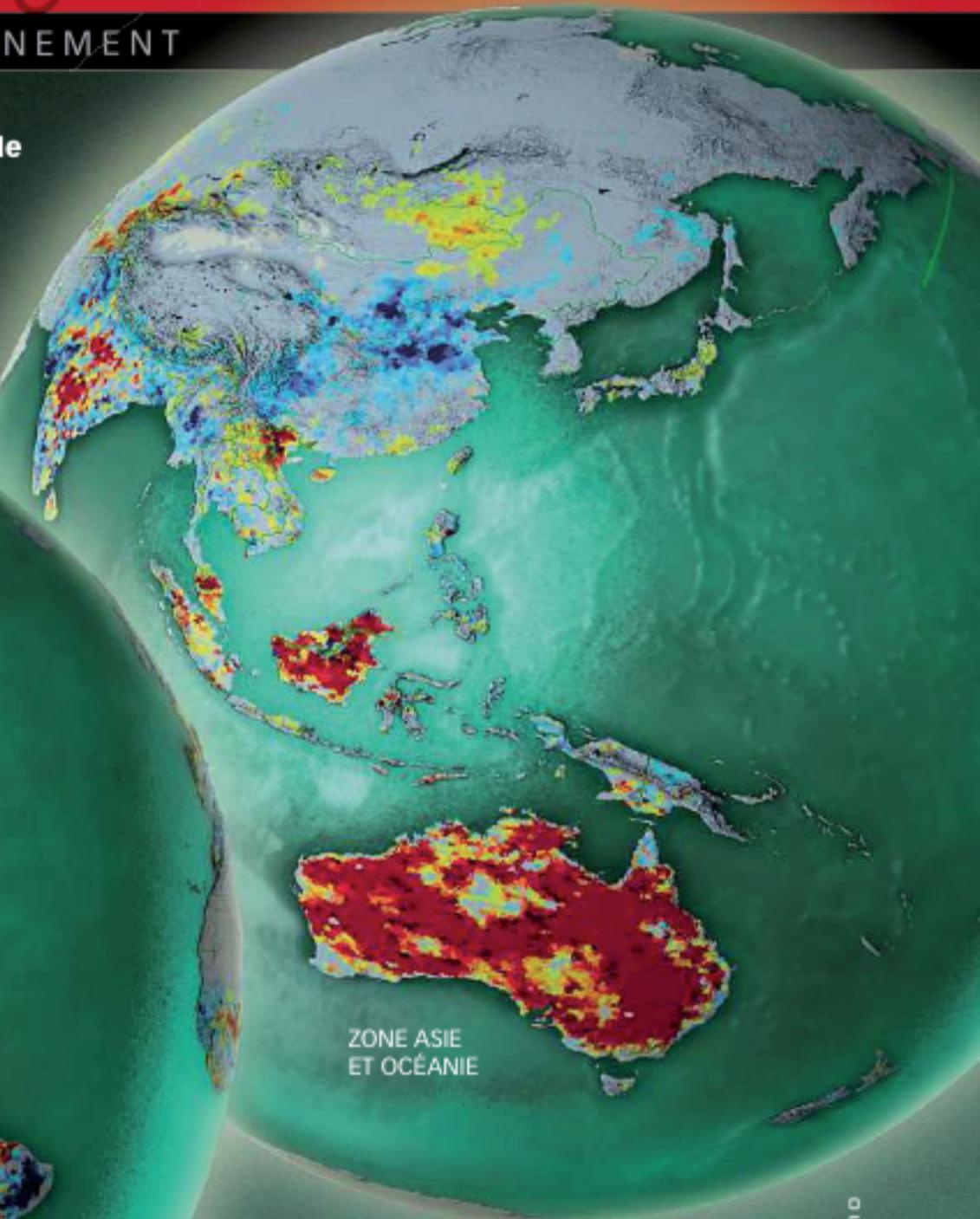



AUGMENTATION  
STAGNATION  
DIMINUTION  
PAS DE DONNÉES

**60** % des précipitations retournent dans l'atmosphère par évapotranspiration.

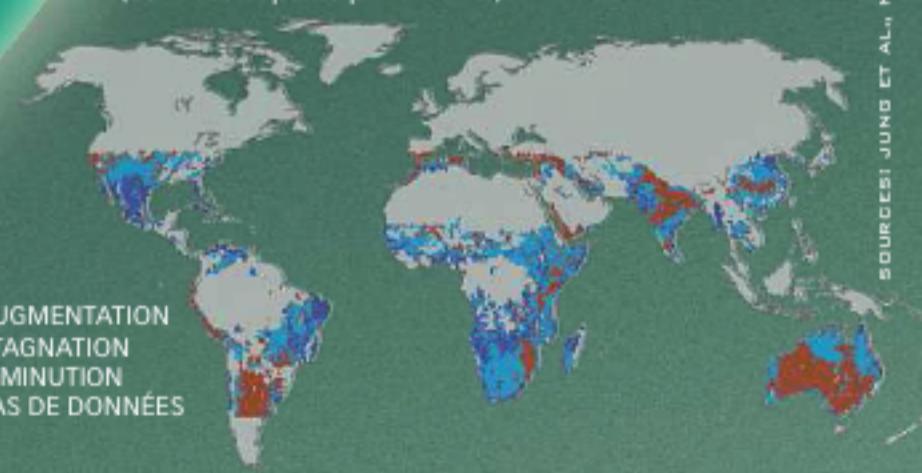
**65**  $\times 10^3$  km<sup>3</sup> d'eau s'évaporent chaque année au niveau des terres émergées.

**1400** mm d'eau/an s'évaporent dans les zones tropicales, contre 400 mm/an dans les zones tempérées.



## L'humidité des sols baisse dans le monde

Evolution de l'humidité des sols entre 1998 et 2008 (données captées par satellite).



### CLIMATOLOGIE

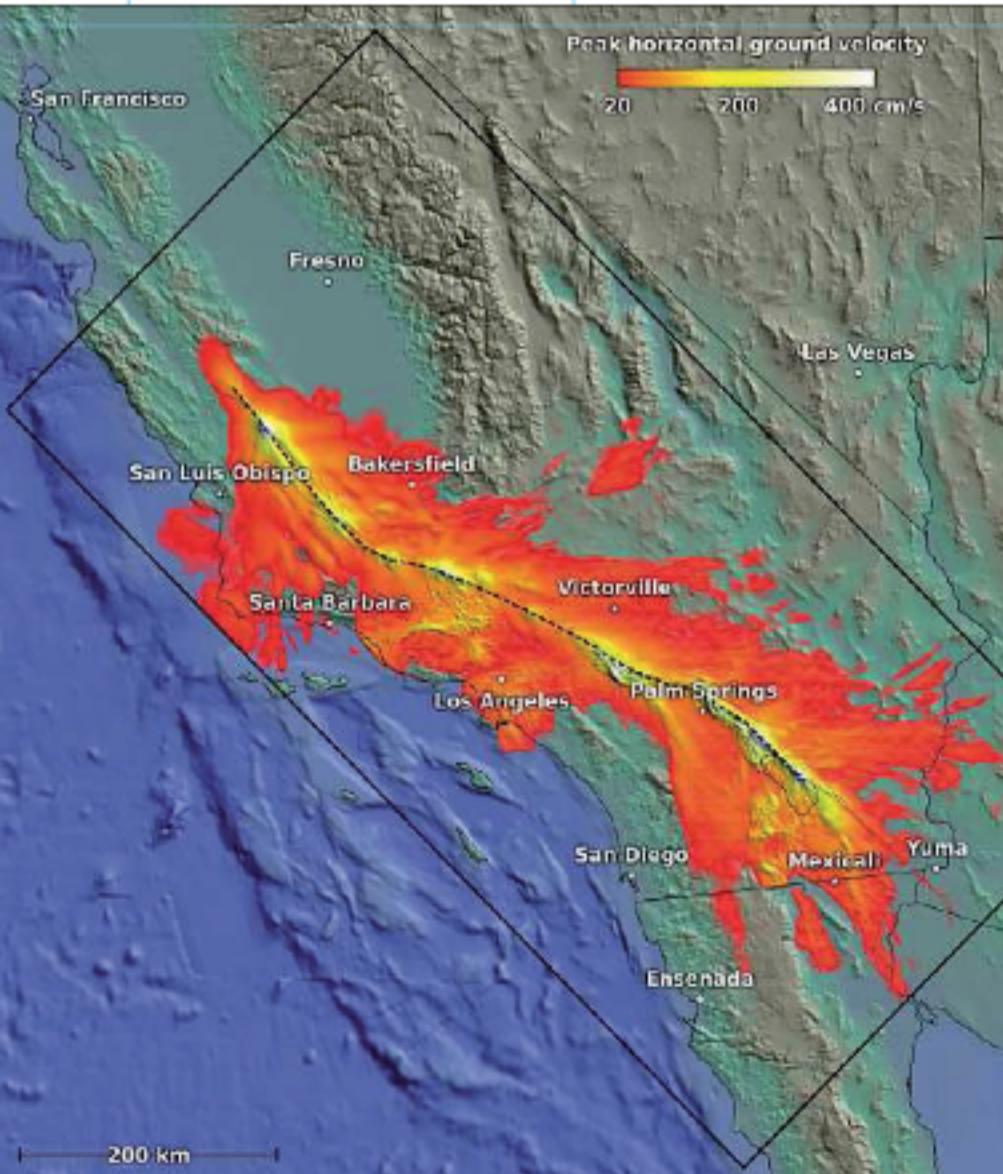
## La température des grands lacs du monde grimpe aussi

L'eau des plus grands lacs de la planète s'est réchauffée, gagnant en moyenne 0,045 °C tous les ans depuis 1985. Pour arriver à cette conclusion, Philipp Schneider et Simon Hook, de l'Institut californien de technologie, ont analysé les images infrarouges de 167 grands lacs prises par satellite toutes les nuits pendant l'été, période durant laquelle lesdits lacs ne sont pas couverts de glace. Premier enseignement: tous ne chauffent pas à la même vitesse. En Europe du Nord, cette augmentation

frise le dixième de degré annuel. Ainsi, les eaux de trois des plus grands lacs d'Europe, les lacs Ladoga et Onega (en Russie) et le lac Vänern (en Suède), ont gagné plus de 2 °C en vingt-cinq ans. En revanche, sous les tropiques, la température des lacs a peu augmenté (0,025 °C par an), en accord avec la répartition géographique du réchauffement global. Deuxième enseignement: en comparant l'évolution des températures

de l'air et des eaux, les chercheurs ont constaté qu'en Europe du Nord et dans la région des Grands Lacs en Amérique du Nord, l'eau se réchauffe plus vite que l'air, ce qui s'expliquerait par la fonte plus précoce des glaces hivernales. Recouverte moins longtemps par la glace, l'eau des lacs absorbe plus d'énergie et se réchauffe donc plus vite. Ces variations ne seront pas sans conséquence sur les écosystèmes. **C.H.**

**> L'eau des grands lacs européens a gagné 2 °C depuis 1985; elle se réchauffe plus vite que l'air dans l'hémisphère Nord.**

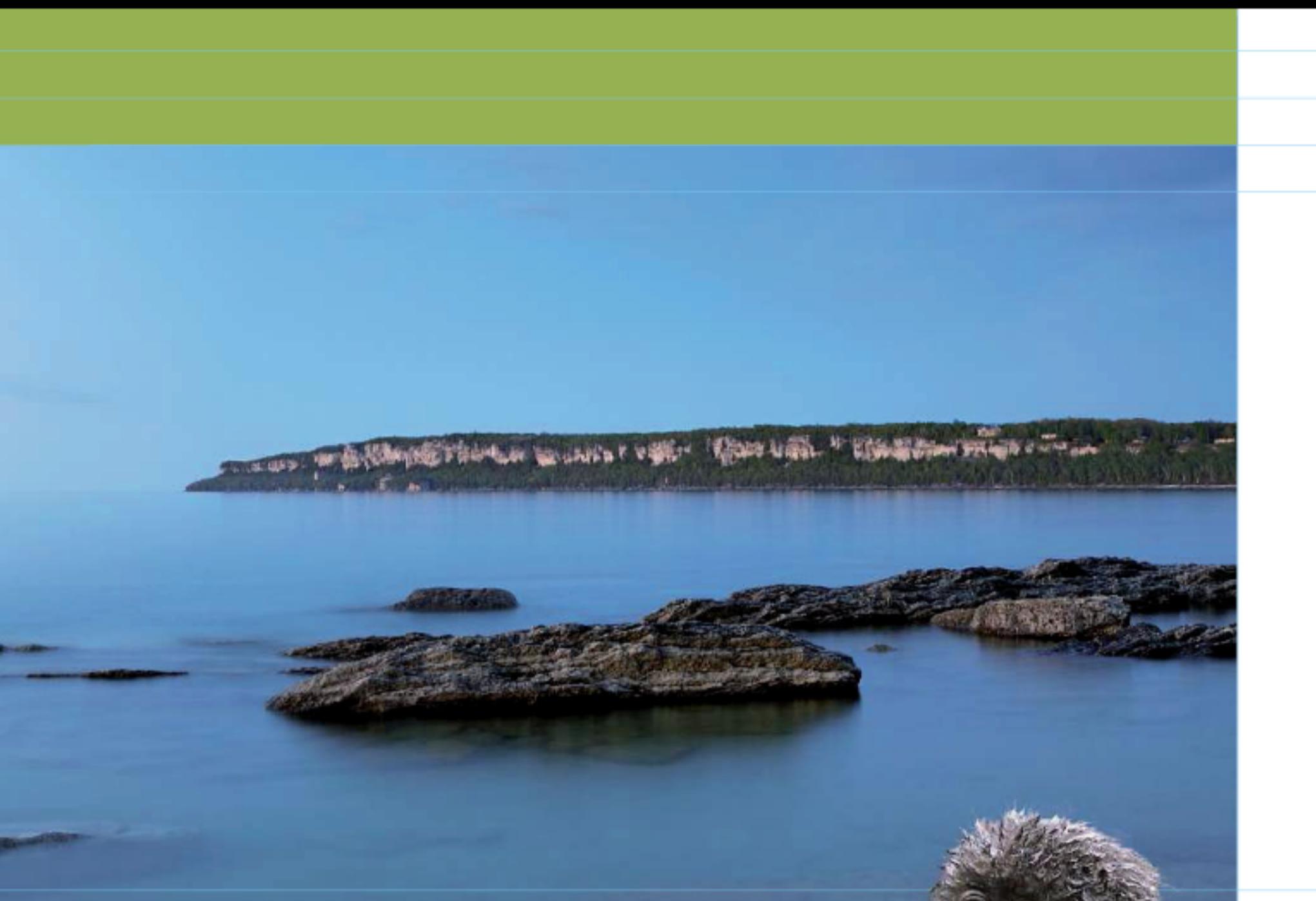


### SISMOLOGIE

## Le "Big One" a été simulé

La simulation numérique la plus détaillée d'un tremblement de terre de magnitude 8 sur la partie sud de la faille de San Andreas vient d'être réalisée sous la coordination du Southern California Earthquake Center. Baptisée "M8", elle a permis de simuler un séisme de six minutes s'étendant sur une zone de 810 km sur 405 km et jusqu'à une profondeur de 85 km. Une telle échelle spatio-temporelle n'avait jamais encore été explorée. Le niveau de détail atteint permettra d'analyser les dommages causés à un large éventail de constructions et non plus seulement sur les grandes structures. Les premiers résultats montrent ainsi que les constructions les plus hautes sont surtout sensibles aux mouvements de grande amplitude (basse fréquence), tandis que les plus petites craignent particulièrement les séries de tremblements brefs (haute fréquence). De plus, les bassins sédimentaires profonds, comme celui de la région de Los Angeles, devraient subir des secousses plus fortes que ce que les modèles envisageaient jusqu'ici. Le réalisme de M8 aidera les ingénieurs à concevoir des constructions sismiquement plus sûres. Elle est également riche d'enseignements sur les séismes d'une magnitude si élevée et pour lesquels peu d'informations sont disponibles. Un tel tremblement de terre aurait 2 % de risques de se produire dans les trente prochaines années en Californie. **S.F.**

**< C'est la première simulation aussi précise d'un tremblement de terre de magnitude 8 sur la faille de San Andreas (Californie).**



## ÉNERGIE

La biomasse peut être transformée efficacement en composés chimiques habituellement dérivés du pétrole. Tushar Vispute, de l'université du Massachusetts, vient de développer un procédé pour améliorer la synthèse d'éthylène, de benzène ou de toluène utilisés dans la production des solvants et des plastiques. Comme matériel de départ, le chercheur utilise des huiles de pyrolyse, issues de la combustion à haute température de déchets végétaux, qui sont peu chères à produire. Grâce à une catalyse en deux étapes, le chimiste a pu multiplier par trois le rendement de conversion de ces huiles en produits de base pour l'industrie chimique. Selon lui, les matériaux produits sont de qualité équivalente à ceux issus du pétrole.

Pa.G.

## BIODIVERSITÉ

### **LA POPULATION DES GORILLES DE MONTAGNE EST EN PLEIN BOUM**

*Le nombre de gorilles de montagne a augmenté de 26 % en sept ans ! Un recensement effectué en mars-avril 2010 sur les pentes des Virunga, des montagnes à cheval entre la République démocratique du Congo (RDC), le Rwanda et l'Ouganda, comptabilise en effet 480 individus, contre 380 en 2003. Avec les 302 de la Forêt impénétrable de Bwindi, en Ouganda, et les 4 orphelins d'un sanctuaire de RDC, cela porte à 786 la population totale de Gorilla beringei beringei à travers le monde. Le primate reste néanmoins vulnérable : une patrouille a récemment détruit dans le massif des Virunga plus de 200 pièges en 5 jours !*

R.B.





▲ Une forte diversité d'oiseaux réduit la transmission du West Nile virus aux Etats-Unis.

### BIODIVERSITÉ

## Moins de biodiversité favorise les maladies infectieuses

Quel est le point commun entre la rouille des graminées, le paludisme, le West Nile virus et la peste blanche des coraux? La transmission de ces maladies infectieuses est favorisée par une faible diversité d'espèces. Selon Felicia Keesing (Bard College, Etats-Unis), qui a passé en revue les études explorant le lien entre biodiversité et maladies infectieuses, cette

conclusion peut être généralisée. On aurait pourtant pu penser qu'une baisse du nombre d'espèces diminuerait la prévalence de certaines maladies en éliminant hôtes et vecteurs (qui transmettent le parasite d'un hôte à un autre). Au contraire. Dans un environnement diversifié, la prédatation et la compétition entre espèces limitent les populations

d'hôtes. Les contacts entre parasite et hôte ou entre deux hôtes sont aussi moins fréquents, restreignant infection et contagion. Plus étonnant: les espèces animales et végétales qui survivent le mieux à la dégradation de leur habitat (une des causes du déclin de la biodiversité) sont souvent les hôtes les plus efficaces dans la transmission des pathogènes. V.E.

▼ Les anesthésies pratiquées tous les ans "pèsent" autant qu'un million de voitures.



### CLIMATOLOGIE

## LES ANESTHÉSIANTS DOPENT L'EFFET DE SERRE

*Les 200 millions d'anesthésies générales pratiquées avec un gaz anesthésiant chaque année dans le monde contribuent autant au réchauffement climatique que l'émission de 4,4 millions de tonnes de CO<sub>2</sub>. Selon les calculs du chimiste américain Mads Peter Sulbaek Andersen, ces gaz ont le même impact sur la planète qu'une centrale électrique fonctionnant au charbon ou qu'un million de voitures.*

C.H.

On en reparle

### Les plantes n'avancent pas toutes leur floraison

"Le printemps est – et sera – de plus en plus précoce", pouvait-on lire dans le numéro d'avril 2007 de *S&V*, consacré au dérèglement des saisons lié au réchauffement climatique. Les cas inverses de retard du printemps étaient alors minoritaires, mais ils pourraient se multiplier. Selon une étude de l'Académie des sciences chinoise, la hausse des températures hivernales est impliquée dans le retard de croissance de la végétation observé depuis 2000 sur le plateau tibétain. La plupart des plantes des régions froides et tempérées ont, en effet, besoin d'un temps minimum de dormance, induit par la froideur de l'hiver, pour pouvoir ensuite réagir à l'arrivée du printemps. Selon les chercheurs, la hausse des températures hivernales retarderait ce phénomène de dormance et donc leur réveil subséquent. L'accélération de la hausse des températures pourrait donc renforcer ce phénomène, et même l'étendre à d'autres régions du globe, dont celles de hautes altitudes et latitudes, où les plantes sont particulièrement dépendantes des changements de température. E.A.

**Perte de poids** chez les personnes en surpoids dont l'indice de masse corporelle est supérieur ou égal à 28, en association avec un régime.

# alli agit si vous agissez



mangez mieux,  
faites de l'exercice  
et prenez alli

alli bloque l'absorption de 25% des graisses  
que vous mangez. [www.alliprogramme.fr](http://www.alliprogramme.fr)

Parlez-en  
à votre  
pharmacien

**Médicament, pas avant 18 ans.** alli est indiqué dans la perte de poids en association avec un régime réduit en calories et pauvre en graisses chez les personnes en surpoids dont l'indice de masse corporelle est supérieur ou égal à 28. Perte de poids moyenne de 4,4 kg après 6 mois de traitement (durée maximale d'utilisation). **Demandez conseil à votre pharmacien, il vous dira si vous êtes en surpoids ou obèse et si alli vous convient. Ne tardez pas à consulter votre médecin pour bénéficier si nécessaire d'une prise en charge globale et adaptée.** Si vous n'avez pas perdu du poids après avoir pris alli pendant 12 semaines, demandez conseil à votre médecin ou votre pharmacien. Il pourra être nécessaire d'arrêter de prendre alli. Ne pas utiliser chez la femme enceinte. Contient de l'orlistat. Lire attentivement la notice. Visa GP n°1535G1OX412.

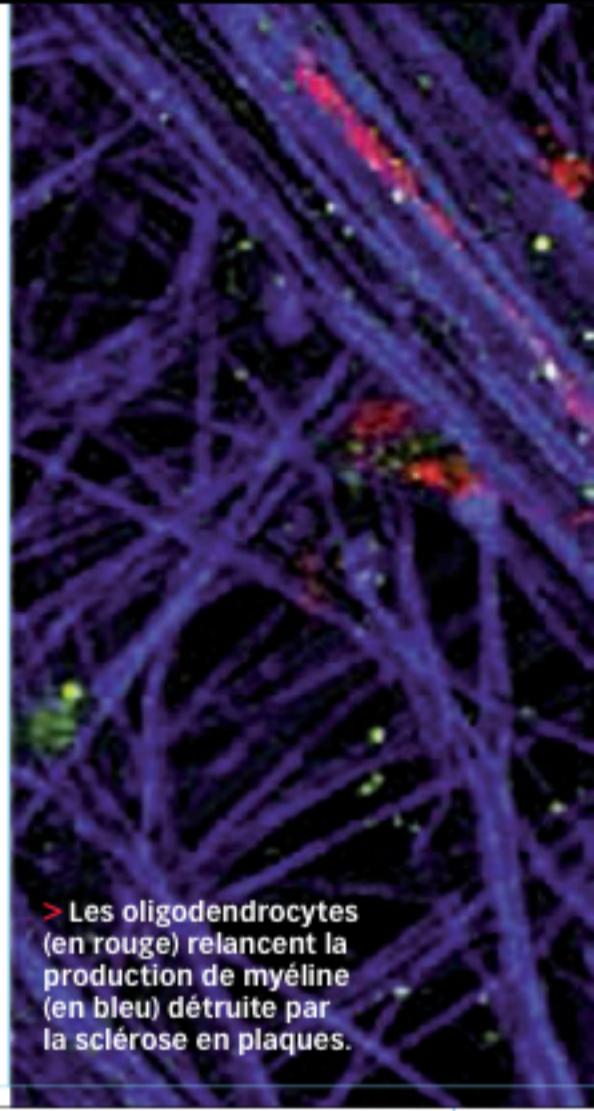
### NEUROLOGIE

## Stimulé, le cerveau pourrait réduire la sclérose en plaques

Saura-t-on un jour réparer les dommages provoqués dans le cerveau par la sclérose en plaques (SEP)? Une équipe internationale (Royaume-Uni, France, Japon) ouvre une piste sérieuse. Il s'agit de stimuler les facultés naturelles d'autoréparation du cerveau pour reconstruire la "gaine" isolante des fibres nerveuses détruite par la SEP. Cette gaine, formée de myéline, est fabriquée par des cellules spécialisées : les oligodendrocytes. Si une lésion apparaît, des cellules souches

d'oligodendrocytes migrent vers le site, se transforment en oligodendrocytes matures et relancent la production de myéline. Or, ce processus ne fonctionne plus dans la SEP. "Notre objectif était d'identifier quels facteurs bloquaient la réparation", explique Brahim Nait Oumesmar, de l'équipe parisienne. Le RXR $\gamma$  est alors apparu comme une protéine clé." Une "clé" également indispensable à la fabrication de la myéline. Or, le RXR $\gamma$  disparaît quand la SEP se développe. "Nos expériences

laiscent penser que c'est une bonne cible pharmacologique pour réveiller le potentiel des cellules souches du cerveau", selon Anne Baron-Van Evercooren, de l'Institut du cerveau et de la moelle épinière à Paris. Des molécules synthétiques – les réxinoïdes – sont déjà connues pour interagir avec le RXR $\gamma$ . A défaut d'éviter le déclenchement de la maladie, des traitements à base de réxinoïdes pourraient favoriser la régénération et la réparation des gaines de myéline. O.C.



Les oligodendrocytes (en rouge) relancent la production de myéline (en bleu) détruite par la sclérose en plaques.

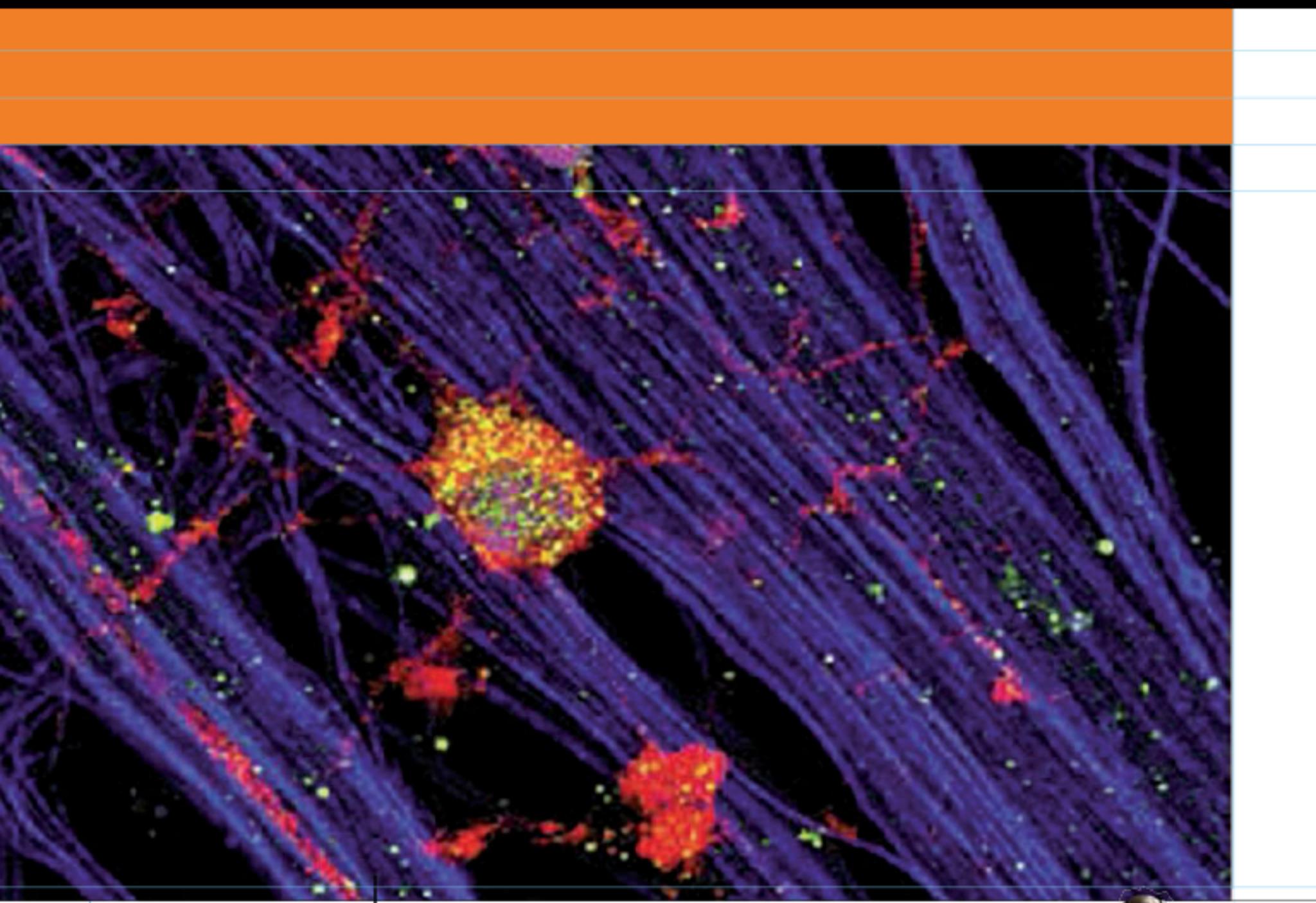


### VIROLOGIE

## La mortalité due au A(H1N1) s'explique mieux

L'hiver dernier, le virus A(H1N1) a surtout frappé les adultes les plus résistants, âgés de 20 à 50 ans. Fernando Polack, de l'université Vanderbilt de Nashville (Etats-Unis), pointe un emballement du système immunitaire des victimes qui provoquerait de graves lésions pulmonaires. En effet, des similitudes dans les structures des virus A(H1N1) et des grippes saisonnières passées ont permis à leur organisme de sécréter une grande quantité d'anticorps non spécifiques qui ont pu reconnaître le virus H1N1 sans être capables de le détruire. "Face à la déficience des anticorps, un mécanisme immunitaire supplémentaire a été suractivé. Il a fonctionné de façon disproportionnée, provoquant des lésions cellulaires, notamment dans les poumons", explique Fernando Polack. Comme si le système, pris par une crise de "panique", lançait des attaques inappropriées. Les enfants, qui n'avaient pas été touchés par les précédentes grippes saisonnières, n'ont pas connu cet emballement, et les personnes nées avant 1957 ont sécrété des anticorps plus spécifiques, et donc efficaces contre H1N1, car elles avaient, jeunes, été confrontées à des virus descendants de la grippe espagnole plus proches de H1N1. C.H.

Si les adultes sont les plus vulnérables, c'est à cause de leur propre système immunitaire qui s'emballe et les tue.



## CANCÉROLOGIE

L'aspirine réduirait la mortalité par cancer. Sa consommation régulière diminuerait d'au moins 20% la mortalité dans le cas des cancers de l'œsophage, du pancréas, du cerveau et du poumon, selon des chercheurs de l'université d'Oxford. Cette observation repose sur plusieurs comparaisons entre la consommation d'aspirine et celle d'un placebo pendant au moins quatre ans par plus de 25 000 personnes. Ces chercheurs avaient déjà estimé, en octobre dernier, que de faibles doses d'aspirine (environ 75 mg) permettaient de réduire le risque de mortalité liée au cancer colorectal de 35%. Mais ils jugent prématuré d'en prescrire quotidiennement: il faut encore mesurer la balance entre bénéfices et risques, notamment hémorragiques. C.T.

## CANCÉROLOGIE

### **MESSIEURS, VOTRE INDEX VOUS RENSEIGNE SUR VOTRE PROSTATE**

*Les hommes de moins de 60 ans dont l'index est plus long que l'annulaire ont un risque 87% moins élevé d'être touchés par le cancer de la prostate! Aussi incroyable que cela puisse paraître, ce résultat d'une étude menée sur 4500 hommes pendant quinze ans s'explique scientifiquement: la croissance de l'index et le risque de développer ce cancer dépendraient en effet tous deux du taux d'exposition à la testostérone lors du développement intra-utérin. Pour les chercheurs, il s'agit donc d'un nouvel indicateur de risque à surveiller.*

E.A.

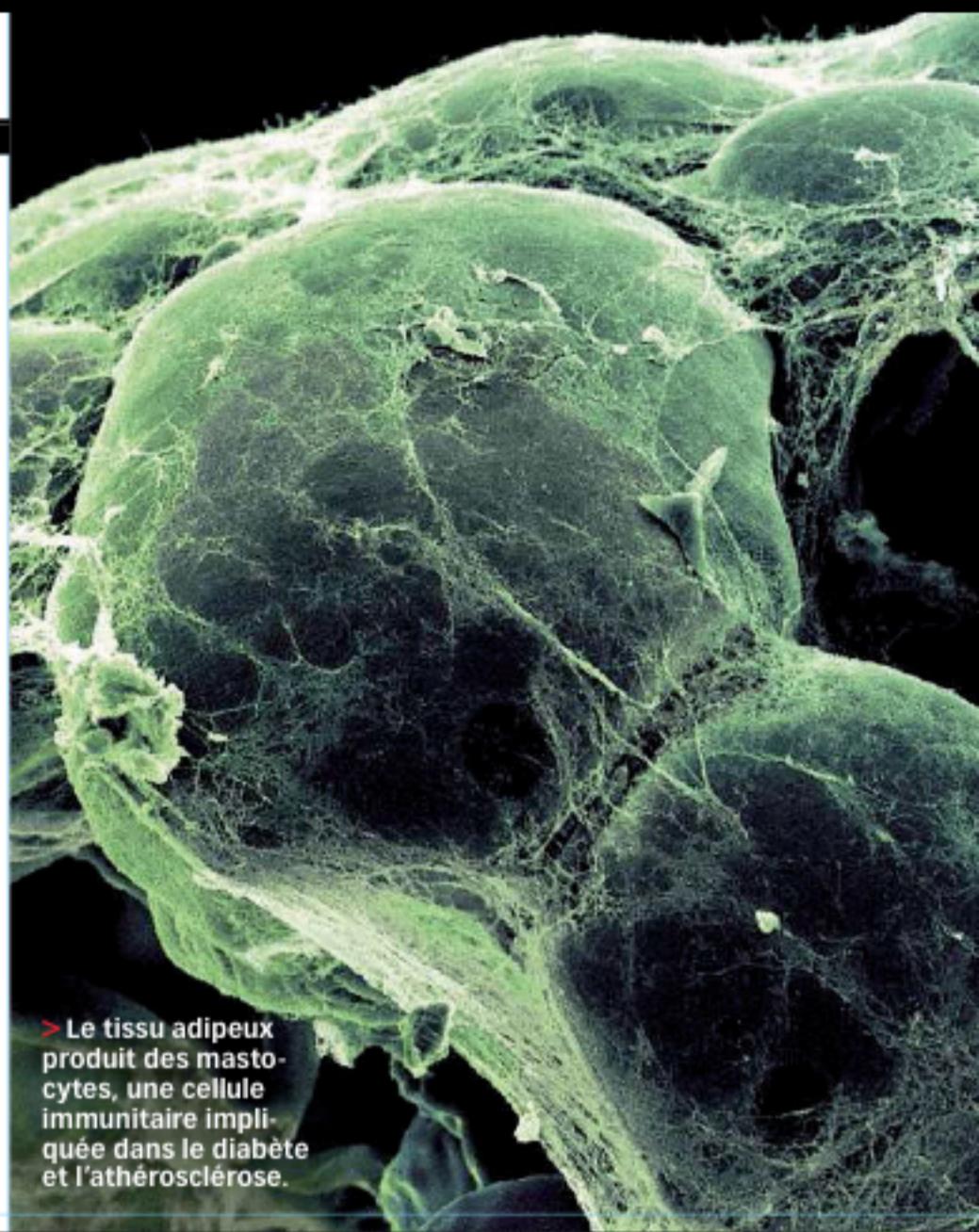


## IMMUNOLOGIE

# La graisse produit aussi ses cellules immunitaires

Lutter contre des maladies inflammatoires, tels le diabète, l'athérosclérose ou certains cancers, en ciblant la graisse des malades? Cette idée originale pourrait bien être appliquée si les résultats de chercheurs toulousains de l'Inserm et du CNRS se confirment. En effet, jusqu'à aujourd'hui, il était acquis que la fabrication des cellules du système immunitaire, dont certaines participent à l'apparition des maladies inflammatoires, se faisait au cœur de la moelle osseuse. Or, les scientifiques

viennent de révéler chez la souris qu'il existe un autre lieu de fabrication: le tissu adipeux. Ce dernier renferme des cellules souches semblables à celles de la moelle osseuse, capables de donner naissance à des cellules immunitaires: les mastocytes. Des cellules justement connues pour leur rôle actif dans des phénomènes inflammatoires. "Ces résultats ouvrent de grandes perspectives vers des applications thérapeutiques", souligne Béatrice Cousin, chercheuse en physiologie. O.C.



Le tissu adipeux produit des mastocytes, une cellule immunitaire impliquée dans le diabète et l'athérosclérose.



## NEUROLOGIE

## On a enfin compris le lien entre diabète et Alzheimer

"Le diabète de type 1 favorise plutôt l'apparition de la maladie d'Alzheimer, et celui de type 2 augmente surtout le risque de dépression", résume le chercheur américain C. Ronald Kahn, du Centre de recherche sur le diabète de Boston (Etats-Unis), qui apporte pour la première fois

une explication à la sensibilité des diabétiques aux maladies neurologiques. Celle-ci serait due à une faible production cérébrale de cholestérol, une molécule indispensable au bon fonctionnement des neurones. Les chercheurs ont en effet montré une baisse de l'expression des

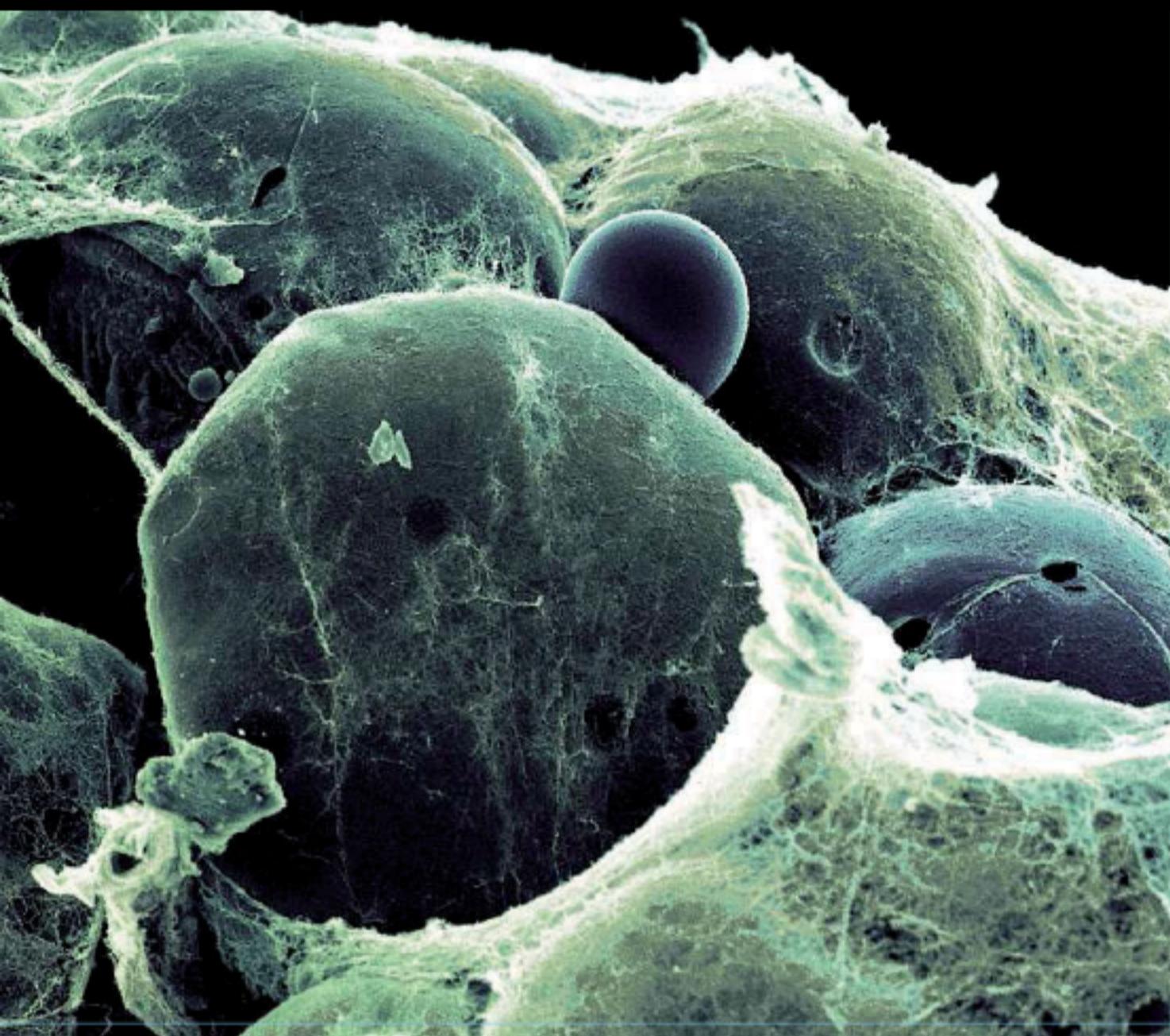
Le faible taux de cholestérol dans le cerveau des diabétiques nuit à leurs neurones.

gènes impliqués dans la synthèse du cholestérol dans les cellules du cerveau de souris déficientes en insuline, modélisant un diabète de type 1. L'injection intracérébrale d'insuline permet cependant de restaurer cette expression. Cette hormone s'avérerait donc indispensable à la fabrication (activation des gènes de synthèse) du cholestérol et son faible taux chez les personnes diabétiques favoriserait l'apparition de dysfonctionnements neurologiques. Avant de pouvoir envisager un quelconque traitement préventif, C. Ronald Kahn doit maintenant "identifier plus précisément les effets neurologiques et comportementaux de la baisse du cholestérol dans le cerveau", et confirmer ses conclusions "en travaillant sur des tissus humains". E.A.

## ORL

### Un implant neutraliserait certains vertiges.

Première mondiale: un patient du Centre médical de l'université de Washington, à Seattle, a été appareillé fin 2010 avec un implant capable de stopper les vertiges dus à la maladie de Ménière. Comparable à l'implant cochléaire des sourds, il a la particularité d'être relié, via trois électrodes, aux nerfs du vestibule, l'organe de l'oreille interne responsable de l'équilibre. Chez les malades, les signaux envoyés par ces nerfs vers le cerveau sont "brouillés" par l'accumulation de fluide dans le vestibule. L'implant, activé manuellement, agit en stimulant électriquement les nerfs vestibulaires pour compenser ces signaux. "Evaluer précisément son efficacité pourrait prendre des années, car les crises sont imprévisibles", précise Jay Rubinstein, l'un des chercheurs.



## Bon à savoir

➤ **LA RETRAITE, C'EST BON POUR LE MORAL.** En suivant plus de 14 000 personnes, des chercheurs de l'Inserm ont observé une nette diminution de la fatigue physique et mentale et une baisse des symptômes dépressifs dès le départ à la retraite, toutes catégories socio-professionnelles confondues. Et elle persiste longtemps après.

➤ **LES FRANÇAIS SONT LES CHAMPIONS EUROPÉENS DU MANQUE D'HYGIÈNE AUX TOILETTES.** Selon une étude menée auprès de 2 500 Européens, 76,5% des Français disent se laver systématiquement les mains en sortant des toilettes. En Allemagne, en Angleterre et en Finlande, ce chiffre est de 89%.

➤ **DE 17 À 25% DES FUTURES MÈRES BOIVENT RÉGULIÈREMENT UN VERRE DE TEMPS EN TEMPS.** Et 6% en excès, soit 2 verres ou plus dans la même journée, selon l'Inserm. Le message de prévention "Zéro alcool pendant la grossesse" a du mal à passer.

➤ **UN NOUVEAU VACCIN CONTRE LA FORME LA PLUS MORTELLE DE LA MÉNINGITE EST INTRODUIT AU MALI ET AU NIGER.** En le généralisant, l'OMS espère enrayer les épidémies en Afrique, car ce vaccin protège pendant au moins dix ans, contre trois pour les vaccins actuels.

### NEUROSCIENCES

## LE DÉCALAGE HORAIRE PERTURBE LE CERVEAU À LONG TERME

*Un mois après avoir subi un décalage horaire de six heures – l'équivalent d'un vol Paris-New York – deux fois par semaine, le cerveau éprouve encore des difficultés d'apprentissage. Telle est la conclusion d'une étude menée par l'équipe de Lance Kriegsfeld (université de Berkeley) chez des hamsters dorés, des animaux aux rythmes circadiens de 24 heures précises. Leur hippocampe, la partie responsable des apprentissages, produit 2 fois moins de neurones, même un mois après le retour à un rythme normal. V.B.*





**Science&Vie:** D'où est venue l'idée d'un lien entre l'augmentation récente du poids des animaux domestiques et l'épidémie d'obésité chez les humains ?

**Yann Klimentidis:** David Allison, le biostatisticien qui dirige notre équipe, a d'abord remarqué que les singes marmousets de laboratoire semblaient plus enrobés qu'il y a 20 ou 30 ans. Il s'est alors demandé si les autres animaux, de laboratoire ou de compagnie, étaient aussi touchés par l'épidémie d'obésité qui sévit depuis quelques décennies. Et c'est le cas ! Les

données disponibles depuis les années 1980 pour 20000 animaux de 8 espèces révèlent une augmentation du poids moyen dans la quasi-totalité des cas.

**S&V:** Et c'est une surprise ?

**Y.K.:** Pour les animaux domestiques, l'accès à une alimentation plus abondante peut expliquer le surpoids. En revanche, les résultats sur les animaux de laboratoire sont beaucoup plus surprenants, car ceux-ci reçoivent presque la même alimentation depuis des décennies et de façon très contrôlée. *Le poids des chimpanzés de laboratoire a*

## *Etudier les animaux en surpoids permettra de mieux comprendre l'obésité humaine*

Interview de Yann Klimentidis, chercheur en biostatistique à l'université de l'Alabama (Etats-Unis)

ainsi augmenté de 33 % par décennie et leur taux d'obésité a été multiplié par 15 !. Or, des études sur l'homme avaient déjà montré qu'en dehors de l'alimentation et du manque d'activité physique – qui contribuent de façon importante au poids des individus – il existe d'autres facteurs aggravants. L'étude des animaux pourrait donc éclairer de nouvelles pistes : l'exposition aux produits chimiques

contenus dans la nourriture et les boissons, le nombre d'heures d'exposition quotidienne à la lumière, la température constante dans les lieux

clos, la colonisation du système digestif par des bactéries...

**S&V:** Pour étayer ces théories, pourrait-on aussi étudier l'évolution du poids des animaux sauvages ?

**Y.K.:** Oui. Certains chercheurs ont récemment décelé une augmentation du poids moyen d'espèces sauvages – les marmottes, notamment – qu'ils attribuent aux changements climatiques. Nous espérons que nos conclusions encourageront la communauté scientifique à se pencher sur tous les facteurs pourvoyeurs d'obésité, que l'on connaît encore très mal. **M.Co.**

## NEUROLOGIE

### **UN ANTIOXYDANT DES FRAISES PROTÈGE NOS NEURONES**

*La fisetine, antioxydant surtout contenu dans la fraise, semble protéger contre la chorée de Huntington. Cette maladie neurodégénérative héréditaire qui apparaît en général entre 30 et 45 ans, se traduit par des troubles moteurs et cognitifs, et entraîne le décès dans les années qui suivent.*

*La fisetine restaure une voie moléculaire perturbée par la maladie.*

*Chez des souris porteuses du gène déficient, la fisetine a retardé*

*l'apparition des symptômes et augmenté de 30 % l'espérance de vie. M.L.*



## NOUVELLE RENAULT LATITUDE.

ON PEUT FAIRE DES MILLIERS DE KILOMÈTRES POUR CHANGER D'AIR,  
OU BIEN CHANGER D'AIR DÈS LES PREMIERS KILOMÈTRES.



[www.renault.fr](http://www.renault.fr)

NOUVELLE RENAULT LATITUDE AVEC SIÈGE CONDUCTEUR MASSANT, DOUBLE DIFFUSEUR DE PARFUM,  
IONISEUR D'AIR PURIFIANT, BOSE SOUND SYSTEM®, CLIMATISATION TRI-ZONE.

Consommations mixtes min/max (l/100km) : 5,3/7,2. Émissions de CO<sub>2</sub> min/max (g/km) : 140/188.

CHANGEONS DE VIE  
CHANGEONS L'AUTOMOBILE



ÉCLAIRAGE

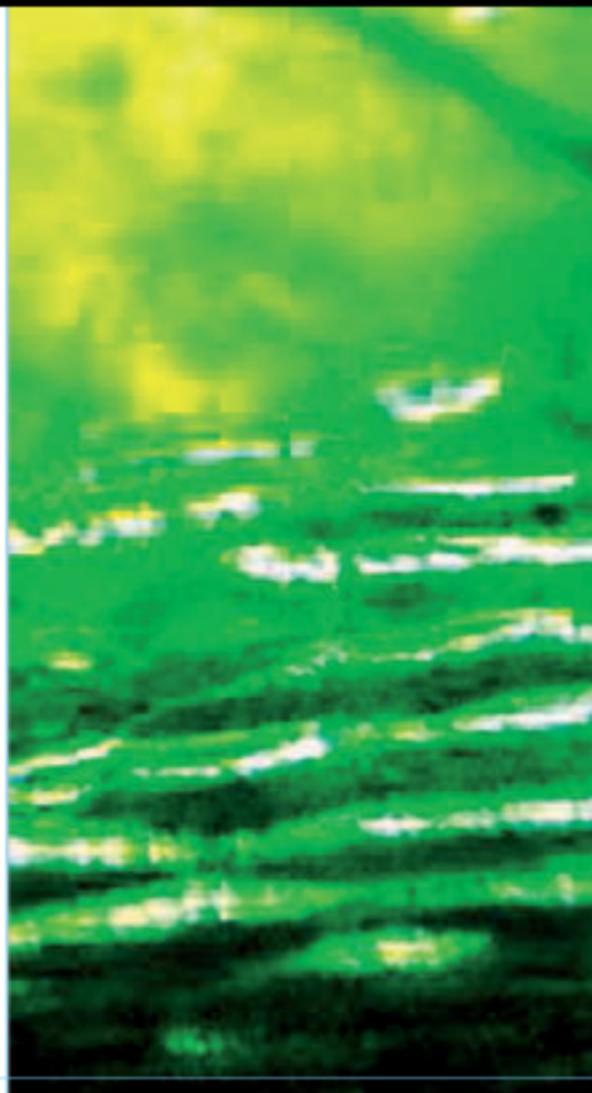
### Des arbres luminescents pourraient illuminer nos villes

Les lampadaires qui éclairent nos rues pourraient un jour être remplacés par des arbres luminescents... Une équipe de l'Académie Sinica et de l'université nationale Cheng Kung (Taïwan), menée par Yen-Hsun Su, est en effet parvenue à rendre luminescentes une plante aquatique, *Bacopa caroliniana*, en introduisant dans ses feuilles des nanoparticules d'or en forme d'oursin. Lorsque, la nuit, ces nanoparticules absorbent des rayonnements de longueur d'onde plus

petite que celle du visible, elles émettent une lumière violette, qui est alors captée par la chlorophylle contenue dans les feuilles. Ainsi excitée, la chlorophylle se met à produire une lumière rouge, rendant les feuilles bioluminescentes. Selon les chercheurs, d'autres nanoparticules, comme la poudre de phosphore, seraient également susceptibles d'exciter la chlorophylle avec ce même procédé. Mais la poudre de

phosphore est chère, toxique et polluante. L'un des défis relevé par l'équipe scientifique a donc consisté à trouver des méthodes pour utiliser l'or, plus neutre. Le chemin est encore long avant d'envisager un développement urbain mais les chercheurs espèrent qu'à terme les nanoparticules d'or permettront de remplacer la lumière électrique des villes et des routes par de la lumière biologique. **S.F.**

➤ En introduisant des nanoparticules d'or dans cette plante aquatique, des chercheurs l'ont rendue bioluminescente.

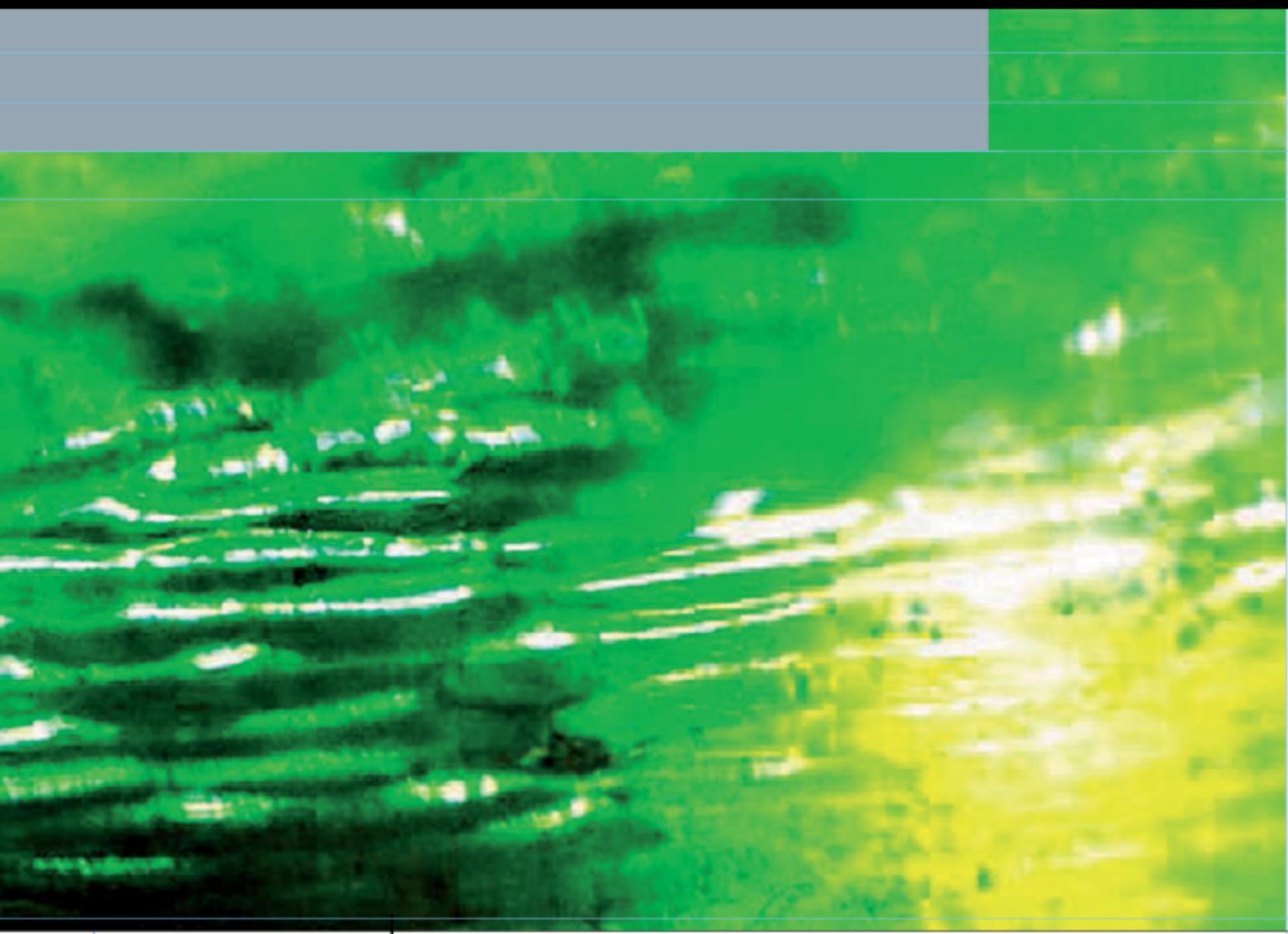


MATÉRIAU

### Une pâte à base de microbes répare le béton

En modifiant le patrimoine génétique d'une bactérie, une équipe d'étudiants en biochimie de l'université britannique de Newcastle, dirigés par la chercheuse Jennifer Hallinan, est parvenue à concevoir le BacillaFilla, une pâte réparatrice capable de ressouder les fissures apparues dans le béton. Infiltrée dans les plus fines anfractosités, la colle sèche en agglomérant les filaments des bactéries et le carbonate de calcium (le principal composant du calcaire, de la craie et des coquilles animales) sécrété par les microbes. Elle redonne ainsi, assurent ses concepteurs, une solidité comparable à celle d'un édifice neuf. Au risque de contaminer l'environnement qu'ils sont censés préserver ? Non : les étudiants ont pensé à tout. Les bactéries ne s'activent qu'en fonction du pH très précis associé au béton. Si ces conditions ne sont pas requises, un gène d'autodestruction engendre la mort immédiate des microbes. Ces derniers meurent, en outre, une fois leur tâche de maçon accomplie. Les jeunes inventeurs, vainqueurs d'un concours international, visent, à l'avenir, le marché de la rénovation d'immeubles ainsi que la réparation des dégâts commis par les séismes. **P.G.**

➤ Les bactéries contenues dans cette pâte sécrètent du calcaire au contact du béton, réparant ainsi les fissures.



## ÉNERGIE

HSJUN SU, S-L TU, S-W TSENG, Y-C OHANG, S-H CHANG, W-M ZHANG/ROYAL SOCIETY OF CHEMISTRY

**Une première centrale nucléaire va être prolongée de dix ans...** En septembre 2008, S&V racontait les coulisses du prolongement des centrales nucléaires françaises. L'enjeu pour EDF: exploiter ses réacteurs trentenaires jusqu'à 40 ans, car une fois amortis les coûts de construction, la production d'électricité devient une affaire juteuse. Encore fallait-il convaincre l'autorité de sûreté nucléaire. C'est chose faite pour la tranche n° 1 de la centrale de Tricastin (Drôme). Le même sort devrait attendre 33 autres réacteurs de même modèle, même si tout se déclera au cas par cas. EDF table sur une durée de vie de 60 ans, et rêverait même pour certains réacteurs d'atteindre l'âge canonique de 80 ans. Reste à vérifier si tout cela pourra se faire sans risque... V.N.

## OPTIQUE

### **CETTE CAMÉRA FILME À 360° ET EN 3D**

*Des chercheurs de l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne se sont inspirés de la structure de l'œil de la mouche pour concevoir cette caméra hémisphérique. Sa particularité: grâce à ses 104 minicaméras, elle filme tout ce qui l'entoure simultanément et le restitue en une image panoramique sans distorsion et en 3D.*

*Une prouesse technique comparée aux modèles existants qui, pour cela, utilisent des miroirs ou collent plusieurs images entre elles et qui, en outre, n'intègrent pas la 3D.*

L.B.





L'ABUS D'ALCOOL EST DANGEREUX POUR LA

# LE POUVOIR DE RENAÎTRE \*

LE PHÉNIX A MARQUÉ LES CIVILISATIONS À TRAVERS LES ÂGES. LES PERSES, LES GRECS, LES ROMAINS, VIRENT EN LUI LE SYMBOLE DE LA RENAISSANCE ET DE LA SÉRÉNITÉ. AU COURS DES SIÈCLES, SES POUVOIRS MYSTIQUES INSPIRERENT LES HOMMES ÉPRIS DE LIBERTÉ ET EN QUÊTE DE RÉINVENTION.

FONDÉE EN 1128, L'ABBAYE DE GRIMBERGEN FUT DÉTRUIITE EN 1142, PUIS À NOUVEAU EN 1566 ET EN 1798. À CHAQUE DESTRUCTION, ELLE FUT REBÂTIE, LES PÈRES DE GRIMBERGEN PRIERENT ALORS LE PHÉNIX POUR EMBLÈME, SIGNE DE LA RENAISSANCE PERPÉTUELLE DE LEUR ABBAYE, ET ADOPTÈRENT UNE DEVISE EN SON HONNEUR : ARDET NEC CONSUMITUR, BRÛLE MAIS NE SE CONSUME PAS.

LA RECETTE DE LEUR BIÈRE A SU ELLE AUSSI TRAVERSER LE TEMPS ET LES ÉPREUVES, CE QUI FAIT D'ELLE AUJOURD'HUI UN BREUVAGE VIF AU CARACTÈRE INIMITABLE. AUTHENTIQUE, UNIQUE ET COMPLEXE PAR SES ARÔMES MULTIPLES, LA BIÈRE DU PHÉNIX FAIT RESURGIR DES SAVEURS INATTENDUES QUE L'ON DÉCOUVRE À CHAQUE DÉGUSTATION.

1128  
+ GRIMBERGEN +  
ABDIJBIER - BIÈRE D'ABBAYE

SANTÉ. A CONSOMMER AVEC MODÉRATION

à la une

# AINSI CRÉE LA NATURE

*On a percé le secret de la  
diversité des formes du vivant*



Comment les espèces se sont-elles diversifiées ? Des biologistes viennent de percer le mystère : l'évolution serait régie par de simples règles géométriques dictées par quelques gènes. Une nouvelle vision qui dévoile l'ingéniosité de la nature, et qui rend hommage à un grand savant resté dans l'ombre de Darwin : D'Arcy Thompson.

Prenez une feuille d'érable, une autre de chêne, une troisième de marronnier. Tailles, contours, textures... leurs différences sautent aux yeux. Mais une autre évidence s'impose : toutes semblent taillées d'après un même patron, comme issues d'une même forme originelle qui aurait été, selon les cas, agrandie, contractée, tordue ou inclinée... Et cette impression vaut également pour toutes les espèces. Au-delà de leurs différences, en effet, rien ne ressemble plus à un chien qu'un autre chien, un papillon à un autre papillon, une mouche à une autre mouche... Comment expliquer ces différences et ces ressemblances qui, tout à la fois, rapprochent et séparent les espèces ? En un mot, quel est le secret de la nature →

GETTY - FOTOLIA

Par François Lassagne

# LE DÉFI: COMPRENDRE COMMENT DES FORMES AUSSI

La variété des formes des espèces vivantes a toujours fasciné les naturalistes. Par quels mécanismes a-t-elle été engendrée? Comment expliquer que ces silhouettes présentent à la fois tant de différences et de ressemblances?



## LE CAS DES FEUILLES

Observez les feuilles des plantes: la plupart semblent dessinées à partir du même patron, avec un limbe symétrique et arrondi autour d'une tige rectiligne. Pourtant, à partir de cette forme de base, les feuilles peuvent être fines et allongées, ou rondes et larges, avoir une forme de cœur, de lance ou de paume, présenter un bord lisse, crénelé ou ondulé. Comment une telle diversité a-t-elle pu apparaître?

→ pour créer, au fil de l'évolution, une telle diversité du vivant? Au terme d'une enquête à la croisée de la géométrie, de la morphologie, de la génétique, de la protéinologie et de l'embryologie, ce secret de la transformation des espèces n'en est désormais plus un. Et la solution de l'énigme laisse une nouvelle fois admiratif devant l'ingéniosité de la nature: pour se déployer sous toutes ses formes, celle-ci exploite un procédé à la fois si simple et efficace qu'il s'apparente à une formidable ruse.

### GÉOMÉTRIE EUCLIDIENNE

Tel est en tout cas ce qui ressort des travaux d'Arkhat Abzhanov et de ses collègues du Département de biologie évolutionnaire de l'université Harvard, à Cambridge, aux Etats-Unis. Ils prolongent l'étude de ce que, depuis une trentaine d'années, les biologistes

ce plan de construction. Et pas n'importe comment, mais en suivant des principes de... géométrie euclidienne du niveau d'un élève de seconde! En pratique, l'équipe d'Harvard a découvert que ces drôles de gènes – que l'on pourrait baptiser "gènes géomètres" – jouent le rôle de curseurs: la moindre variation dans leur degré d'expression aboutit à une transformation de la silhouette. Ici, l'organisme devient fin et allongé, là, il se fait large et arrondi. Ainsi s'expliquerait la création des espèces: l'évolution serait gouvernée non pas par



## LE CAS DES NAGEOIRES

Admirez la diversité des nageoires à travers les 30 000 espèces de poissons: dotées de taille, de couleur et de forme variables, elles peuvent être dorsales, caudales, anales, ventrales ou pectorales, être constituées d'épines osseuses ou de rayons flexibles, être utilisées pour nager, tourner, garder une position verticale, voire pour voler ou marcher. Comment une telle diversité de forme a-t-elle pu être déployée?

# Pour exprimer toutes ses formes, la nature exploite une géniale astuce

appellent les "gènes architectes", qui, chez la feuille, le papillon, la mouche ou encore l'homme, dictent le plan de construction de l'organisme en poussant les cellules à croître, à se différencier ou à disparaître (voir encadré p. 51). Or, l'équipe d'Abzhanov vient de mettre en exergue des gènes qui, eux, déforment

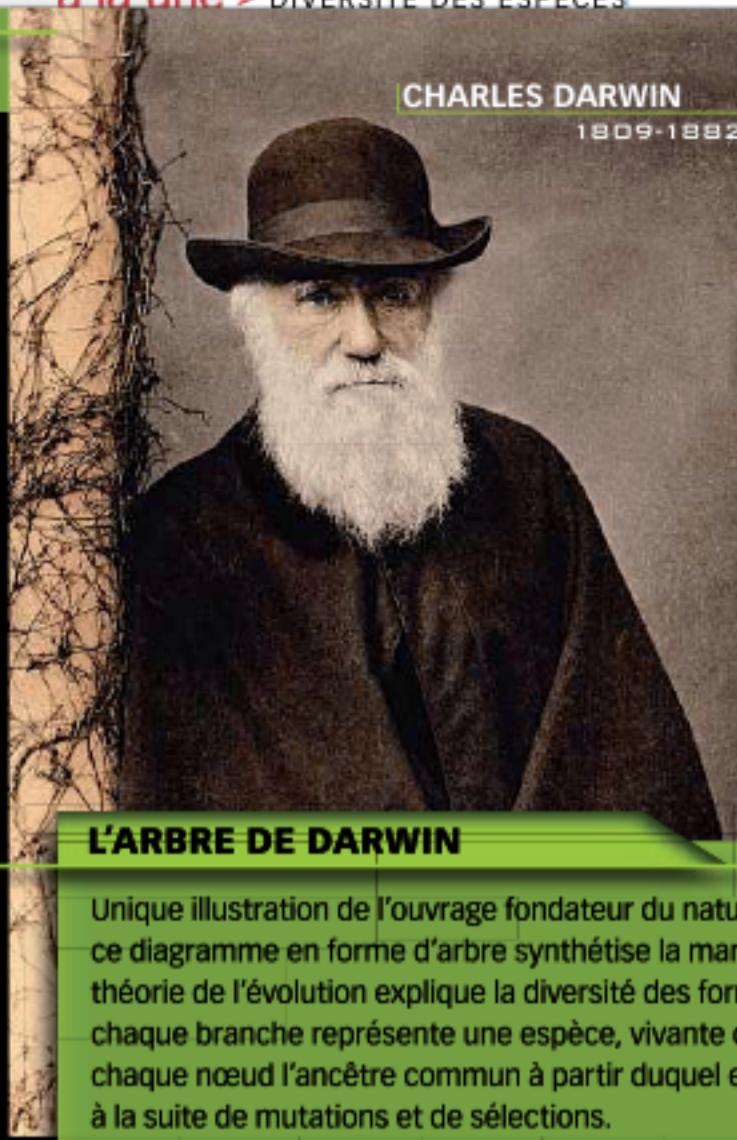
des recombinaisons génétiques étranges et sophistiquées, mais par de simples transformations géométriques dictées par quelques gènes. Et, comme un clin d'œil à l'histoire, ce ressort géométrique de l'évolution a été mis en évidence sur une espèce qui occupe une place tout à fait particulière dans l'imaginaire →

# VARIÉES ONT ÉTÉ CRÉÉES

## LE CAS DES BECS

Regardez ce pinson des Galápagos: son bec pointu est idéal pour attraper les insectes. Le bec du toucan, incroyablement disproportionné, lui permet de réguler sa température. Quant à celui de la cigogne, long et conique, il est efficace pour attraper grenouilles et vers de terre. Mais par quel moyen la nature a-t-elle pu générer une telle variété de formes?





CHARLES DARWIN

1809-1882

**L'ARBRE DE DARWIN**

Unique illustration de l'ouvrage fondateur du naturaliste anglais, ce diagramme en forme d'arbre synthétise la manière dont la théorie de l'évolution explique la diversité des formes du vivant: chaque branche représente une espèce, vivante ou disparue, et chaque noeud l'ancêtre commun à partir duquel elles ont évolué, à la suite de mutations et de sélections.

→ des biologistes: les pinsons des îles Galápagos... ceux-là même qu'on appelle les "pinsons de Darwin".

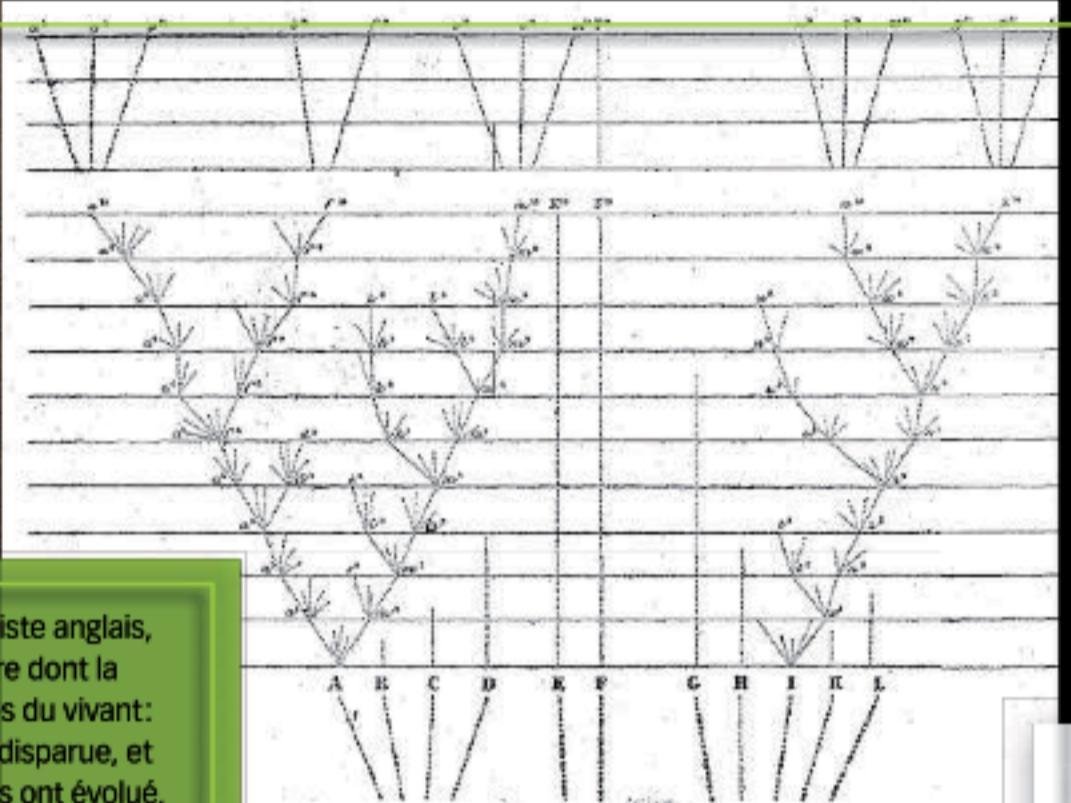
Lorsqu'en 1835, le jeune Charles Darwin visite cet archipel du Pacifique constitué d'une vingtaine de petites îles, il découvre un monde à part, peuplé d'espèces à la fois familières et originales. Parmi les iguanes, tortues et autres albatros, les pinsons attirent toutefois son attention: ces passereaux lui apparaissent fort différents suivant l'île sur laquelle ils ont élu domicile. Leurs becs, en particulier, sont de

en Angleterre, en 1837, il en présente des spécimens à des confrères, dont le célèbre ornithologue John Gould. Lequel lui confirme que, malgré leurs différences morphologiques frappantes, ces treize espèces appartiennent toutes au même genre. On connaît la suite: cet étonnement va contribuer à nourrir une réflexion qui, vingt ans plus tard, aboutira à la théorie de l'évolution et auquel fait écho le premier chapitre de *L'Origine des espèces*, œuvre maîtresse du naturaliste, publiée en 1859.

De fait, cet ouvrage fondateur

**EN PARALLÈLE, DEUX THÉORIES**

Chacun de leur côté, Charles Darwin et D'Arcy Thompson ont tenté d'expliquer la diversité des formes du vivant. Mais la théorie de l'évolution du premier, basée sur la notion d'arbre, est longtemps restée incompatible avec la théorie des transformations du second, basée sur des quadrillages.



commence par une description méticuleuse des formes de becs et de plumes. Certes, il ne s'agit pas de pinsons – Darwin relate là son observation de différentes "races" de pigeons d'élevage –, mais la préoccupation est la même: chercher ce qui relie entre elles des espèces proches. "Le

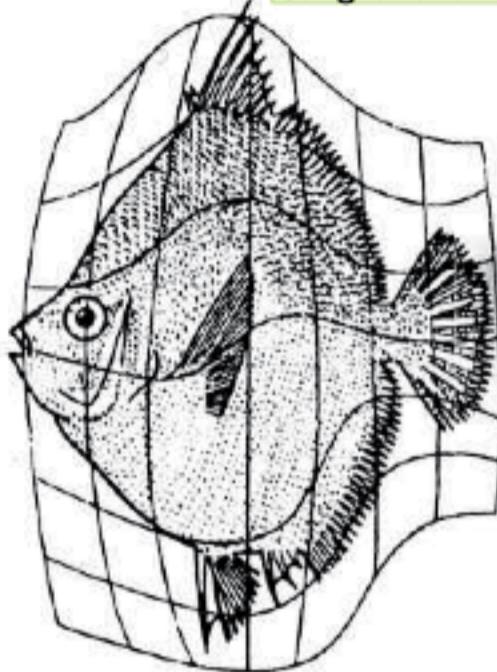
développement des os de la face diffère énormément, tant par la longueur que par la largeur et la courbure, dans le squelette des différentes races", écrit Darwin. La forme ainsi que les dimensions de la mâchoire inférieure varient d'une manière très remarquable". Avant de souligner, quelques pages plus loin: "Quelque considérable que soit la différence qu'on observe entre les diverses races de pigeons, je me range pleinement à l'opinion commune des naturalistes qui les font descendre du pigeon biset". L'idée maîtresse est là, et Darwin va l'étendre à tout le vivant, animal ou végétal: chaque espèce est le fruit de changements survenus chez celle qui l'a précédée, les individus de la nouvelle espèce se distinguant par certains traits apparus au hasard, à la suite de variations de caractères accumulées et conservées. Une vision qui a été jusqu'ici abondamment confirmée et complétée par les données accumulées en génétique, en biologie et en paléontologie.

formes et de tailles extraordinairement variées: larges et puissants pour les pinsons qui broient des graines au sol ou des fruits dans les arbres; effilés pour ceux qui chassent les insectes dans les feuillages... Cette variété de formes de becs parmi les treize espèces recensées étonne beaucoup Darwin. A son retour

# ONT TENTÉ DE PERCER LE MYSTÈRE

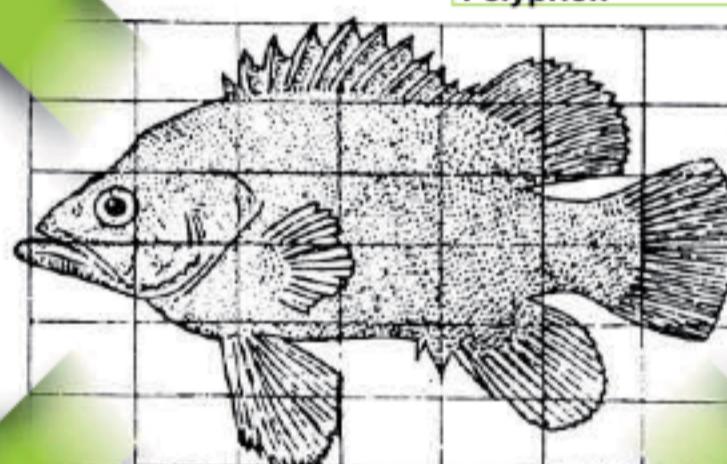
## LE QUADRILLAGE DE THOMPSON

Sanglier chevrette



Dans son ouvrage où il présente sa théorie des transformations, le naturaliste écossais multiplie de tels croquis d'espèces, dessinés sur un quadrillage. En déformant ce dernier suivant des opérations géométriques simples, il montre que l'on retombe souvent sur la silhouette d'une autre espèce. Des métamorphoses réalisées aussi bien pour les poissons que pour les crustacés, les crocodiles ou les singes.

Polypriion



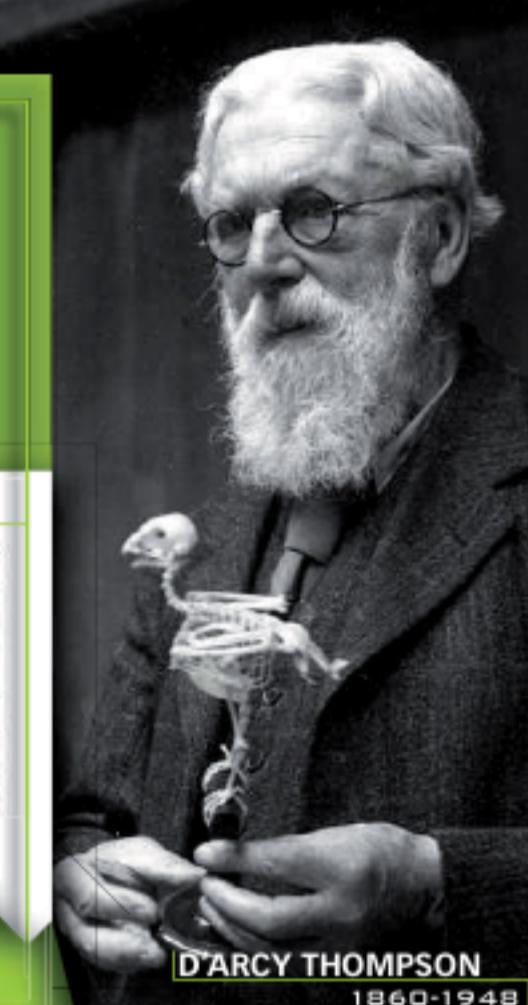
Scorpaena sp (rascasse)

Mutation et sélection : pour les successeurs de Darwin, les becs des pinsons des Galápagos deviendront l'incarnation parfaite de l'action conjuguée de ces deux forces fondamentales de l'évolution. Ainsi, pour les pinsons de Darwin, tout est parti d'une unique espèce arrivée sur l'archipel il y a 2,3 millions d'années. Au fil des générations, les individus que le hasard a gratifié d'un bec plus long et fin que la normale se sont trouvés avantagés pour se nourrir sur les îles à insectes, tandis que, sur les îles à graines, ce sont les becs larges et courts qui ont eu l'avantage. Au gré de ce processus implacable, les formes de becs se sont

ainsi adaptées au type de nourriture disponible sur leur île d'adoption, pour finalement donner naissance aux treize espèces observées par Darwin. Restait cependant une énigme : par quel mécanisme biologique la morphologie de ces oiseaux a-t-elle pu se transformer ? Quel type de mutation a permis à une lignée de pinsons de voir leur bec s'allonger ou, au contraire, s'épaissir ?

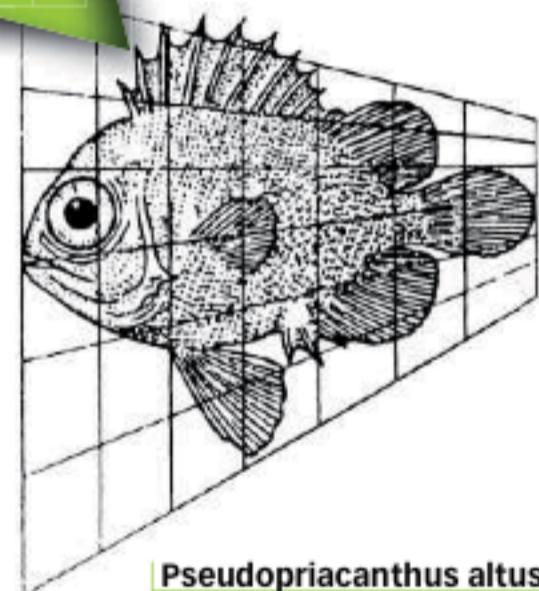
### LE PREMIER BIOMATHÉMATICIEN

Pour répondre à cette question jusqu'ici sans réponse, Arkhat Abzhanov a eu l'idée de s'inspirer d'un autre monument de la littérature biologique, un des plus beaux livres de science jamais écrits, resté paradoxalement confidentiel : *Forme et croissance*, parue en 1917 et signée D'Arcy Thompson. D'Arcy Thompson ? Ce biologiste et mathématicien écossais né en 1860, juste un an après la parution de *L'Origine des espèces*, s'attacha à comparer la géométrie des espèces afin, espérait-il, d'élucider les causes physiques fondamentales



D'ARCY THOMPSON

1860-1948



Pseudopriacanthus altus

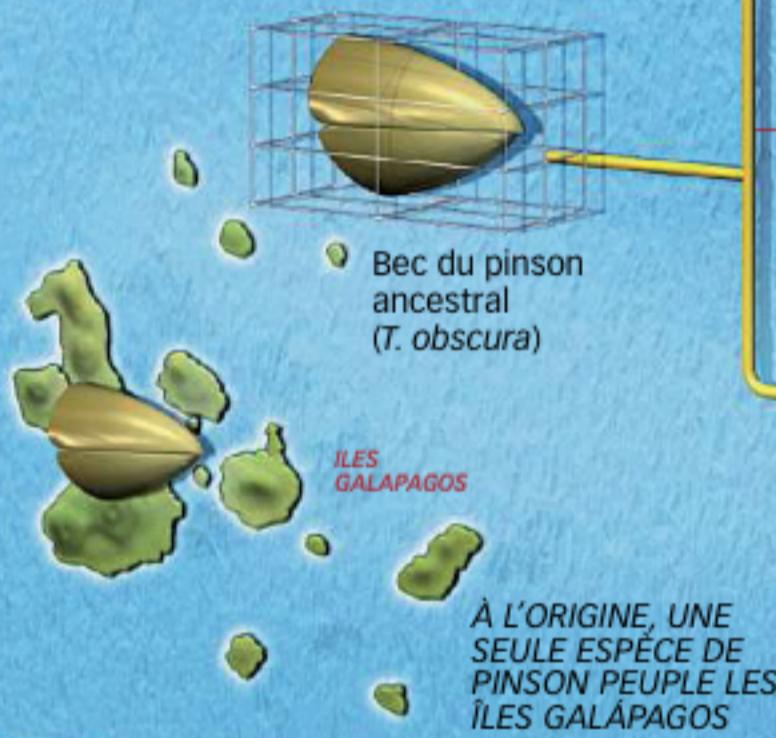
présidant aux formes naturelles. Convaincu que "les différences essentielles entre une espèce et une autre se ramènent à des différences de proportion, ou d'amplitudes relatives, ou, comme Aristote l'écrivait, d'insuffisance ou d'excès", celui qui fut le premier biomathématicien proposa une "théorie des transformations", qui s'applique à relier les formes des individus de différentes espèces grâce à des transformations géométriques basiques (rotation, homothétie, etc.). Et cela fonctionne ! En →

# QUAND LES BECS DES PINSONS RÉCONCILIENT ENFIN

Pour la première fois, grâce à l'étude des becs de pinsons des Galápagos réalisée par le biologiste Arkhat Abzhanov, l'arbre de Darwin et les quadrillages de D'Arcy Thompson se conjuguent pour expliquer la diversité de la forme des espèces.

## 1 Il y a 2,3 millions d'années, une espèce de pinson arrive aux Galápagos

Lorsque l'espèce (*Tiaris obscura*) colonise l'archipel du Pacifique, tous les becs des oiseaux sont identiques, et pas forcément adaptés aux divers environnements.



→ plaquant des quadrillages réguliers sur divers dessins d'espèces, le livre du biologiste écossais présente quantité d'exemples frappants, montrant comment relier géométriquement le crâne d'un lapin à celui d'un cheval, la forme du poisson diodon à celle du poisson-lune, ou la forme de la carapace de divers crabes (voir figures p. 45).

## UNE VOIE COMPLÉMENTAIRE

Au point que quelques croquis comparés de crânes de chimpanzés et d'hommes permettraient d'établir avec certitude le degré de parenté entre ces deux cousins? Non. La "théorie des

## 2 Un premier type de transformation sépare les pinsons en trois lignées

Les formes des becs évoluent grâce à une transformation géométrique basique : la "transvection", qui penche plus ou moins les becs vers l'avant ou l'arrière. Trois lignées de pinsons apparaissent (becs jaunes, oranges et rouges).

Quadrillage des transformations de D'Arcy Thompson

Arbre de l'évolution de Charles Darwin

Type Geospiza (pinsons de terre)

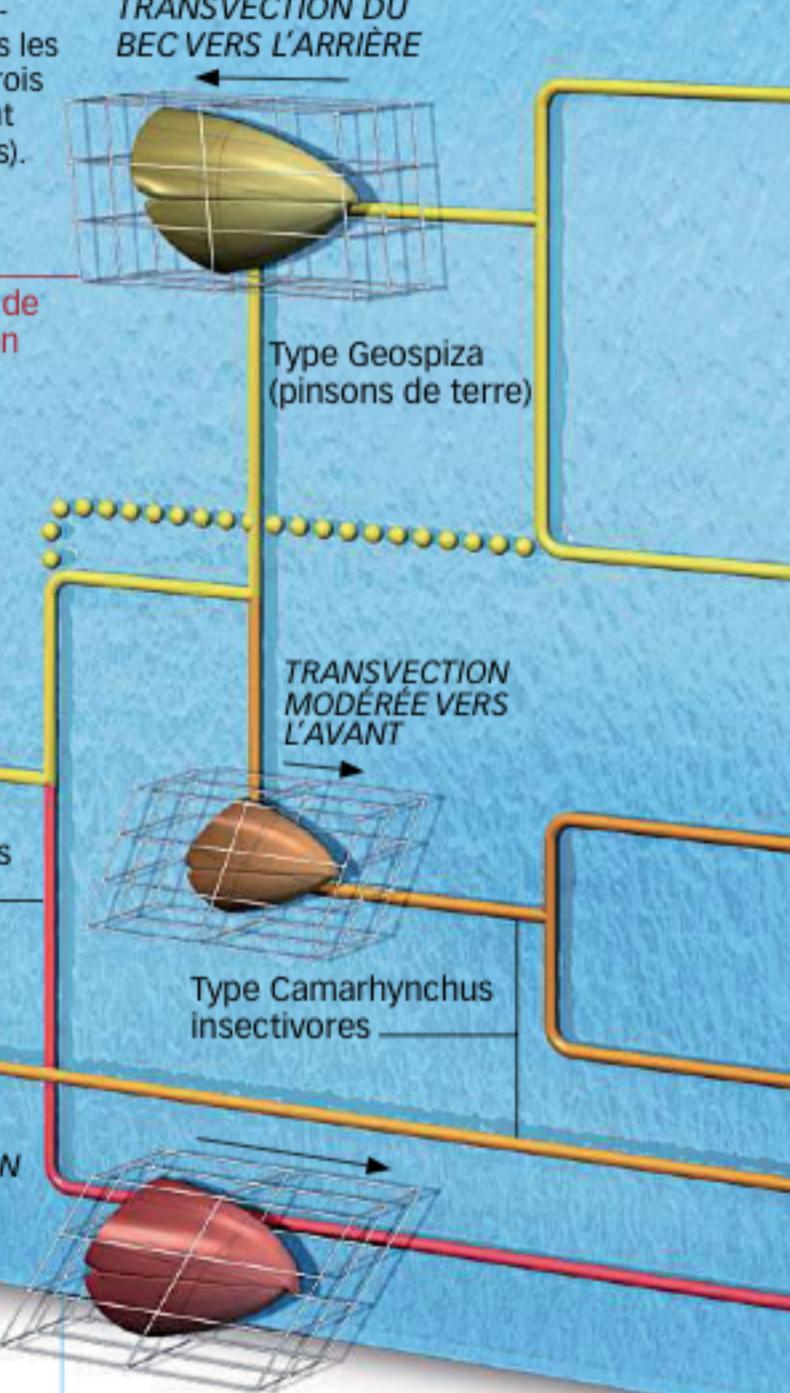
TRANSVECTION DU BEC VERS L'ARRIÈRE

TRANSVECTION MODÉRÉE VERS L'AVANT

FORTE TRANSVECTION VERS L'AVANT

Type Camarhynchus végétarien

Type Camarhynchus insectivores

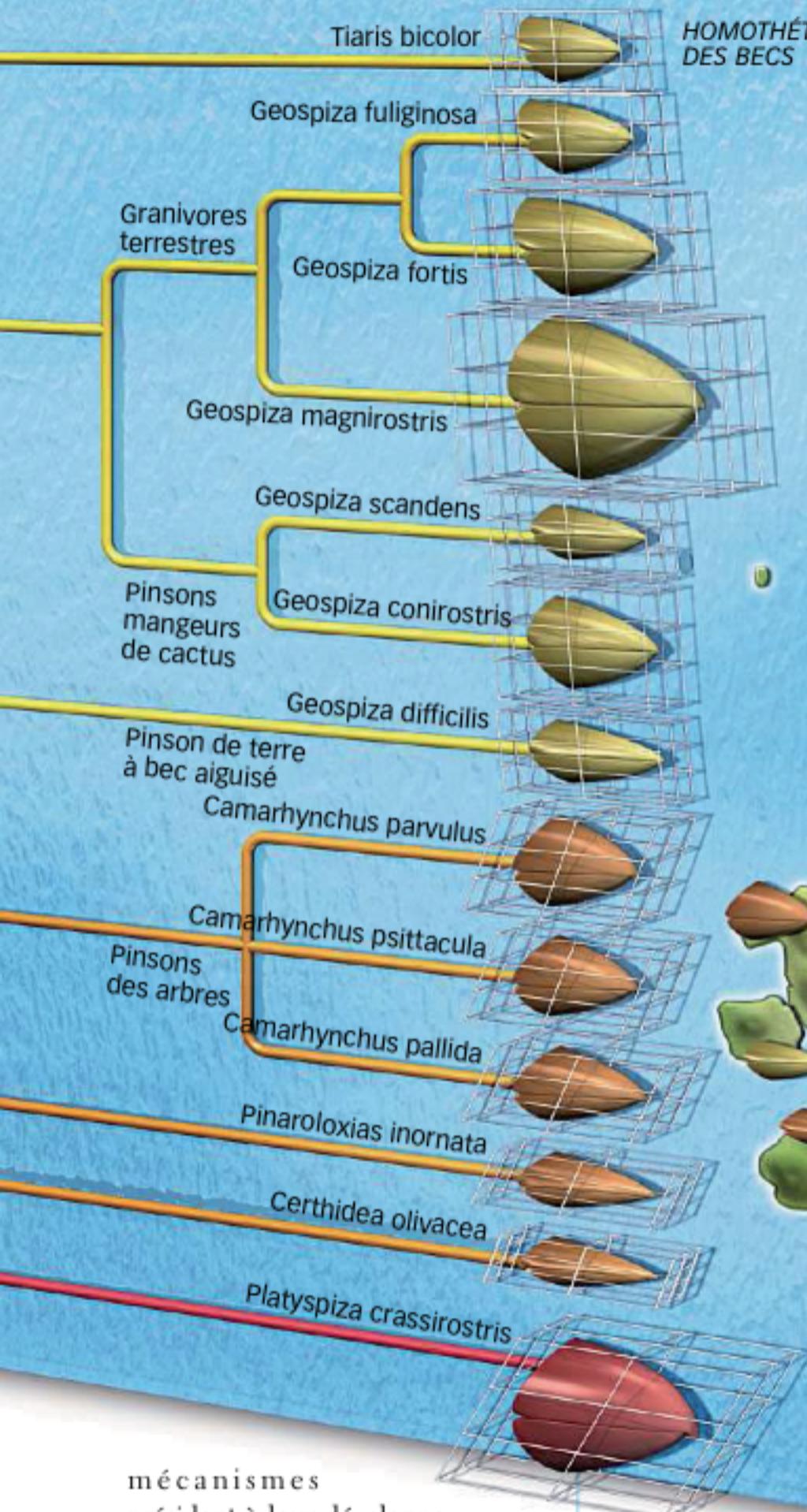


transformations" était insuffisamment précise et son auteur lui-même le reconnaissait, y compris lorsque, quadrillages en main, il spéculait sur les embranchements évolutifs entre certaines espèces. Mais le biologiste écossais n'en ouvrait pas moins une voie nouvelle, complémentaire de celle tracée par Darwin : plutôt que de chercher à expliquer la forme des êtres vivants par des contraintes externes, liées aux pressions de l'environnement exercées durant le temps long de l'évolution, il invitait à étudier les contraintes

internes, liées aux forces physiques exercées durant le temps court du développement embryonnaire.

Force est de constater que cette voie, à la frontière de la géométrie et de la biologie, fut, en réalité, peu empruntée durant le XX<sup>e</sup> siècle. Accaparés par les incessantes découvertes de la biologie moléculaire, la plupart des spécialistes de la théorie de l'évolution se sont désintéressés de la forme globale des organismes pour se pencher sur les

# DARWIN ET D'ARCY THOMPSON



## mécanismes

présidant à leur développement. C'est pourtant en rechaussant les lunettes du naturaliste écossais que l'équipe d'Arkhat Abzhanov est parvenue à éclairer d'un nouveau jour l'origine de la diversité des espèces.

Les chercheurs ont commencé par scanner le profil des becs de deux ou trois individus de chacune des treize

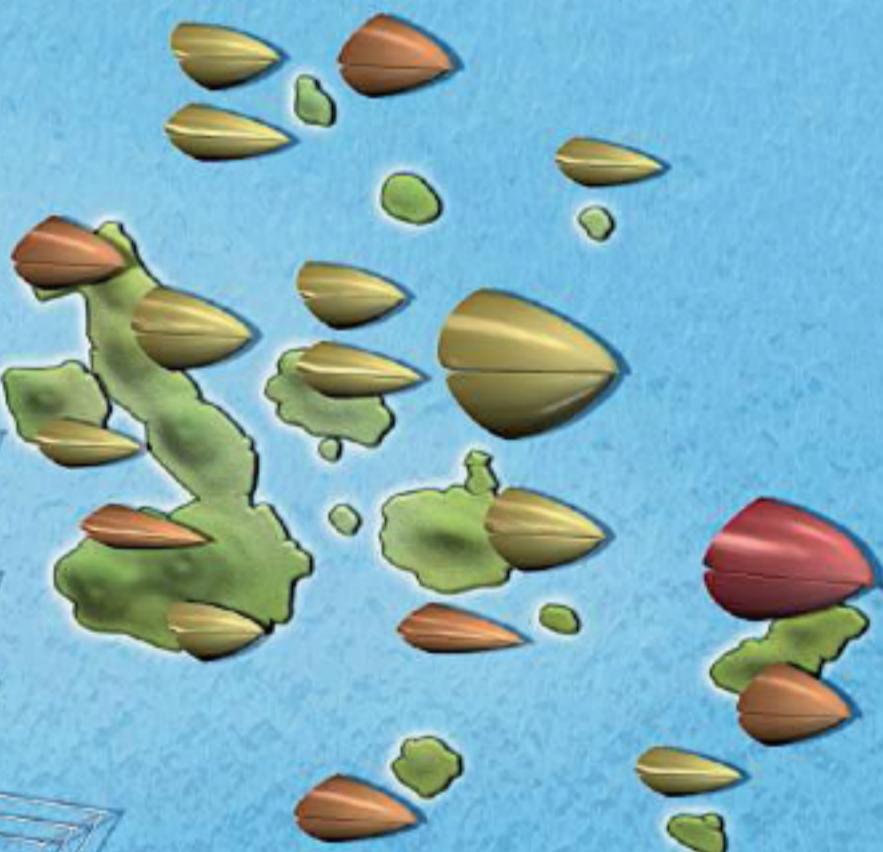
espèces de pinsons des Galápagos. De quoi établir le dessin exact du profil type de chaque espèce... et découvrir que deux transformations géométriques très simples suffisent pour obtenir le profil du bec de n'importe quelle espèce à partir de celui de n'importe quelle autre : une

## 3 Un second type de transformation engendre treize espèces de pinsons

Les transformations des becs s'effectuent aussi à travers une seconde opération géométrique, une "homothétie", qui influe seulement sur la taille du quadrillage. Les trois lignées se ramifient alors en treize espèces. Pour chacune, la forme du bec ainsi sélectionnée se trouve adaptée à son environnement.

## 4 Une grande variété de formes de pinsons peuple maintenant l'archipel

Comme Darwin l'expliquait, cette diversité a été générée par un processus de mutation et de sélection, représenté par un arbre d'évolution. Et comme D'Arcy Thompson le suggérait, ces mutations sont issues de transformations géométriques, représentées par des quadrillages déformables.



AUJOURD'HUI,  
13 ESPÈCES DE PINSONS  
SONT RÉPARTIES SUR  
L'ENSEMBLE DES ÎLES

homothétie et une transvection. Deux opérations simplissimes : imaginez le profil d'un bec dessiné sur un quadrillage que vous agrandissez ou rétrécissez – c'est l'opération d'homothétie – ou →

# UNE NOUVELLE VISION QUI RÉVÈLE LE RÔLE CLÉ DES

Arkhat Abzhanov ne s'est pas contenté de comparer la forme des becs des pinsons des Galápagos (ci-contre, les six espèces du genre *Geospiza* vues par scanner tomographique). Il a ensuite mis en regard ces formes avec la quantité de protéines Bmp4 produite lors de l'embryogenèse. De quoi montrer le rôle purement géométrique du gène exprimant cette protéine : son degré d'expression, variable au fil des générations, influe directement sur la taille finale du bec.



**ARKHAT ABZHANOV**

PROFESSEUR DE BIOLOGIE ÉVOLUTIONNAIRE, HARVARD

*L'analyse géométrique de la forme des becs nous indique le processus de développement embryonnaire sous-jacent*

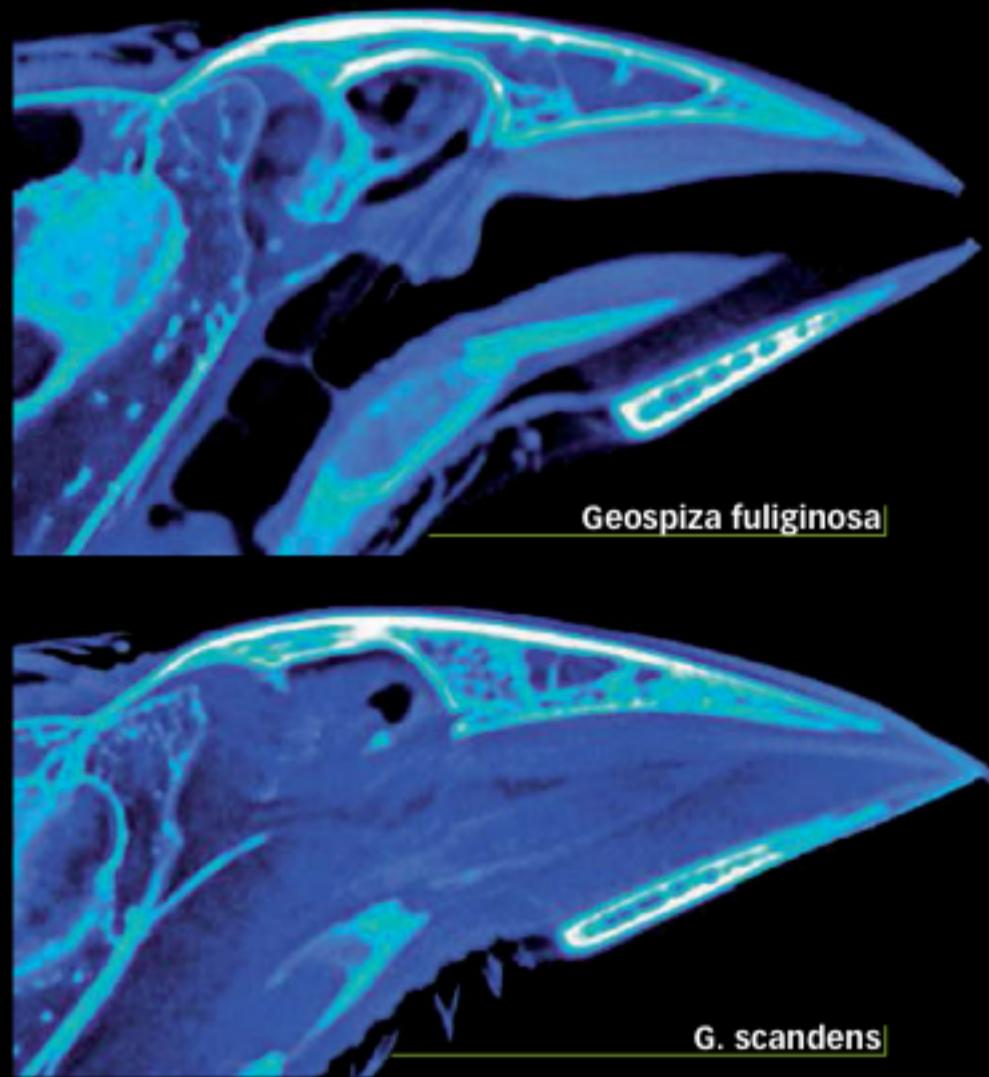
→ dont vous penchez les lignes horizontales ou verticales selon un angle donné – c'est l'opération de transvection. Que ces deux opérations géométriques suffisent à métamorphoser un pinson casseur de noix, au bec massif, en pinson chasseur d'insectes au bec fin est déjà une belle surprise, dans la droite filiation de D'Arcy Thompson (voir infographie p. 46).

Mais ce n'est qu'un début. Non contentes de relier les treize espèces de

tirée d'une analyse purement géométrique correspond exactement à celle issue de l'arbre évolutif : le premier groupe rassemble les espèces du genre *Geospiza*, le deuxième des genres *Camarhynchus*, *Pinaroloxias* et *Certhidea*, et le troisième du genre *Platyspiza*. En d'autres termes : les groupes formés par les transformations géométriques recoupent parfaitement la classification des genres et espèces de pinsons établie par la classification

voilà qui n'est pas tout à fait inattendu, résume Benoît Robert, chercheur au laboratoire de Génétique moléculaire et morphogenèse de l'Institut Pasteur. Mais encore fallait-il le montrer. Et cette reconstruction phylogénétique obtenue est incroyablement fiable."

Là n'est pourtant pas l'intérêt principal de cette étude. Comme le souligne Arkhat Abzhanov, "nous n'avions pas pour but de réviser l'arbre phylogénétique des pinsons ! Cet arbre a été établi par de précédentes études, à partir de nombreux marqueurs moléculaires". Pour lui et ses collègues, le défi était ailleurs : une fois la pertinence des transformations géométriques démontrée, ils voulaient leur trouver une origine biologique. Leur raisonnement était fondé sur une audacieuse hypothèse, directement inspirée des travaux de Darwin et Thompson : si, au cours des millions d'années passées, la forme



## Preuve est faite que l'homothétie est régie par un mécanisme génétique

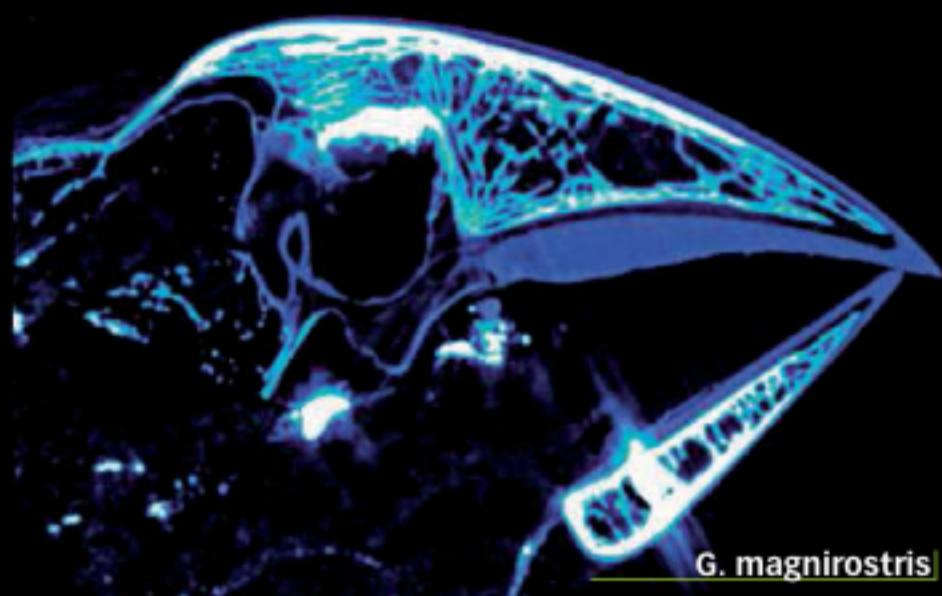
pinsons entre elles, ces deux opérations les répartissent en trois groupes : au sein de chacun d'eux, chaque bec présente la même forme, à une homothétie près ; et pour passer d'un groupe à l'autre, il suffit d'opérer une simple transvection. Or, cette classification

traditionnelle (voir infographie). Pour la première fois, les quadrillages tordus de D'Arcy Thompson se sont superposés avec les arbres de Charles Darwin. "Que ce classement par les transformations donne effectivement un mode de regroupement des espèces,

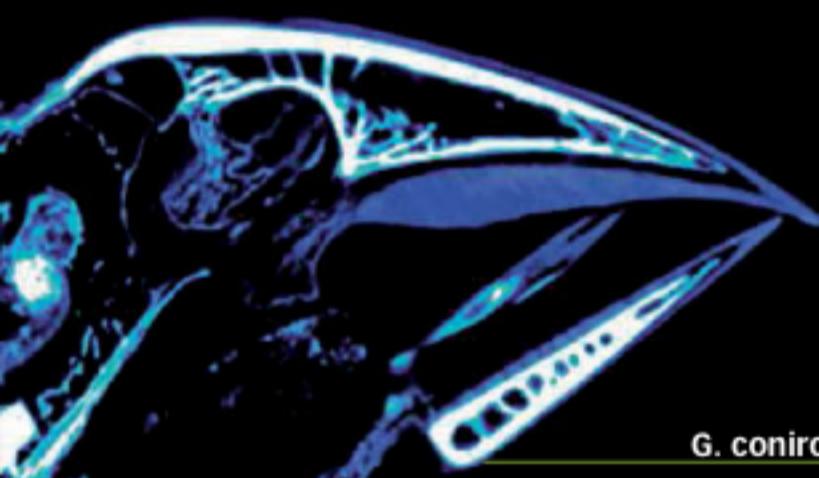
## "GÈNES GÉOMÈTRES"...



*G. fortis*



*G. magnirostris*



*G. conirostris*



*G. difficilis*

de ces becs n'a évolué qu'à travers deux transformations géométriques, l'homothétie et la transvection, alors il doit exister, dans le mode de production des protéines qui forment ces appendices nasaux, deux mécanismes génétiques dont l'action est purement géométrique, l'un capable d'agrandir les becs et l'autre de les incliner.

### BMP4, UNE PROTÉINE CLÉ

Or, les biologistes de Harvard avaient justement travaillé quelques années auparavant sur la génétique du développement du poulet – un animal très proche du pinson – et plus particulièrement sur une protéine, appelée Bmp4: connue pour être impliquée dans la croissance osseuse lors du développement embryonnaire, elle semblait gouverner la taille des becs. Se pourrait-il alors que le mécanisme génétique produisant cette protéine →

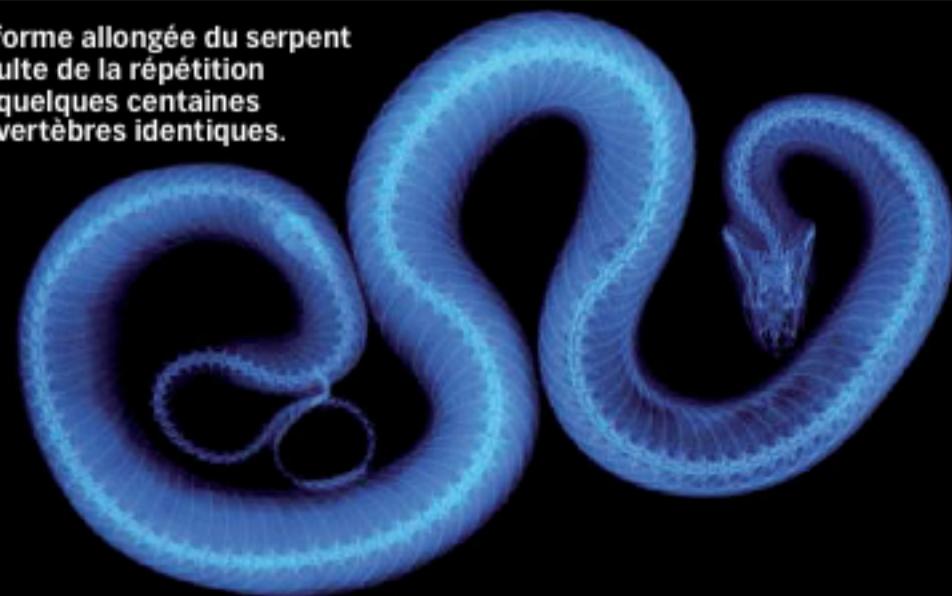
## L'AUTRE GRANDE ASTUCE DE LA NATURE POUR CRÉER DES FORMES

A l'origine de nos vertébrés, des pattes spécialisées des insectes ou des anneaux des vers, on trouve un principe morphologique simple et efficace: plutôt que de créer un nouvel organe à partir de rien, il suffit de multiplier un

élément donné, modifiable ensuite à volonté. Un principe exploité chez les trois groupes les plus prospères et diversifiés: arthropodes (insecte, crustacé, etc.), vertébrés (mammifère, serpent, etc.) et annélides (vers). Cet avan-

tage évolutif majeur, appelé segmentation, a été acquis par leur ancêtre commun il y a 600 millions d'années via la modulation de l'expression des gènes architectes, qui gouvernent le développement embryonnaire.

**La forme allongée du serpent résulte de la répétition de quelques centaines de vertèbres identiques.**



## ... ET QUI EXPLIQUE LES TRANSFORMATIONS LES PLUS

Même si les deux espèces dérivent du même ancêtre, le crocodile et le vautour ont des formes très différentes. Par exemple, autant le cou du premier est rigide et massif, autant celui du second est léger et souple. Pourtant, comme l'a découvert l'équipe d'Abzhanov, une simple variation dans l'expression de deux gènes suffit pour passer d'une forme à l'autre. Un mécanisme d'évolution incroyablement efficace!



→ soit justement le curseur de la transformation par homothétie?

Pour le savoir, les chercheurs ont entrepris de mesurer la quantité de cette protéine produite lors de l'embryogenèse. Une tâche délicate – il s'agit de détecter la protéine dans les tissus de dizaines d'embryons à un moment bien précis de leur développement. Mais qui a porté ses fruits : les chercheurs ont démontré que, plus la protéine Bmp4 est présente dans le bec embryonnaire, plus le bec adulte s'inscrit dans un quadrillage "étiré" par rapport aux autres espèces. Les gènes gouvernant la production de cette protéine agissent donc bien comme un

curseur de l'homothétie. Que ce bouton soit légèrement tourné dans un sens ou dans l'autre, et le bec qui en résulte devient plus ou moins grand, avec une forme globale identique.

Théoriquement, en jouant sur la quantité de Bmp4 à un stade précis

de l'embryogenèse, il est donc possible de transformer l'appendice nasal d'un "géospize à gros bec" en celui d'un "géospize fuligineux", ou un "géospize pique-bois" en "géospize olive"! Si les biologistes ne s'y sont pas essayés, une telle expérience a déjà été réussie *in vivo*, en 2004, avec des poulets : "Jusqu'ici, les manipulations de l'expression de la protéine Bmp4 ont permis d'effectuer de très beaux changements des paramètres d'échelle des becs d'embryons de poulet... Mais cela reste, fondamentalement, une forme de bec de poulet!"

### GRANDE ÉCONOMIE DE MOYENS

En parallèle, l'équipe d'Harvard s'attache maintenant à étendre son analyse aux becs d'autres espèces d'oiseaux plus ou moins éloignées des pinsons. Et plusieurs autres laboratoires poursuivent cet effort de mesure rigoureuse des dimensions des êtres vivants, espérant y trouver des liens entre transformation géométrique et expression génétique. C'est en particulier le cas du laboratoire d'Enrico Coen au centre de recherche John-Innes en Angleterre, qui étudie les mécanismes responsables de la forme des feuilles de gueule-de-loup, une plante sauvage à la morphologie très variée qui se rencontre en Europe

## Que le degré d'expression des gènes varie, et c'est la forme qui se modifie

curseur de l'homothétie. Que ce bouton soit légèrement tourné dans un sens ou dans l'autre, et le bec qui en résulte devient plus ou moins grand, avec une forme globale identique.

Théoriquement, en jouant sur la quantité de Bmp4 à un stade précis

sable de l'homothétie a été découvert. Celui de la "transvection", lui, reste encore un mystère. Plus pour longtemps? Arkhat Abzhanov veut le croire: "Nous sommes désormais à la recherche de phases de développement embryonnaire capables de produire les

## EXTRÊMES



## DES GÈNES IDENTIQUES POUR DES ÊTRES DIFFÉRENTS

Découverts dans les années 1980, quelques centaines de gènes, baptisés "gènes architectes", dictent le développement d'organes aussi différents que le thorax, la tête, les jambes ou les ailes au sein d'organismes aussi différents que la mouche, le poulet, la souris ou l'homme... Comment un même "kit de construction" peut-il produire cette immense variété de formes ? La réponse n'a été apportée que ces dernières années. Ces gènes architectes, qui ne sont actifs qu'à des moments précis du développement, poussent les cellules à croître, se développer de manière variée selon leur localisation. Aucun ne fabrique directement les organes, mais chacun active de très nombreux autres gènes, qui, eux, entraînent la production, par les cellules de l'embryon, des protéines et autres molécules nécessaires à leur construction. Jusqu'à obtenir des mouches ressemblant à des mouches, des poulets à des poulets, des hommes à des hommes.

occidentale et aux Etats-Unis. En analysant avec précision la géométrie des feuilles d'une vingtaine d'espèces différentes et en croisant ces données avec la carte d'expression de leurs gènes, ces chercheurs ont mis au jour trois mécanismes qui impliquent une quinzaine de gènes, dont les actions, purement géométriques, permettent d'engendrer toutes les morphologies observées (le premier, d'ordre homothétique, change la taille, tandis que les deux autres déforment le dessin). Comme pour le pinson, ces trois mécanismes jouent donc le rôle de boutons de réglage de la forme de la feuille : une simple modification dans le degré d'expression de ces gènes suffit pour passer d'une espèce de gueule-de-loup à une autre.

Même s'ils restent partiels, ces travaux permettent d'ores et déjà de saisir un ressort de la transformation des espèces jusqu'ici méconnu. Tout se passe comme si le génome des êtres vivants, animal ou végétal, était pourvu d'un certain nombre de curseurs géométriques, permettant au processus d'évolution d'explorer de nouvelles formes avec une grande

économie de moyen. Un bricolage diablement habile !

Plutôt que d'attendre des mutations génétiques aléatoires et miraculeuses, il est en effet beaucoup plus simple d'engendrer de la diversité morphologique en jouant simplement avec ces curseurs : il suffit d'une petite variation dans leur position pour que les organes s'étirent et se déforment. Et pour que, au fil de centaines de milliers de générations soumises à ces mutations géométriques patiemment sélectionnées, la forme des organes change et s'adapte aux variations de l'environnement.

Inspirée par la théorie de l'évolution de Charles Darwin autant que par la théorie des transformations de D'Arcy Thompson, cette traque des "gènes géomètres" ne fait que commencer. Avec l'espoir que cette conjugaison de la biologie et de la géométrie permettra de mieux déchiffrer les astuces exploitées par l'évolution pour dessiner tant de variétés d'espèces. De dévoiler le bricolage génial patiemment mis au point par la nature pour générer cette formidable diversité au sein du règne du vivant.

Quelques centaines de gènes architectes sont à l'origine de la fabrication des organes des diverses espèces.





ENTRETIEN AVEC THOMAS HEAMS

MAÎTRE DE CONFÉRENCE EN GÉNOMIQUE FONCTIONNELLE ANIMALE,  
AGROPARISTECH, CO-DIRECTEUR DES MONDES DARWINIENS, ÉDITIONS SYLLEPSIS

## L'ÉVOLUTION DOIT REDEVENIR UNE THÉORIE DES FORMES

Propos recueillis par  
Philippe Chambon

**S&V:** Quelle importance revêt pour la biologie la découverte que la différence de forme entre deux espèces tient au niveau d'expression d'une protéine ?

**T.H.:** Ces travaux accompagnent un moment passionnant dans notre compréhension de la formation des êtres vivants. La nouveauté vient de ce qu'ils établissent un lien, non plus seulement entre la présence

d'un gène et une forme, ce qui est finalement limité, mais entre le niveau d'expression d'un gène et une forme. C'est beaucoup plus subtil, et met en lumière l'importance des interactions des gènes entre eux qui démultiplient les possibles. Ainsi, les interactions des gènes entre eux devient un phénotype au même titre que le groupe sanguin, la couleur des yeux, bref, l'ensemble de caractères observables. La notion de phénotype s'élargit donc, alors qu'elle était ordinairement opposée à celle de génotype (l'ensemble des gènes).

**S&V:** Comment faut-il comprendre le regain d'intérêt pour les travaux de D'Arcy Thompson sur les différences entre les espèces expliquées par des déformations géométriques ?

**T.H.:** D'Arcy Thompson expliquait que les formes se reproduiraient parce que des motifs se "figent" à des niveaux élémentaires toujours de la même manière, en une analogie avec la cristallisation. Ce faisant, il ignorait presque complètement les gènes comme outils d'archivage et de



**S&V: C'est assez contradictoire avec les acquis de la génétique et la théorie de l'évolution, non ?**

**T.H.:** Non, il n'y a ni contradiction, ni compétition physique/génétique. Etre darwinien ici, ce n'est pas nier que les organismes subissent des contraintes physiques ! C'est tout simplement rappeler que l'hérédité est la mémoire avec laquelle les organismes s'adaptent et perdurent avec et grâce à ces contraintes. Depuis quelques années, on commence à prendre la mesure des effets induits par les contraintes physiques. Vous en avez un bel exemple avec les travaux d'Emmanuel Farge (voir *Science & Vie* n° 1115, p. 104) qui observent les effets de la pression mécanique sur l'expression même des gènes dans l'embryon de mouche drosophile.

**S&V: La théorie de l'évolution explique l'état du vivant par un double mouvement: la transmission de variations survenues au hasard et la sélection naturelle. Elle s'est élargie et a intégré sans mal la notion de gènes. Doit-elle désormais intégrer un ensemble de phénomènes, mécaniques, géométriques, physiques ?**

**T.H.:** Convenons qu'il y a eu longtemps une ivresse du "tout génétique". Avec la théorie du "gène égoïste", Richard Dawkins est allé jusqu'à expliquer que les organismes n'étaient que d'éphémères véhicules de nos gènes qui leur survivent à travers les générations. Cette théorie fut salutaire pour expliquer des comportements apparemment altruistes sans faire appel à une morale, mais elle a conduit à postuler un programme ultra-déterministe, et étrangement tout puissant, en nous: nos gènes. Or, la notion de

"programme" génétique est désormais très discutée. Repensez aux réseaux de microtubules: leur auto-assemblage nous dispense d'en chercher un programme dans les gènes, selon le principe de parcimonie (éviter de s'encombrer d'hypothèses inutiles). De même, on mesure aujourd'hui l'importance de phénomènes transmissibles, dit épigénétiques, qui ne sont pas inscrits dans la séquence des gènes. De nombreux mécanismes viennent ainsi compléter le cadre théorique de l'évolution. Le philosophe des sciences Massimo Pigliucci de l'université de la ville de New York (CUNY), explique justement que ce qui est devenu une "théorie des gènes" doit redevenir une "théorie des formes", précisément ce pourquoi Darwin lui-même l'a conçue. Une théorie qui intègre aujourd'hui de nouveaux champs de connaissance.

**S&V: Cette faculté de la théorie darwinienne de s'arranger avec des découvertes qui semblent au départ la contredire est assez étonnante...**

**T.H.:** Sa force est de nous dire les deux principes, hasard et sélection, par lesquels les êtres vivants s'adaptent et nous apparaissent dans l'état où nous les observons. C'était initialement une boîte noire dont, depuis Darwin, on éclaircit progressivement les recoins, dans le cadre de ces principes et donc sans besoin d'imaginer un quelconque "grand architecte". Le défi est que le monde vivant est "multi-échelles" en tailles (de la molécule à la population) et en temps (de la milliseconde d'une réaction chimique aux millions d'années qui nous séparent des fossiles). Il reste à explorer ces dimensions et à pondérer leurs effets. C'est ainsi qu'évolue la théorie de l'évolution. ■

perpétuation des formes: la biologie a longtemps jugé sévèrement cette impasse. Mais des travaux récents font écho à son œuvre, en étudiant des phénomènes biochimiques non entièrement codés par les gènes. Prenez les microtubules, composants du cytosquelette, rien de moins que l'architecture cellulaire: il faut certes des gènes pour coder les tubulines qui les constituent, mais les formes de leur polymérisation s'expliquent très largement par un phénomène d'auto-assemblage dont le plan n'est pas codé dans le génome.



## BUGS LOGICIELS

Par Vincent Nouyrigat avec Román Ikonicoff

# L'informatique malade des

Pour alimenter les innombrables systèmes qui ont envahi notre quotidien, les logiciels sont de plus en plus gourmands en lignes de code. Et la cote d'alerte est aujourd'hui atteinte : désormais, les informaticiens ne peuvent plus garantir que leurs programmes sont sans erreur...

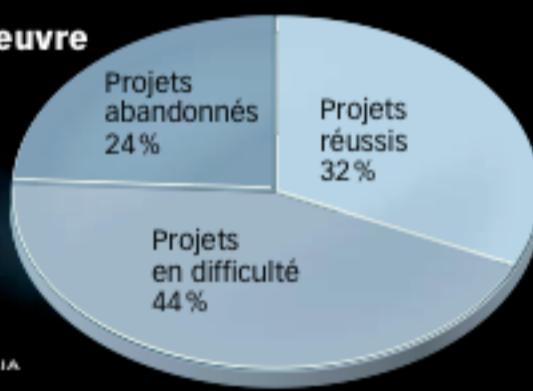
**L**es informaticiens ont un problème. Et pas un petit problème : les voilà incapables d'assurer la fiabilité des nouveaux systèmes informatiques tentaculaires qui se profilent ! Parce que les lignes de code qui sous-tendent ces programmes sont devenues trop monstrueuses, trop complexes... Certes, ce refrain n'est pas nouveau tant l'histoire de l'informatique ressemble, depuis quarante ans, à une furieuse fuite en avant : la puissance du matériel



#### > Des mises en œuvre trop complexes

Alors que la taille des logiciels s'envole (à gauche, le cas de Windows), l'innovation ne peut suivre: en 2008, seul 1/3 des projets informatiques a abouti pleinement.

SOURCES: VINCENT MARAIA  
THE STANDISH GROUP



# Lignes de code

augmente à une vitesse stratosphérique; du coup, l'appétit pour de nouvelles fonctionnalités se cale sur cette courbe affolante; et, logiquement, la taille des programmes enflé à toute allure pour répondre à ces nouvelles ambitions. Le hic, c'est que, en dépit de tous les efforts, la capacité des informaticiens à construire des logiciels fiables et expurgés d'erreurs n'est jamais parvenue à suivre le rythme imposé. Au point que cela fait maintenant plus de 40 ans que la communauté

informatique s'alarme d'une "crise du logiciel", soit cette lutte permanente en coulisses où, décrit Kevin Sullivan du Software Engineering Institute (université Carnegie Mellon), "*la théorie de conception des logiciels court après la pratique, laquelle ne l'attend pas*". Comme le résume l'informaticien, "*nous n'avons jamais cessé de bâtir des systèmes qui dépassent le cadre de notre savoir théorique*". Un propos qui n'a rien de rassurant à l'heure où l'informatique est partout! →

## Lignes de code : une inflation galopante

Invisibles, intangibles et légers comme l'air, les logiciels ont pourtant pris possession de notre vie quotidienne. Au cours des dix dernières années, au sein des voitures ou des téléphones, leur rôle a pris de l'importance et leurs fonctions se sont étoffées. Résultat : des millions de lignes de programme, source potentielle de milliers d'erreurs.

→ **1 million**

DANS  
UNE TÉLÉVISION

→ **100 millions**

DANS UNE VOITURE

→ **10 milliards**

DANS UN  
TÉLÉPHONE PORTABLE

→ Or désormais, la situation semble atteindre un seuil critique : non seulement les lignes de code continuent de s'accumuler par millions dans chaque programme mais, fait nouveau, la tendance actuelle de la société à vouloir mettre en réseau tous les systèmes informatiques fait exploser la complexité de leur mise en œuvre.

Pour l'informaticien français Joseph Sifakis, lauréat en 2007 de l'équivalent du prix Nobel d'informatique, l'heure est grave : "Entre le potentiel offert, de nos jours, par le matériel informatique et notre maîtrise intellectuelle, le fossé est en train de s'élargir". Après des décennies d'une course-poursuite haletante, les programmeurs semblent bel et bien débordés... Et cela au pire moment, alors que se profilent des grands projets très attendus. Par exemple, "l'Internet des objets", censé initier un monde où tous les objets du quotidien équipés d'une puce s'échangent des informations. Tandis que d'autres chantiers sont en péril comme la gestion automatisée du réseau de transport aérien, voulu par les

autorités américaines et européennes afin de réduire les retards du trafic dans leur ciel (voir encadré p. 60). *Idem* en ce qui concerne un autre classique du genre, l'autoroute automatique qui prendrait en charge la conduite de nos voitures. On le voit, la "crise du logiciel" n'est pas seulement une affaire d'informatique. Mais comment en est-on arrivé là ? Pour comprendre, il faut savoir que la plupart des progrès techniques réalisés ces dernières décennies sont à mettre au crédit de l'informatique, à travers des logiciels de plus en plus sophistiqués et volumineux. Par exemple, si la commande de vol de l'Airbus A 380 comprend 1 million de lignes de code, contre 100 000 sur les premiers A320, "cela se traduit par de meilleures qualités de vol et la possibilité de faire décoller et atterrir l'appareil dans des mauvaises conditions météo", justifie Pascal Andrei, directeur de la sûreté aérienne chez Airbus.

A quelques désagréments près, les voitures actuelles doivent aussi beaucoup à l'informatique : la synchronisation des airbags, la sobriété des nouveaux moteurs ou la possibilité



50  
millions

DANS  
UN ORDINATEUR

même du moteur hybride. Partout, les connaissances s'affinent, les trajectoires se font plus précises, les données plus fournies, les objectifs plus élevés – sans parler de l'apétence pour de nouvelles options gadget. Dès lors, il ne faut guère s'étonner que la nouvelle génération de réacteur nucléaire comprenne dix fois plus de lignes de code que la précédente, ou encore que le gabarit des logiciels des missions de la Nasa décuple tous les dix ans...

#### DES STRUCTURES TOUJOURS PLUS ALAMBIQUÉES

Sauf que ce formidable élan a un revers : le script des logiciels s'étale désormais sur plusieurs millions de lignes de code informatique, en sachant que la lecture d'1 million de lignes équivaut à celle de 40 romans épais, avec cette difficulté supplémentaire que deux lignes très éloignées peuvent dépendre l'une de l'autre. *“A mesure qu'un programme s'allonge, le nombre d'interactions possibles entre ses différents composants grandit de manière exponentielle !”*, confirme Patrice Godefroid, des laboratoires de recherche de Microsoft. En plus de leur taille, la structure des →

## Un maquis de plus de 7 000 langages

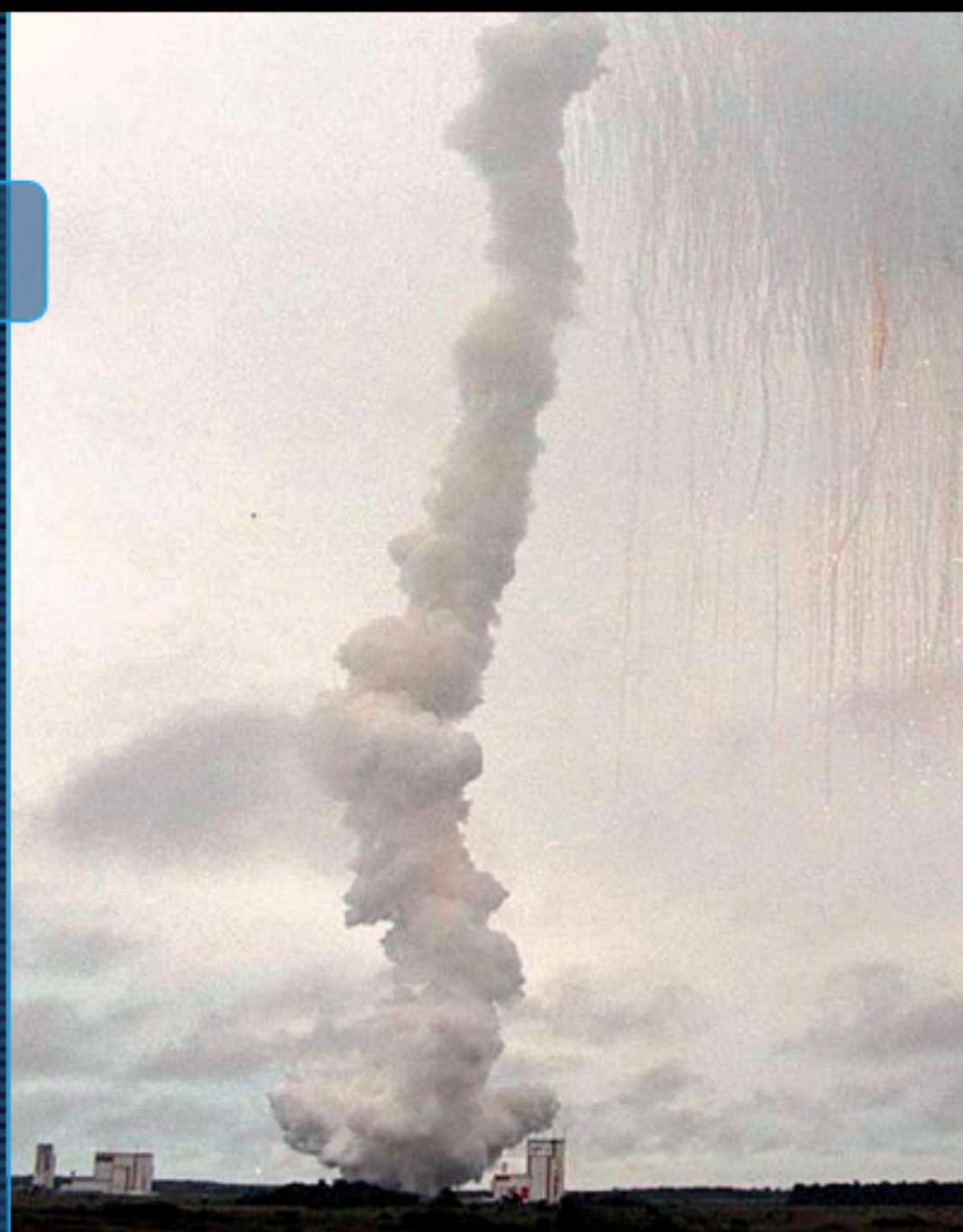
Les informaticiens n'ont eu de cesse de rechercher des langages de programmation toujours plus simples et compréhensibles afin de réduire le nombre d'erreurs – au détriment parfois de l'efficacité. Au total, plus de 7 000 langages informatiques différents auraient été créés, soit plus que le nombre de langues humaines pratiquées aujourd'hui ! Chaque usage justifiant une nouvelle invention, à l'image du MISRA-C destiné au secteur automobile et du Lustre pour les avions. D'abord proches du code machine, ces jargons se sont donc peu à peu rapprochés de la pensée des programmeurs. Reste que le langage C, l'un des plus utilisés aujourd'hui dans le monde, s'avère parfois subtil et, par conséquent, propice aux confusions. Et les bugs continuent de prospérer.

## Bugs informatiques : les 3 grandes causes



### Une hypersensibilité aux erreurs

Lundi 15 janvier 1990. Il est 14 h 25 lorsque des dizaines d'alarmes retentissent chez l'opérateur Télécom américain AT&T. Stupeur : son réseau de téléphonie longue distance vient de s'effondrer... La cause est identifiée après enquête : il s'agissait d'une parenthèse mal placée au milieu de 3 millions de lignes de code d'un logiciel de commutation ! Et cette malheureuse parenthèse aura bloqué ce jour-là 50 millions d'appels... Un bug fondateur pour la vérification des programmes.



→ programmes devient toujours plus alambiquée. Conséquence, selon Roberto Di Cosmo, chercheur au laboratoire Preuves, programmes et systèmes (PPS, université Paris-VII), "certains systèmes informatiques sont devenus plus compliqués que les objets physiques les plus sophistiqués de la planète, tels que la Navette spatiale"...

Cette complexité croissante a pris de telles proportions que, à en croire Martyn Thomas, spécialiste des logiciels critiques à l'université d'Oxford, "nous avons certainement dépassé le niveau de complexité que la plupart des équipes de développeurs sont capables de maîtriser". Un chiffre donne la mesure de cette situation : d'après le cabinet d'études américain Standish Group, en 2008, le quart des projets informatiques a été abandonné en cours de route ou jamais utilisé – un taux d'échec qui ne se rencontre nulle part ailleurs en ingénierie. Explication ? Selon Patrick Cousot, du département informatique de l'Ecole normale supérieure, "ces deux dernières décennies, la puissance de calcul a bondi de l'équivalent de la force de travail de l'esclave romain à celle d'un réacteur nucléaire ! Or, la capacité intellectuelle des programmeurs est restée essentiellement la même, et la taille des équipes ne peut croître significativement sans perte d'efficacité." Certes, de nombreuses raisons sont régulièrement

évoquées pour expliquer ces échecs : problèmes de management, cahier des charges trop flou, manque de considération des hauts dirigeants d'entreprise pour l'informatique. Mais le mal est plus profond... C'est que, comparée à d'autres disciplines, l'informatique est encore dans sa pleine jeunesse ! "Nous sommes toujours à la recherche d'une théorie générale de construction des logiciels, à l'image des équations de la mécanique qui permettent de concevoir un pont robuste", pense Joseph Sifakis. L'informatique n'a pas, pour l'heure, ce caractère constructible et prédictible des objets physiques."

### L'ENFER DE LA VÉRIFICATION

Bref, la pratique informatique est une "science" immature, à laquelle on demande monts et merveilles sans lui donner le temps de maîtriser ses procédures ! Gérald Weinberg, anthropologue du petit monde des programmeurs, se souvient : "Dans les années 1950, l'aviation civile américaine avait contacté des informaticiens afin de concevoir un système de gestion automatique du trafic aérien : ce ne fut finalement pas possible, et cela ne l'est toujours pas ! En informatique, nos rêves se développent bien plus rapidement que notre capacité à les mettre en œuvre..." Pour reprendre la métaphore du pont, "c'est un peu comme si l'on nous



### Une mise en œuvre périlleuse

Débuté en 1981, le projet américain d'automatisation du trafic aérien n'a toujours pas vu le jour ! L'intention était pourtant bonne : fluidifier le mouvement des avions en fonction des retards, incidents, prévisions météo, etc. Mais ce défi sème le chaos chez les programmeurs : objectifs mouvants, ambitions trop élevées, complexité galopante du code... Parce qu'anticiper les réactions d'un système numérique qui n'existe pas encore tient de la gageure, faute de lois sur lesquelles s'appuyer.

### Des règles de construction non établies

Mardi 4 juin 1996, Kourou, vol inaugural d'Ariane 5. A peine 40 secondes après le décollage, la fusée dévie de sa trajectoire et finit en miettes. Pourquoi ? Les ingénieurs avaient gardé le logiciel de navigation de la version précédente, la fusée Ariane 4... dont les caractéristiques de vol étaient très différentes de celles d'Ariane 5 ! Un nouvel environnement qui lui a été fatal. Preuve que la construction d'un logiciel ne peut reposer sur le simple assemblage de briques standard comme on le ferait pour une maison : en informatique, il n'existe pas de ciment...

demandait de concevoir d'abord un pont de 200 mètres de long, puis, très vite, un ouvrage de 3 000 km !", tance Roberto Di Cosmo. Lequel pont finit peut-être par se dresser, mais faute de standards de construction, est truffé de brèches à colmater et guère assuré de tenir longtemps...

Car le véritable enfer des logiciels réside dans leur vérification. Guillaume Brat, ingénieur logiciel à la Nasa, en témoigne : "Cette tâche occupe 88 % de notre temps, le reste étant seulement dévolu à l'écriture du code." Car les très longs programmes compliqués font le lit d'erreurs humaines les plus sournoises : divisions par zéro, accès en mémoire à un tableau invalide, résultat trop grand pour l'espace stockable... "De manière générale, on observe sur les logiciels courants (de bureautique, GPS, etc.) entre 1 et 10 bugs dans chaque millier de lignes de code", relève Patrice Godefroid de Microsoft. Ce qui laisse songeur face aux 50 millions de lignes composant le célèbre système d'exploitation Windows Vista, et donc au minimum 50 000 bugs... Lesquels ne se manifestent pas tous forcément, mais l'informatique n'a, ici, guère de marge de sécurité : il suffit parfois d'une seule ligne défectueuse pour semer le trouble dans l'édifice entier (voir encadré p. 60).

Un trouble qui a un coût : d'après les estimations de Les Hatton, titulaire d'une chaire de "médecine légale du logiciel" à l'université de Kingston (Royaume-Uni), les erreurs de programmation coûteraient 150 milliards de dollars par an uniquement en Europe. C'est évidemment embêtant lorsqu'il s'agit de logiciels commerciaux (bureautique, loisirs, voire automobile) – au vrai, ces codes sont rédigés à la va-vite car le principal objectif est une mise sur le marché au plus tôt.

#### QUELQUE 500 BUGS DANS LA STATION SPATIALE

Mais l'affaire prend une tout autre importance pour les logiciels critiques (nucléaire, aéronautique), où un bug peut avoir des conséquences terribles. Ainsi ceux-là font-ils l'objet d'une scrupuleuse attention : écriture rigoureuse et épurée, utilisation de langages de programmation moins propices aux confusions... Il n'empêche : il reste des bugs dans les avions (voir encadré p. 60), et la Station spatiale internationale en a déjà déclaré pas moins de 500 ! Mais pourquoi tant d'impuissance à éliminer les erreurs ? →

## Y a-t-il un bug dans l'avion ?

Les avions de ligne sont pilotés par le biais d'ordinateurs, et les bugs qui, parfois, les frappent font froid dans le dos. Ainsi, le 8 février 2005, entre Hong Kong et Londres, un Airbus A340 perd l'usage d'un de ses moteurs à la suite de la défaillance du logiciel de gestion du carburant. Le 1<sup>er</sup> août 2005, sur la liaison Perth-Kuala Lumpur, un Boeing 777 grimpe soudainement de 600 m en raison d'un bug du système faisant office à l'appareil d'oreille interne. Un incident similaire s'est déroulé le 7 octobre 2008, sur un Airbus A330 de la compagnie Qantas qui piqua du nez – brièvement – à deux reprises, blessant 12 passagers. Episode dont les équipes d'Airbus nient aujourd'hui le caractère logiciel... tout en reconnaissant en ignorer les causes. De fait, le sujet est des plus embarrassants pour les constructeurs qui disent écrire leurs codes avec une extrême rigueur. Notez cependant que, dans chacun des cas, l'avion a pu être repris en main par les pilotes. Car, argumente Pascal Andrei d'Airbus, "s'il reste quelques bugs, nous avons prévu tant de redondances qu'un problème logiciel ne peut provoquer à lui seul une catastrophe aérienne". Quitte à provoquer quelques sueurs froides...

→ Là encore, le problème est profond: dès les années 1930, les logiciens Alan Turing et Kurt Gödel avaient établi, en substance, qu'une machine ne peut déterminer si le code d'une autre machine fonctionne correctement. Tandis que, face à de tels mastodontes, la lecture ligne après ligne par un humain montre vite ses limites. En outre, "pour s'assurer qu'un programme de seulement vingt lignes fonctionne en toutes circonstances, le nombre de cas à considérer peut atteindre le nombre d'atomes constituant l'Univers", relate Patrick Cousot. Des centaines de siècles n'y suffiraient pas. Un test exhaustif n'est donc pas possible. Pis, ajoute Martyn Thomas, "les systèmes numériques n'ayant pas le comportement continu des objets physiques, le test d'un logiciel en prenant différentes valeurs X ou Y ne dit rien du comportement qu'il aurait avec une valeur différente Z. Le test brut ne permet donc pas d'évaluer la fiabilité d'un logiciel". Désespérant...

### LES CHERCHEURS TENTENT DE RIPOSTER

Soyons justes: face à un tel décalage entre ambitions et savoir-faire techniques, les chercheurs ne sont pas restés sans réagir! Dès le début des années 1970, une poignée d'entre eux mise ainsi sur l'apport des mathématiques et la puissance de ses raisonnements: "Il devenait évident que,



si le logiciel devait mettre en jeu des vies humaines, cette situation ne pouvait plus durer, raconte Patrick Cousot, l'un de ces pionniers. Mon intuition était de raisonner, non sur des cas particuliers, mais sur des abstractions englobant toutes les valeurs possibles. Ce faisant, on trouve une enveloppe qui contient les différentes trajectoires d'exécution du programme." Voilà une modélisation qui permet de contourner la difficulté, sans tout régler pour autant. Trois décennies de recherche théoriques ont, en tout cas, abouti à des outils d'analyse qui, sans faire tourner le programme, se piquent de garantir que rien n'ira interrompre le comportement normal de la machine. L'analyseur conçu par Patrick Cousot a ainsi passé au crible le code du gros-porteur dernier cri Airbus A380. Loin d'être isolée, cette stratégie d'analyse statique fait partie d'une famille de puissantes solutions de vérification, baptisées "méthodes formelles".

Reste que, dans la pratique, ces méthodes sont fastidieuses, cent à mille fois plus onéreuses – donc réservées aux modules les plus critiques –, elles font appel à quelques rares spécialistes de haute volée, et certaines ne sont capables de traiter que des morceaux de codes simples et très courts. Surtout, le résultat n'est, au final, pas parfait: ces techniques ne sont pas exhaustives, "les mathématiciens font aussi des erreurs", reconnaît Patrick Cousot et, en définitive, "personne n'est encore en mesure d'affirmer qu'un programme ne contient aucun bug", souligne Daniel Watson, chef du département logiciel d'Airbus.



Les codes des ordinateurs de bord sont écrits avec une grande rigueur... ce qui n'empêche pas les erreurs.

Malgré tout, se dessinent ici les prémisses d'une véritable ingénierie logicielle, préalable théorique à la chasse aux bugs... D'ailleurs, signe encourageant, des outils dérivés de ces géniales méthodes formelles commencent à s'ouvrir aux logiciels grand public – Microsoft en devient même friand car une erreur est aussi une faille de sécurité exploitable par un virus. Le retard de la théorie sur la pratique ne serait donc pas une fatalité et l'on n'avait jamais semblé aussi proche de combler cet écart...

#### LE RISQUE DE LA MISE EN RÉSEAU DES LOGICIELS

Sauf que voilà : c'est oublier "nos ambitions démesurées qui consistent à mettre en réseau – parce que c'est très pratique ! – tous ces logiciels sophistiqués", observe Roberto Di Cosmo. Car cette nouvelle donne de programmes interconnectés ouvre une véritable boîte de Pandore contre laquelle quatre décennies d'efforts des théoriciens ressemblent à une pichenette. De fait, la mise en interaction de deux programmes isolés, même chacun scrupuleusement vérifié, crée de nouveaux soucis : chaque ligne du code A pouvant interférer avec celles du code B, C ou D de manière difficilement prévisible. Les logiques ne sont pas les mêmes, le déroulement des séquences peine à se synchroniser, les résultats peuvent s'entrechoquer... "On aboutit à un objet exponentiellement compliqué pour lequel les méthodes formelles ne fonctionnent pas !", déplore Patrick Cousot, qui tente depuis déjà quatre ans d'adapter l'abstraction mathématique

à ces systèmes en parallèle. La situation actuelle est donc tristement simple : en l'état des connaissances, il n'est pas possible de garantir le bon fonctionnement d'une autoroute ou d'un réseau aérien automatique – alors même qu'il n'est pas question de prendre le moindre risque.

Autant de rêves inaccessibles ? Les avis sont partagés. "Personne n'a encore prouvé qu'il existait une limite à la résolution de problèmes compliqués !", rétorque Patrick Cousot qui veut voir là un champ de recherche stimulant. A contrario, Joseph Sifakis pense "que l'on a atteint ici un mur fondamental de complexité qui rend ces projets très difficilement faisables". D'autant plus que "notre cerveau raisonne de manière séquentielle, pas à pas, et non en parallèle : nous vivons là une vraie rupture", complète Gérard Berry, chercheur à l'Institut national de recherche en informatique et automatique (Inria). Un problème qui ne se pose pas seulement à grande échelle, mais aussi dès à présent au sein même de nos ordinateurs personnels : en effet, afin de continuer à augmenter la puissance de calcul des machines, les industriels ont intégré des processeurs à plusieurs cœurs (plusieurs algorithmes fonctionnent en même temps) pour lesquels, insiste Gérard Berry, "nous n'avons pas encore trouvé d'algorithme de programmation adapté, et nous ne sommes pas sûrs d'y parvenir un jour..."

Décidément, l'histoire de l'informatique ressemble à une spirale infernale. Mais, au final, les programmeurs, ces hommes de l'ombre, ne seront peut-être pas les seuls à en subir les conséquences. Car un retournement de situation semble plus que jamais possible : jusqu'à présent admirable moteur de progrès, l'informatique, avec ses spécificités, pourrait bien devenir le principal frein à ces avancées... ■

**"C'est comme si on devait concevoir un pont de 200 m de long, puis très vite, l'allonger de 3000 km!"**

ROBERTO DI COSMO  
CHERCHEUR AU LABORATOIRE PPS



**"Le fossé se creuse entre le potentiel offert par le matériel informatique et notre maîtrise intellectuelle"**

JOSEPH SIFAKIS  
DIRECTEUR DE RECHERCHE AU CNRS



## TRANSPORT

Par Pierre Grumberg

# Hélicoptères

En pulvérisant les 400 km/h, deux nouveaux modèles d'hélicoptères viennent de faire basculer ce type d'appareils dans une autre dimension. Car jusqu'ici, il leur était intrinsèquement impossible d'atteindre les grandes vitesses. Explications.

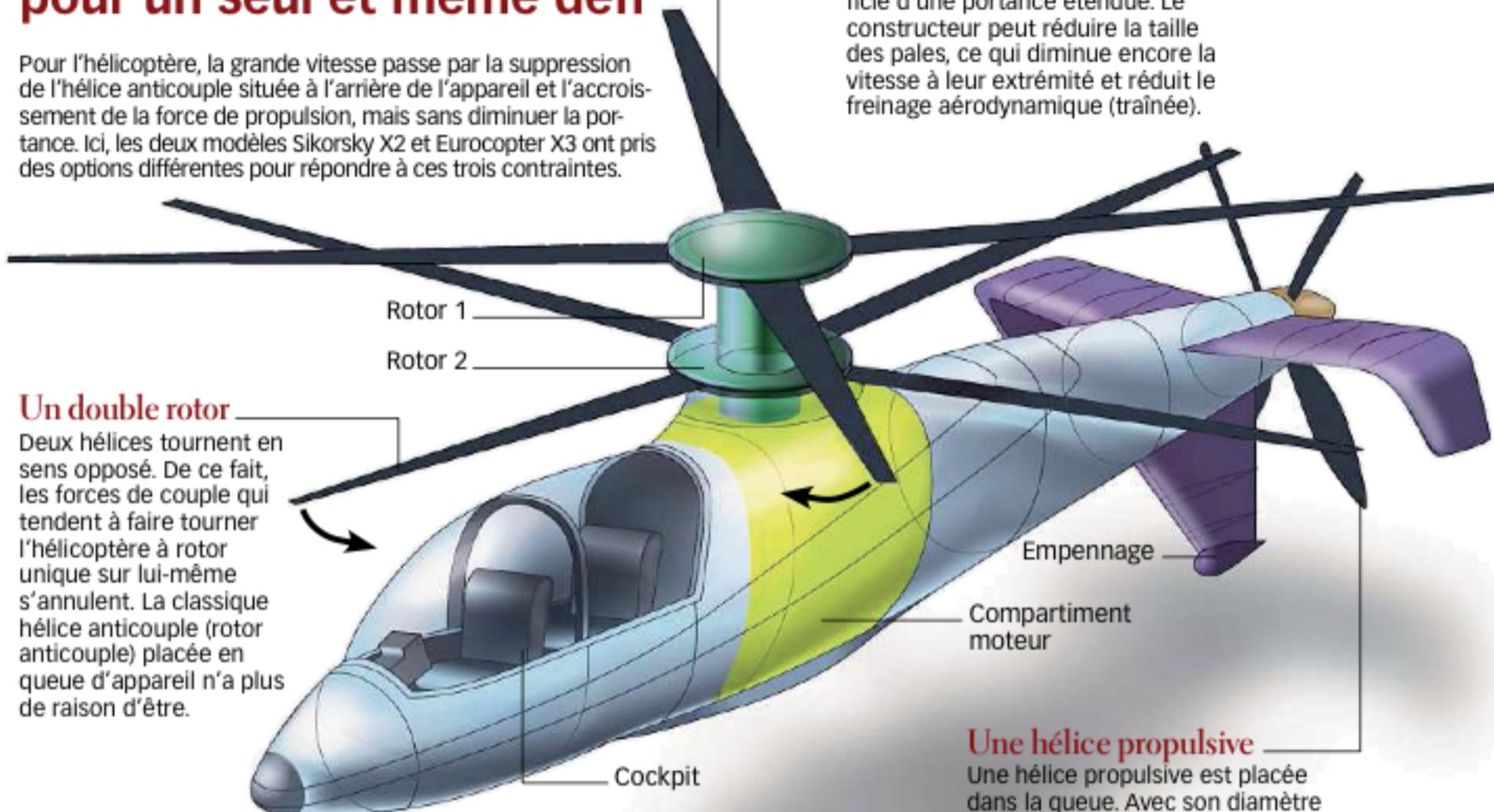
## Ils accèdent enfin à la grande vitesse

**V**ingt-quatre ans qu'il tenait... et le voici pulvérisé de la plus belle des manières : le record absolu de vitesse pour hélicoptère de 400,87 km/h, détenu depuis 1986 par le légendaire Westland Lynx G-LYNX britannique, a été porté le 15 septembre 2010 à 463 km/h. Le héros de cet exploit? Une machine expérimentale, baptisée X2, imaginée et construite aux Etats-Unis par Sikorsky, un des leaders du secteur. Un événement extraordinaire. Depuis des décennies, en effet, la vitesse des hélicoptères buttait contre un mur, situé à 400 km/h. Seul le G-LYNX était parvenu à le franchir – de très peu et sur 15 km seulement – au prix d'une préparation digne d'une formule 1 : surmotorisation, allégement maximum, carburant et rotor spécial, aérodynamique "lissée" à l'extrême... Rien de tel avec le X2. Car avec lui – mais aussi avec son rival européen X3 (prononcer "x-cube"), construit par Eurocopter et qui vient de démarquer ses essais en vol –, c'est en réalité une toute nouvelle génération d'aéronefs à voilure tournante qui est en passe de crever ce fameux →



## Deux choix technologiques pour un seul et même défi

Pour l'hélicoptère, la grande vitesse passe par la suppression de l'hélice anticouple située à l'arrière de l'appareil et l'accroissement de la force de propulsion, mais sans diminuer la portance. Ici, les deux modèles Sikorsky X2 et Eurocopter X3 ont pris des options différentes pour répondre à ces trois contraintes.



### LE SIKORSKY X2

→ mur. Objectif: porter en une seule étape technologique la vitesse des hélicoptères de série aux alentours de 450 km/h, soit 50 % de mieux que celle des machines actuelles.

Pour réussir, Sikorsky et Eurocopter ont complètement repensé l'hélicoptère et le rôle de sa pièce maîtresse : son rotor principal. C'est que cette grande hélice qui permet à l'hélicoptère de voler verticalement ou sur place en lui offrant sustentation (c'est-à-dire maintien en l'air) et propulsion, est soumise à des contraintes multiples et contradictoires. Un des problèmes induits par ce rotor est la force de couple exercée par le moteur sur son arbre, qui tend à faire tourner l'hélicoptère dans le sens inverse de rotation de l'hélice : afin de compenser cette force, la plupart des hélicoptères sont dotés d'un petit rotor anticouple, installé à l'arrière, sur un des côtés de la queue, ce qui ralentit malheureusement la vitesse de l'appareil. Mais la rotation de l'hélice principale engendre un problème encore plus gênant.

De fait, lorsqu'une des pales du rotor avance, la vitesse à son extrémité est l'addition de la vitesse d'avancement de l'hélicoptère et de la vitesse de rotation du rotor multipliée par le rayon du rotor. A l'inverse, lorsque la pale recule, la vitesse à son extrémité résulte de la différence entre les deux vitesses précédentes. Et cette différence de vitesses entre les pales

### Une portance améliorée

Avec deux rotors, l'hélicoptère bénéficie d'une portance étendue. Le constructeur peut réduire la taille des pales, ce qui diminue encore la vitesse à leur extrémité et réduit le freinage aérodynamique (traînée).

### Une hélice propulsive

Une hélice propulsive est placée dans la queue. Avec son diamètre de 2 m, elle assure 90 à 95 % de la propulsion à grande vitesse.

opposées, qui s'aggrave avec la vitesse de déplacement de l'hélicoptère, aboutit à une inégale répartition de la portance sur le disque du rotor : les pales avançantes en produisent trop, les pales reculantes plus assez, voire plus du tout.

*“Cette perte soudaine, appelée ‘décrochage’, risque de renverser l'appareil sur le côté, explique Steve Weiner, directeur du département d'ingénierie chez Sikorsky et ingénieur en chef du programme X2. S'ajoutent en outre à ce problème des phénomènes de vibration insurmontables lorsque les extrémités des pales avançantes approchent du mur du son, tandis que les pales reculantes en sont encore loin.”* Conséquence : pour aller vite, il faut ralentir le rotor afin de ramener le déséquilibre à un niveau acceptable... ce qui dégrade alors la vitesse et la portance ! Un vrai casse-tête.

### RELEVER LE DÉFI DE L'INSTABILITÉ

Partagé par tous les hélicoptères et sensible dès 280 à 310 km/h, ce problème les a jusqu'ici empêchés d'atteindre des vitesses comparables à celles des avions à hélice, soit 500 à 600 km/h. Certes, comme le remarque Jean-Michel Billig, vice-président chargé de la recherche et du développement chez Eurocopter et patron du projet X3, il a pu être en partie contourné : “On a pu jouer par exemple sur le diamètre du rotor et le nombre

## Des ailes

Pas de double rotor chez Eurocopter, mais des ailes qui aident à maintenir l'appareil en l'air en soulageant le rotor principal. A grande vitesse, les ailes fournissent 40 % de la portance.

Rotor

Hélice 1  
(propulsion et poussée anticouple)

## Des hélices tractrices

Au nombre de deux, elles sont animées par les moteurs du rotor via un système de triangles. Elles fournissent une partie de la vitesse d'avancement de l'hélicoptère.

## L'EUROCOPTER X3



des pales. Mais cela augmente la masse globale, ce qui ne nous plaît guère, et pour un gain de vitesse finalement assez faible." Résultat: les hélicoptères les plus rapides aujourd'hui ne dépassent guère 320 km/h... Depuis leur invention il y a un peu plus de cent ans, et plus particulièrement au cours des années 1960 et 1970, les projets se sont succédé pour aller au-delà. Mais trop compliqués, trop fragiles, trop chers, tous ont échoué. Jusqu'à ce que Sikorsky et Eurocopter finissent, séparément et en secret, par trouver enfin une solution qui permet à la fois de ralentir le rotor principal, tout en accélérant et en maintenant l'appareil en l'air.

Pour relever le défi de l'instabilité, Sikorsky a choisi de combiner sur le X2 deux solutions explorées pendant les années 1960. D'abord, remplacer l'unique rotor des hélicoptères classiques par deux rotors superposés tournant en sens inverse. L'augmentation de surface portante améliore les performances de portance, tandis que les différences s'équilibreront, ce qui élimine le risque de basculement. "Deux rotors contrarotatifs permettent en outre d'annuler la force de couple exercée par le moteur sur l'arbre du rotor, indique Jim Kagdis, directeur des programmes avancés chez Sikorsky. On peut ainsi remplacer le rotor anticouple installé dans la queue des machines classiques par une hélice classique." Cette dernière prend en charge 85 à

95 % de la propulsion, ce qui aboutit à soulager les rotors de cette fonction et à maintenir les extrémités des pales en dessous de la vitesse du son (voir infographie).

Machine ultramoderne et expérimentale, le X2 bénéficie par ailleurs des raffinements les plus récents: pales courtes et rigides à incidence pilotée par ordinateur, commandes électriques informatisées, système actif de contrôle des vibrations. En outre, le gros défaut des rotors contrarotatifs, qui altère l'aérodynamisme, est, selon Jim Kagdis, réglé par des carénages sophistiqués.

Tout cela doit faire du S-97 Raider, premier "produit" issu de la technologie X2 présenté fin octobre 2010, une machine militaire non seulement rapide (410 km/h en vol horizontal), mais bien plus agile et performante que les hélicoptères traditionnels: "Nous pourrions par exemple voler sur 97 % du territoire afghan actuel, alors que les hélicoptères existants sont limités à 45 %, à cause de l'altitude et de la chaleur qui limitent la puissance du rotor", souligne Doug Shidler, chef du programme. Sikorsky envisage deux versions (un engin de transport pour 6 commandos et un d'assaut lourdement armé) livrables à l'armée américaine vers 2018. Seul défaut: son prix, inévitablement élevé, qui reste "à définir en fonction de la concurrence". →

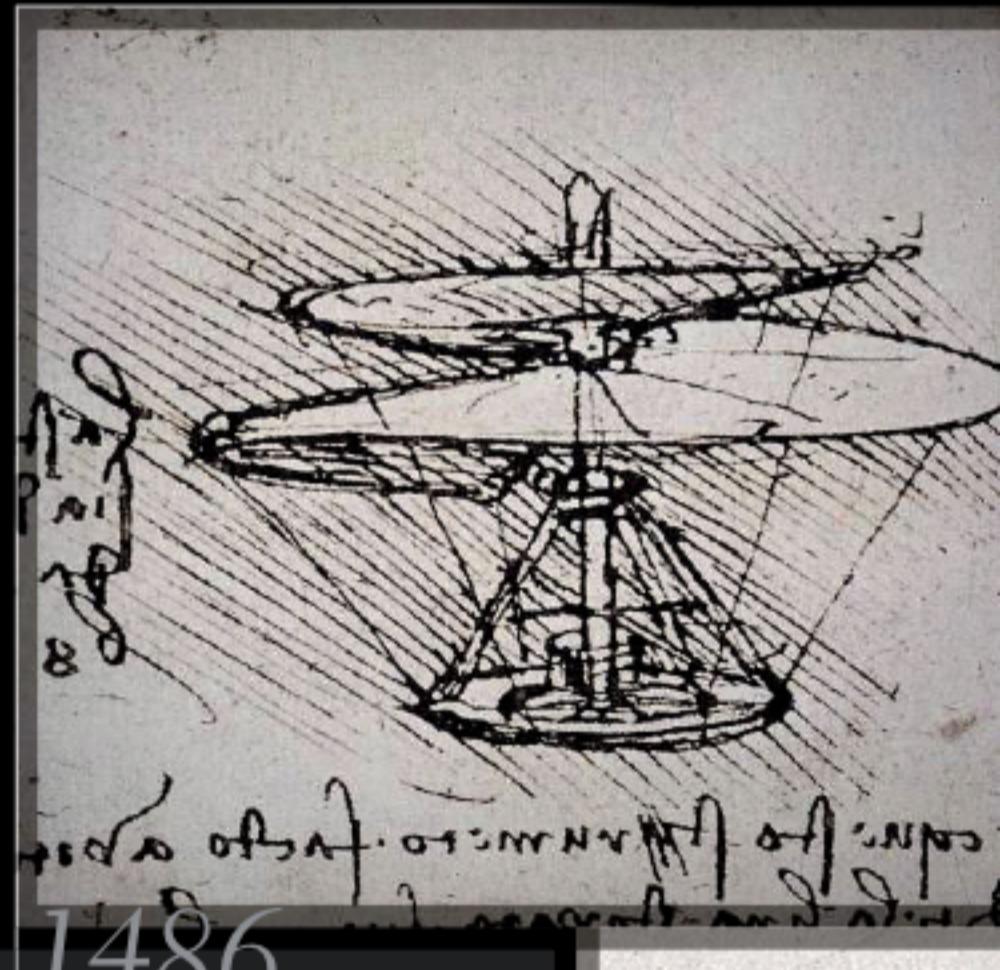
→ Et justement, son concurrent européen s'est engagé dans une voie très différente. Car là où le constructeur américain a construit une nouvelle machine, Eurocopter a choisi, en 2008, de recycler des machines de série. "Le X3 emprunte sa cellule et son rotor à l'AS 365 Dauphin, sa transmission à l'EC175, ses moteurs au NH90, détaille Jean-Michel Billig. Il ne dispose même pas de commandes électriques, ni de pilote automatique, même si ses successeurs en seront équipés." Sur le X3, pas de rotors contrarotatifs, solution jugée trop énergivore : c'est en installant non pas une hélice propulsive dans la queue, mais deux hélices tractrices au bout de courtes ailes qu'Eurocopter a résolu les problèmes. Mues directement par les moteurs du rotor grâce à une simple transmission, ces hélices fournissent un apport de propulsion, tandis que les ailes prennent en charge jusqu'à 40 % de la portance. Ainsi soulagé de ses deux fonctions principales, le rotor peut être ralenti. Quant au couple, qui tend à faire tourner l'hélicoptère dans le sens inverse des pales, il est contrebalancé en jouant sur le pas des deux hélices latérales, qui règle leur capacité tractrice (voir infographie).

#### REPOUSSER ENCORE PLUS LOIN LES LIMITES

La solution du X3 semble si évidente qu'il est étonnant que personne n'y ait pensé avant. "C'est la preuve qu'il reste de la marge pour l'invention dans le domaine des voitures tournantes, sourit Jean-Michel Billig. Et c'est aussi pourquoi nous avons décidé de développer l'idée seuls, dans le plus grand secret." Pour Eurocopter, cette simplicité doit être la clé du succès des héritiers du X3 : elle promet un surcoût limité à 20 % seulement, avec 10 % de coûts de mission en moins grâce à 50 % de vitesse en plus. Annoncé pour 2018-2019, le dérivé industriel du X3 ciblera le marché militaire mais aussi civil.

Car Sikorsky et Eurocopter comptent bien sur la vitesse pour mordre sur le marché de l'aviation traditionnelle et ouvrir de nouveaux (et juteux) marchés, des drones légers aux transports lourds. Il y a fort à parier qu'ils trouveront de nombreux rivaux. C'est qu'il reste encore à gagner en vitesse... Steve Weiner estime qu'il devrait être possible de pousser à plus de 500 km/h, "à condition de disposer de moteurs assez puissants et d'optimiser les rotors". "Et nous avons encore de la marge dans ce domaine, précise Blanche Demaret, directeur délégué pour les recherches sur les voitures tournantes à l'Onera, le centre de recherche aérospatiale français. En déformant les pales grâce à des actuateurs piézoélectriques intégrés, nous pourrions leur donner d'ici vingt ans une configuration idéale sur la totalité d'un tour de rotor et non sur un quart comme aujourd'hui." L'hélicoptère aura alors vraisemblablement atteint sa vitesse maximale. Jusqu'à ce qu'une nouvelle idée géniale germe au fond d'un bureau d'études pour repousser encore plus loin les limites de ces engins à voiture tournante... ■

# 5 siècles de progrès pour voler plus vite



1486  
1486

#### LE PRINCIPE

C'est en Chine, au IV<sup>e</sup> siècle avant J.-C., que remonterait l'"invention" de l'hélicoptère, sous la forme de jouets à voiture tournante sans doute inspirés par le tourbillonnement de la graine d'érable. Mais Léonard de Vinci est le premier à ébaucher sur ce croquis de 1486 une machine à voiture tournante. Le rotor en vis d'Archimède et l'absence de moteur la rendraient cependant impropre au vol. Le premier engin à voler réellement est une petite maquette à deux rotors animés par ressorts inventée en 1784 par les Français Launoy et Bienvenu.

1907  
1907

## LA NAISSANCE

Faute de moteur assez puissant, les recherches menées au XIX<sup>e</sup> siècle sur les rotors n'aboutissent qu'à l'invention du mot "hélicoptère" (hélice-ailé), en 1861, par le Français Ponton d'Amécourt. C'est en 1907 que le Normand Paul Cornu parvient enfin à faire décoller un appareil de 200 kg muni de deux hélices de 6 m de diamètre et d'un moteur d'avion de 24 chevaux. Le "vol" ne dure que quelques secondes... Et son "pilotage" est très approximatif. Mais un nouveau moyen de transport est né.

1920  
1930

## LES TÂTONNEMENTS

Imaginé par l'Argentin Raul Pateras Pescara, l'hélicoptère à double rotor coaxial (la formule du X2) est construit dès 1919. L'engin, complexe et difficile à maîtriser, franchit enfin 1 km de distance le 16 janvier 1924. Le 4 mai, c'est le "laboratoire volant n° 2" (photo) d'Etienne Oehmichen – un monstre à 12 hélices – qui boucle enfin le kilomètre en circuit fermé.



1930  
1945**LA BONNE FORMULE**

En 1936, le "gyroplane" de Louis Bréguet et René Dorand dépasse 100 km/h avec son moteur de 400 ch. La France est concurrencée par l'Allemagne, où travaille Heinrich Focke, et par les Etats-Unis où l'ingénieur d'origine russe Igor Sikorsky trouve la formule gagnante avec le VS-300 (photo): le rotor anticouple placé dans la queue et animé par le moteur principal via une tringlerie. 90 chevaux suffisent à faire voler l'engin de 522 kg. L'hélicoptère moderne est né et il est promis à un bel avenir, comme le pressent *Science & Vie* en avril 1946. Le premier engin de série, le Sikorsky R-4 de 1942, est construit à 131 exemplaires.

1945  
1960 **LA MATURITÉ**

L'hélicoptère se rend indispensable dans les conflits de la décolonisation pour évacuer les blessés, récupérer les aviateurs abattus, ravitailler, transporter, soutenir de leur feu les soldats... L'armée française utilise jusqu'à 600 machines en Algérie, où l'"héliportation" devient en 1960 une arme de combat. Cette doctrine sera adoptée en masse par les Américains grâce à un engin extraordinaire : le Bell UH-1 (photo), premier à bénéficier, en 1956, de la puissance d'un moteur à turbine (700 puis 1 100 ch). Au Vietnam, 7 000 exemplaires de cet outil à tout faire révolutionnent le combat. Et ces énormes séries font baisser le coût des appareils, au grand bénéfice des civils.



## 1960 2010 *LA QUÊTE DE VITESSE*

Si l'hélico est toujours plus puissant, plus endurant, plus costaud, sa vitesse plafonne en dessous de 350 km/h dès le milieu des années 1960... En dépit d'investissements énormes et de machines ambitieuses, le mur des 400 km/h reste infranchissable en vol horizontal. Une seule machine y parvient, en 1986: un Westland Lynx (photo) à deux turbines spéciales de 1200 ch, allégé, nettoyé de la moindre aspérité et doté de pales expérimentales. Ce record homologué ne sera battu qu'en 2010 par le X2.



COURTESY FRIENDS OF THE HELICOPTER MUSEUM

*De petites gouttelettes de boue projetées sur les pieds d'une sonde martienne ont ranimé le débat sur la présence d'eau liquide sur Mars. Le sujet est d'importance. Car qui dit eau liquide dit conditions propices à l'apparition ou à la survie d'une vie autochtone. Et ce sont tous les rêves de découverte d'une vie martienne et les fantasmes des petits hommes verts qui refont surface.*

# Mars

## L'affaire de l'eau liquide rebondit

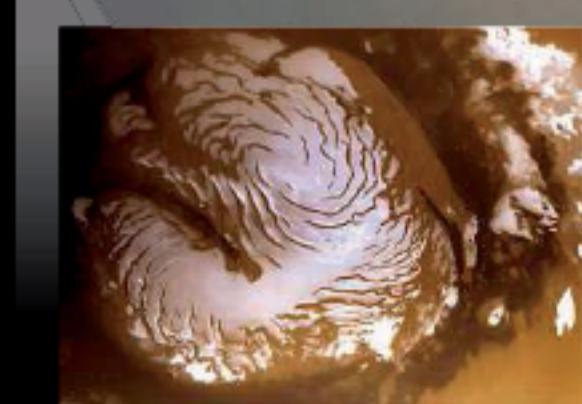
Par Stefan Barendsky

C'était il y a dix ans et, à l'époque, les esprits s'étaient enflammés : l'analyse d'immenses ravines photographiées à la surface de Mars témoignait que de vastes écoulements s'étaient produits le long de dunes, de cratères ou de falaises. Des écoulements... d'eau ?

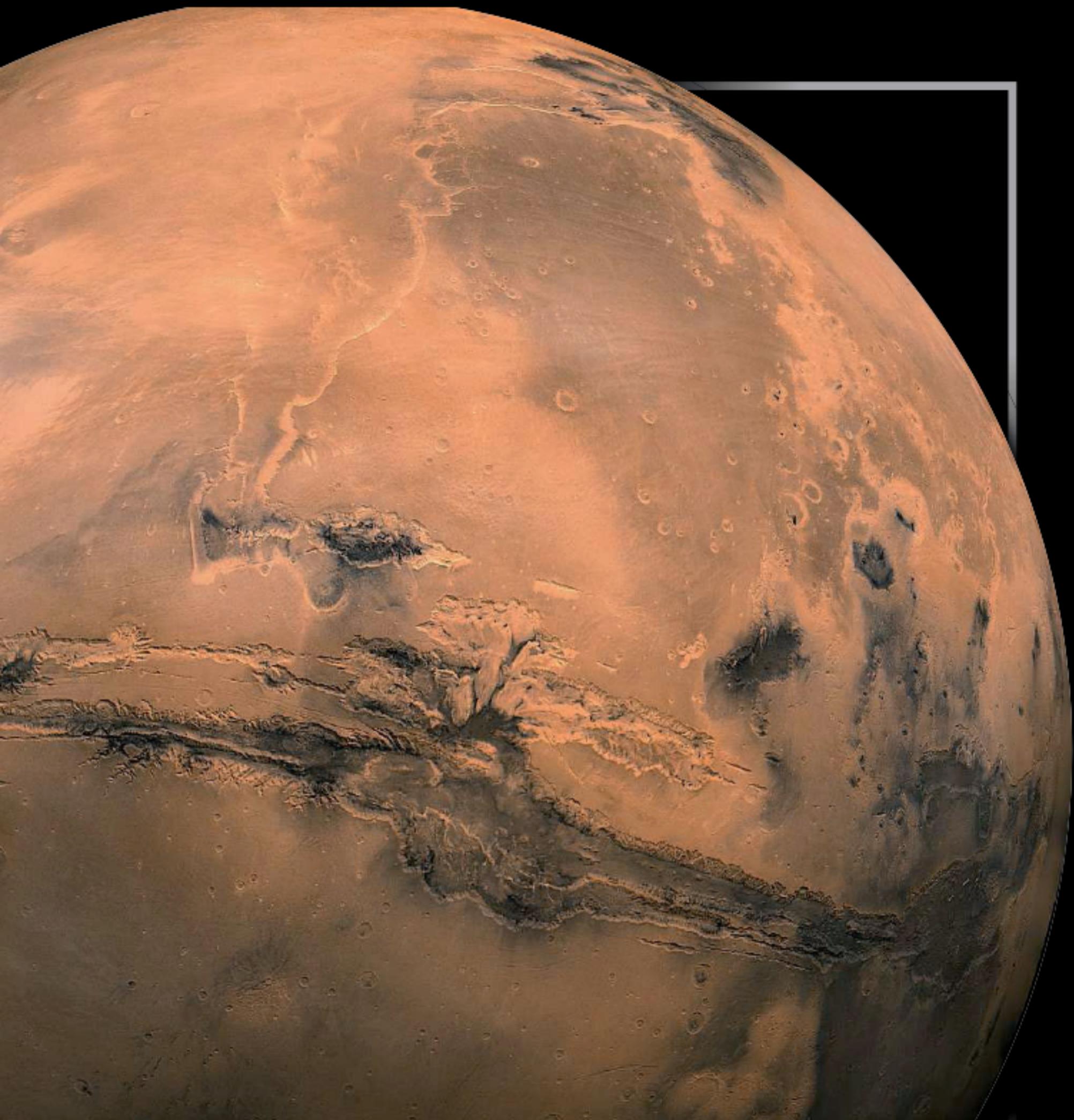
### DES DÉBATS PASSIONNÉS

La question avait déclenché des discussions passionnées. Et pour cause : s'il s'agissait d'eau, cela signifiait que la planète rouge aurait pu, dans un passé géologique récent, présenter des conditions propices à la vie, selon le modèle terrestre qui veut que vie et eau soient

étroitement liées. Las, dix ans plus tard, la question des ravines n'a pas été clairement tranchée et, dans le doute, l'espoir que de l'eau ait pu couler récemment sur Mars s'est plutôt estompé. D'autant que la surface martienne laisse peu de prise aux rêveries aquatiques. Non seulement la planète rouge est presque entièrement recouverte de poussière, mais les lois de la thermodynamique sont formelles : vu les conditions de température et de pression qui y règnent, l'eau ne peut s'y trouver qu'en phase solide (glace), ou sous forme gazeuse (vapeur). Impossible, dès lors, que la vie s'épanouisse... Mais →



1

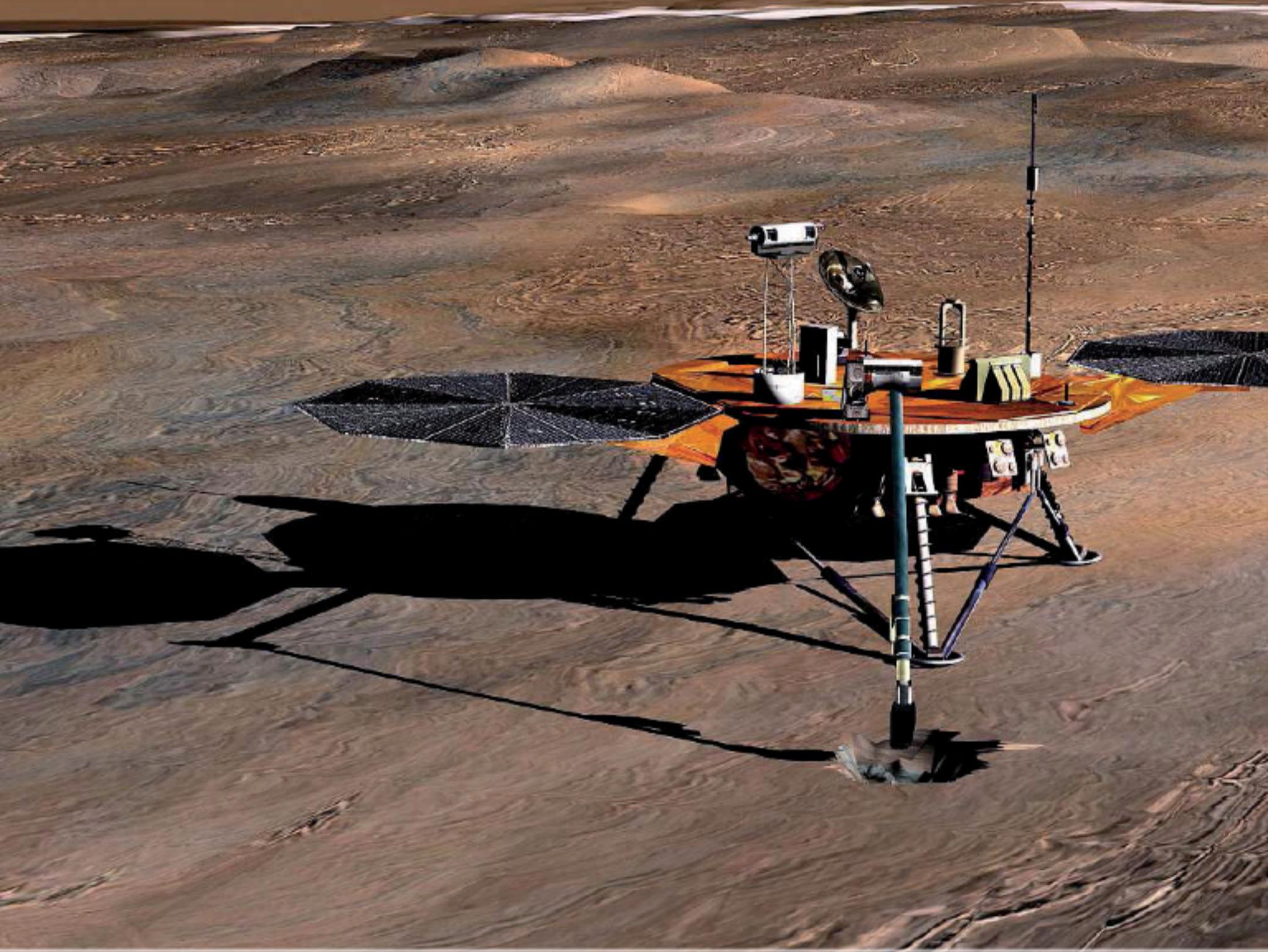


### 3 SITES CONCENTRENT AUJOURD'HUI L'ATTENTION

Le pôle Nord et ses gouttelettes **1**, le cratère Richardson et ses flaques **2** ainsi que les ravines et leurs traces d'écoulements **3** : tels sont les sites qui font aujourd'hui espérer la présence d'eau liquide sur la planète rouge.

2

3



→ c'était avant que le hasard ne vienne relancer l'affaire de l'eau martienne grâce à la découverte fortuite d'étranges gouttelettes !

L'histoire, révélée en septembre au Congrès d'astronautique de Prague, commence il y a presque trois ans, lorsque Nilton Rennó et son doctorant Manish Mehta, de l'université du Michigan, étudient les images envoyées par la sonde *Phoenix* lors de son atterrissage à proximité de la calotte polaire septentrionale de Mars, le 25 mai 2008. La poussée des douze rétrofusées de la sonde de la Nasa a mis au jour de la glace d'eau dissimulée

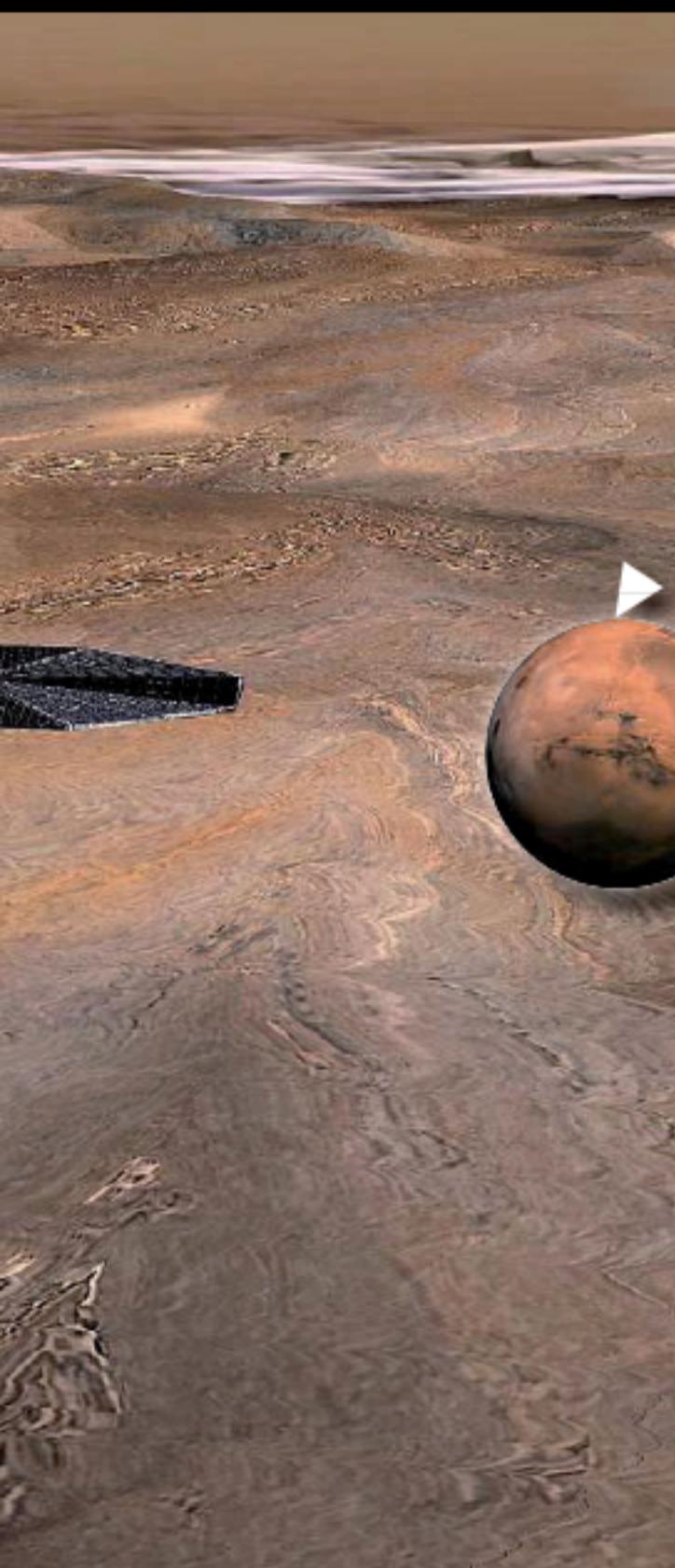
quelques centimètres à peine sous la surface. Laquelle, portée soudainement à 200 °C, se met à éclabousser les montants des trois pieds de la sonde de gouttelettes d'une boue chaude et épaisse.

#### DES TACHES ÉTONNANTES

Jusqu'ici, rien d'extraordinaire. Sauf que quelques semaines plus tard, en observant des clichés des montants de la sonde, les deux scientifiques, membres de l'équipe de recherche atmosphérique de la mission, sont intrigués : "Nous avons remarqué que les taches de boue avaient bougé. Alors qu'on les croyait gelées,

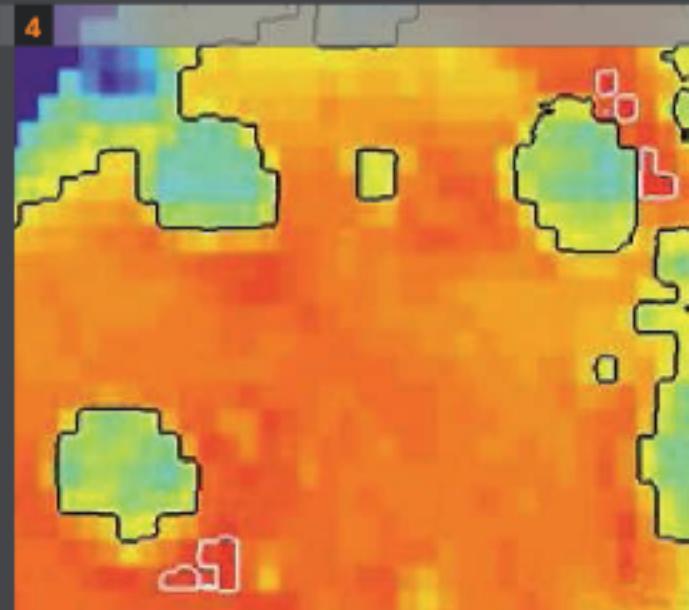
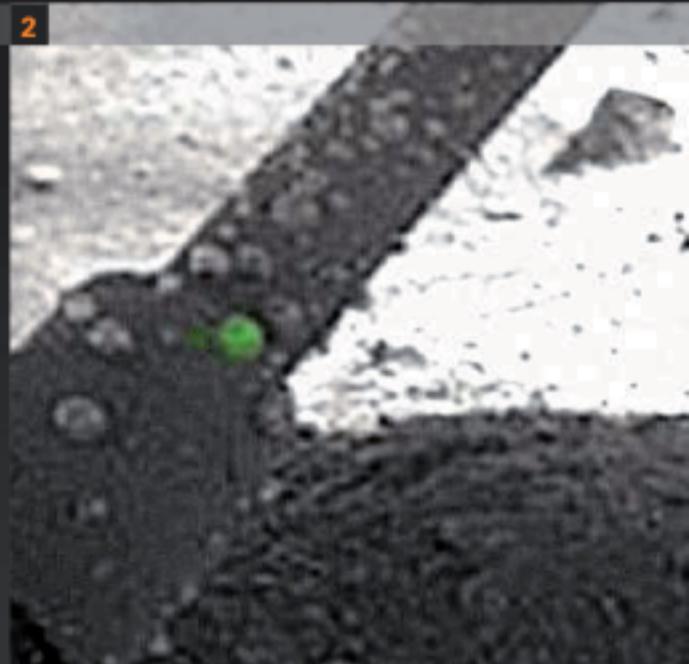
elles se sont mises à grossir et à s'assombrir, avant de s'écouler, et même fusionner, explique Nilton Rennó. Elles semblaient se comporter comme des gouttes liquides." De l'eau liquide à la surface de Mars ? Les mots magiques sont à nouveau lâchés, et avec eux tous les rêves de vie extraterrestre.

Non sans bonne raison, cette fois. Car Nilton Rennó et Manish Mehta savent que l'étude chimique du sol par *Phoenix* a mis en évidence la présence de sels de perchlorate, notamment des perchlorates de sodium, de calcium et de magnésium. Or, les simulations



## La découverte de gouttelettes relance le débat

Ce sont ces images captées par la caméra de la sonde *Phoenix* (à g.) qui ont mis la puce à l'oreille des chercheurs. Lors de l'atterrissement à proximité du pôle Nord de Mars, il y a deux ans, de la boue a été projetée sur les montants de la sonde 1. Or, les chercheurs ont été surpris de constater que ces taches variaient au fil du temps 2. En zoomant 3 et en effectuant une analyse spectrométrique 4, ils ont pu démontrer que seules des gouttes d'une boue salée et liquide pouvaient réfléchir la lumière et évoluer de cette façon. Pour la première fois, de l'eau liquide était observée à la surface de Mars !



thermodynamiques indiquent que Mars n'est pas aussi hostile qu'elle le paraît: à certaines concentrations en sels et sous certaines températures, une phase liquide n'est pas incompatible avec la pression atmosphérique martienne. Ainsi, dans les conditions de pression existant sur le site, le perchlorate de calcium peut exister sous forme hydratée en phase liquide au-dessus de  $-76^{\circ}\text{C}$ . Et, vérifications faites, pendant les 149 journées martiennes qu'a duré la mission *Phoenix*, la température du site a fluctué de  $-20^{\circ}\text{C}$  à  $-95^{\circ}\text{C}$  entre jours et nuits, avec une température moyenne à  $-60^{\circ}\text{C}$ . Il n'est

donc pas impossible que les taches observées soient bien de l'eau à l'état liquide, sous la forme de solutions très salines: des saumures!

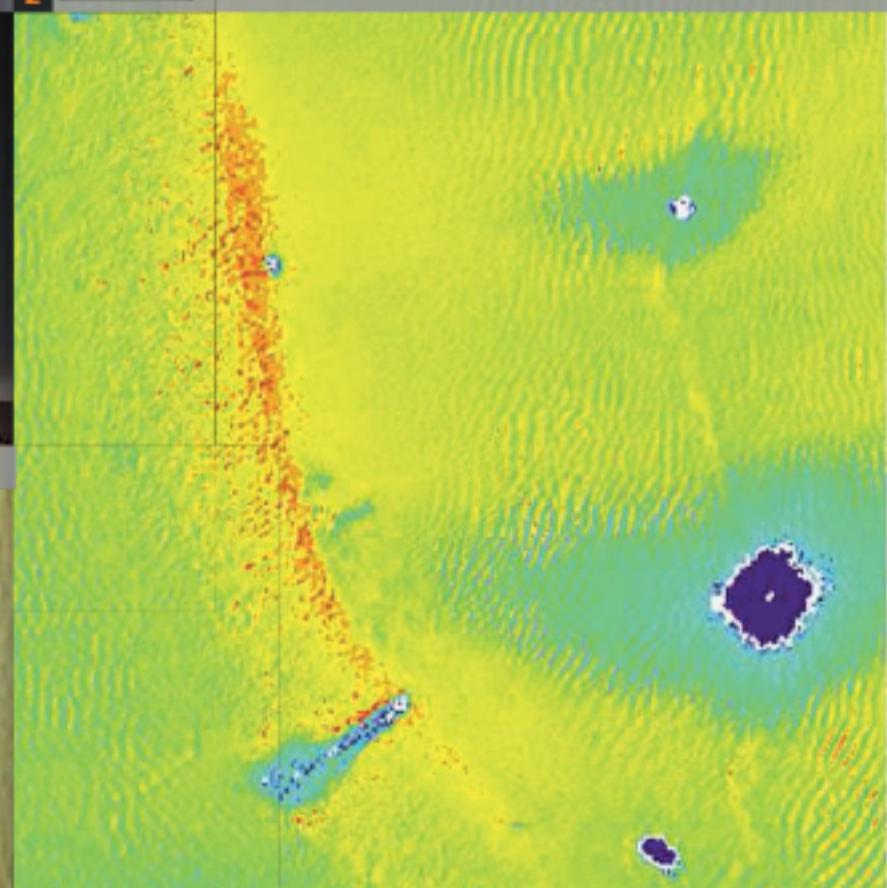
L'observation semble bien peu spectaculaire: en quoi quelques gouttes de boues salées, fussent-elles liquides, peuvent-elles mettre sur la piste de la vie extraterrestre? Les deux chercheurs, pourtant, s'enthousiasment. Car, si leurs intuitions se confirment, ces gouttes de boue qui s'écoulent sur les montants de la sonde *Phoenix* – les premières images jamais obtenues d'une eau martienne liquide! – valident la possibilité que cette →

## Des clichés révèlent de véritables "mares saisonnières"

Une fois les reflets lumineux caractéristiques de l'eau liquide salée repérés sur les montants de *Phoenix*, les chercheurs ont recherché ces traces sur toute la surface de la planète rouge. Situé à haute latitude, le cratère Richardson a ainsi révélé, au bord d'une dune, des traces sombres pouvant correspondre à des écoulements et des flaques d'eau liquide **1**. L'analyse de la réflectance l'a confirmé : à la surface de Mars existent bien de petites étendues d'eau liquide, variant avec la saison **2**. La découverte est historique : ce sont les premières mares martiennes !

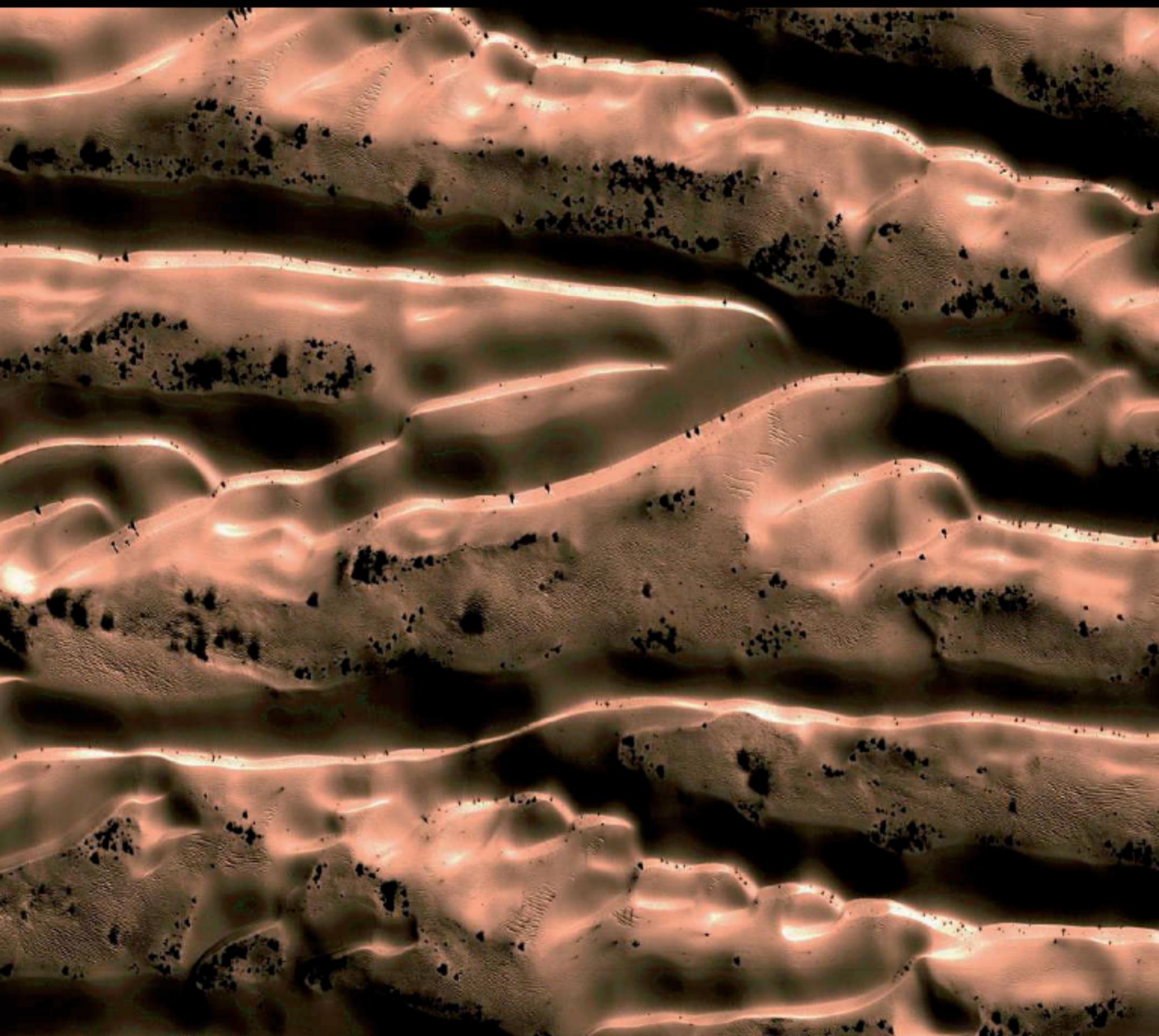


2



→ saumure puisse exister en phase liquide en de nombreux endroits de la planète rouge. Et il n'y a dès lors plus qu'un pas à franchir pour imaginer que des micro-organismes extrémophiles puissent y exister.

Car le sel n'empêche pas la vie, comme en témoigne le lac Don Juan, niché au fond d'une vallée de la terre Victoria, en Antarctique (voir photo p. 78). Découvert en 1961, ce lac possède une salinité record de 671 g/kg (contre 35 en moyenne pour les océans et 300



pour la mer Morte). Et pourtant, malgré ces conditions extrêmes, les expéditions réalisées ont permis de constater la présence d'une micro-flore tantôt abondante avec algues bleues et vertes et champignons, tantôt clairsemée et limitée à des bactéries. Et même si cette vie semble avoir disparu depuis vingt ans, alors que le niveau du lac a considérablement baissé, cela suffit à faire de la saumure martienne un nouveau réceptacle des rêves de vie extraterrestre.

AC - NASA/JPL

Encore fallait-il s'assurer que les taches en mouvement sur les pieds de la sonde sont bien de la saumure liquide.

#### UN PHÉNOMÈNE CONFIRMÉ

Pour ce faire, Manish Mehta a reconstitué en laboratoire des solutions de perchlorate de sodium, un des sels détectés par *Phoenix*, dans des conditions environnementales similaires à celles du site d'atterrissement de la sonde. Puis il s'est intéressé à leur albédo, c'est-à-dire

la façon dont elles réfléchissent la lumière, afin de définir des marqueurs photométriques permettant de reconnaître ce mélange lorsqu'il est sous forme liquide, et non sous forme de solution gelée ou de glace pure. Il ne restait alors plus qu'à appliquer ces marqueurs aux images de *Phoenix*, avec l'espérance de voir apparaître les fameux albédos. Bingo ! La confirmation est finalement tombée que, durant quelques jours, la boue salée était bien sous une phase liquide.

→

→ Le phénomène s'explique assez bien : lorsque la sonde s'est posée en dispersant les poussières et en faisant fondre la glace, la boue chargée en sel a été projetée sur les montants. L'eau contenue dans cette boue a été vaporisée, ne laissant que des taches chargées en sel. À l'instar des déshumidificateurs placés dans une pièce humide, cette matière saline s'est ensuite gorgée d'eau par adsorption, en la puisant dans l'atmosphère environnante, ce qui explique le grossissement initial des gouttes et leur assombrissement au fur et à mesure de la dissolution des sels. Plus tard, ces gouttes ont gelé et la glace d'eau ainsi formée s'est sublimée, d'où la diminution de taille.

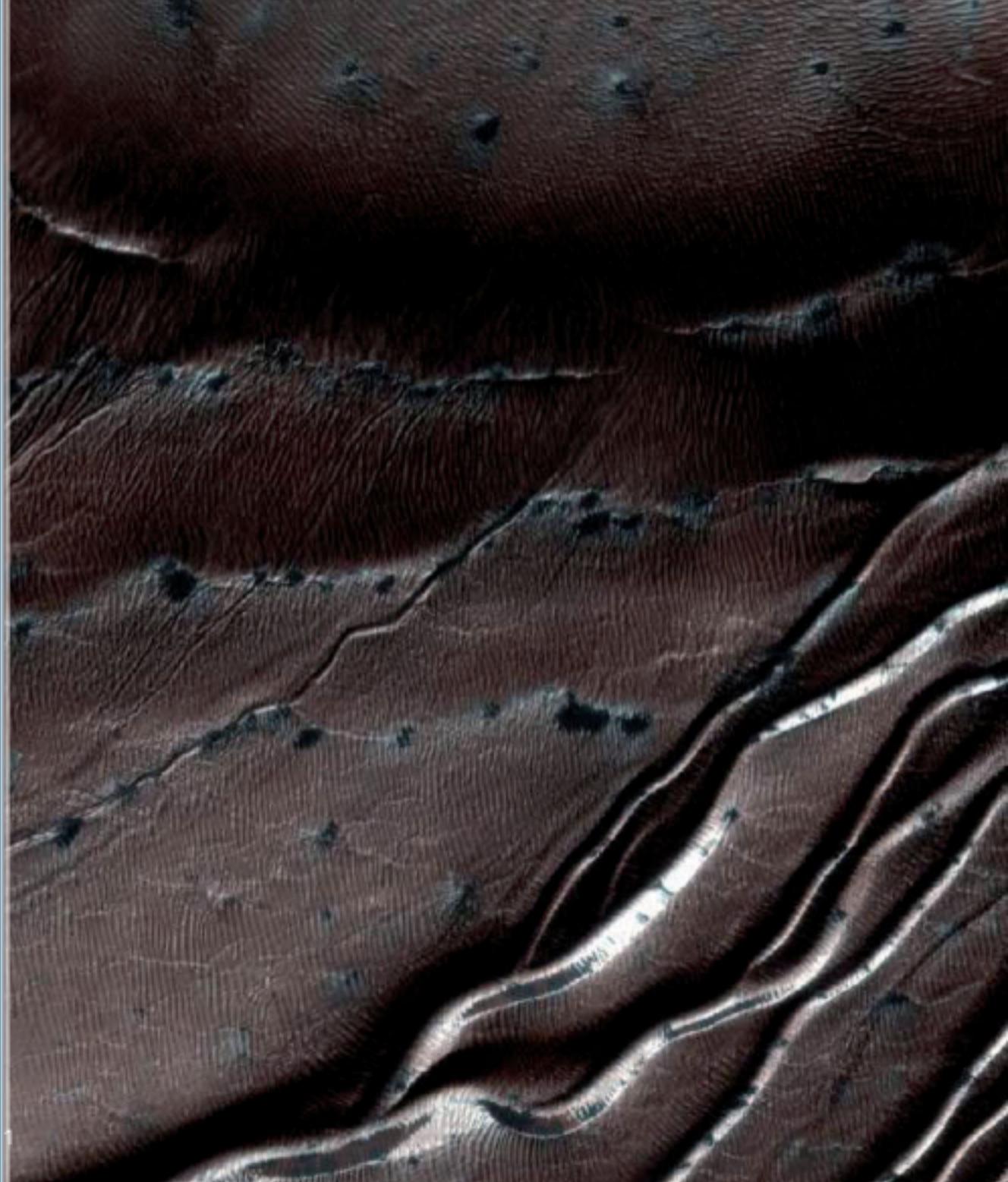
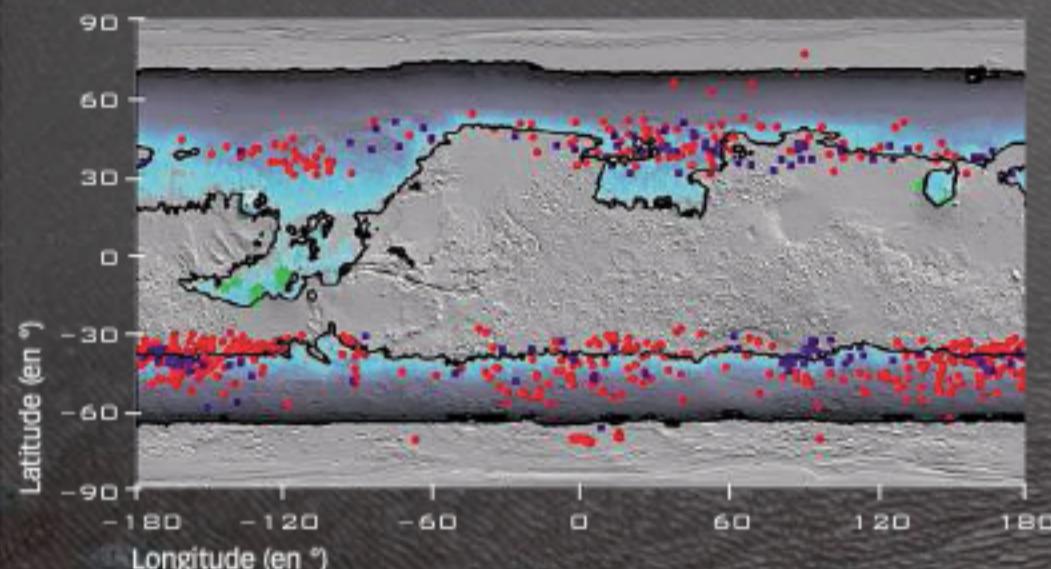
#### MÉTHODE DE DÉTECTION

Mais revenons à Nilton Rennó et Manish Mehta. Les deux chercheurs savent maintenant que l'environnement et la constitution de la planète rouge autorisent l'existence de solutions très salines en phase liquide. Et ils ont même une méthode fiable pour les repérer. Il n'en fallait pas davantage pour qu'ils partent à la recherche de ces reflets caractéristiques. Ainsi vont-ils passer les images satellite de la surface de Mars au crible de leur marqueur. Le cratère Richardson est une cible de choix : ce bassin de 55 km de diamètre est situé à haute latitude dans l'hémisphère austral, ce qui autorise son survol fréquent par la sonde MRO (*Mars Reconnaissance Orbiter*) qui gravite en orbite polaire. Bonne pioche : sur les images prises à très haute résolution, les deux chercheurs ont la joie de repérer la présence de zones ayant les mêmes caractéristiques →



## De nouvelles analyses remettent les ravines au premier plan

Découvertes en 2000, ces ravines continuent d'alimenter le débat, certains sont convaincus qu'elles sont les traces d'écoulement d'eau liquide, tandis que d'autres penchent vers des écoulements de dioxyde de carbone, de sable, de glace ou de débris. Mais selon une étude récente, la majorité des ravines repérées à la surface martienne (points rouges et bleus) se trouvent dans des régions de moyennes latitudes (zones bleu clair), dont la température est compatible avec la présence d'eau liquide.





→ photométriques que les gouttelettes de saumure, au cœur de certaines des traînées sombres. Ils distinguent en particulier des écoulements de saumure liquide le long des dunes. Et, à leur pied, plusieurs taches rondes, des flaques saisonnières dont la plus grande atteint presque 25 m de diamètre. Autrement dit, des mares martiennes !

#### DES RÉSERVES SOUTERRAINES ?

La formation de ces mares pourrait s'expliquer par l'adsorption de l'humidité de l'atmosphère par les sels présents à la surface de la planète. Nilton Rennó y voit un indicateur de "*l'omniprésence de saumures liquides à proximité de sa surface*". Les quelques mètres cubes de liquides perçus sur les images pourraient alors être la face visible de grandes réserves souterraines potentiellement capables de soutenir une biochimie encore totalement inconnue.

Une théorie renforcée par le fait que les saumures liquides sont régulièrement évoquées pour expliquer les fameuses ravines martiennes qui ont défrayé la chronique il y a dix ans. Repérées pour la première fois en 2000, celles-ci ont d'abord



#### LE SEL N'EMPÈCHE PAS LA VIE !

→ Situé en Antarctique, le lac Don Juan possède une salinité record de 671 g/kg (contre 35 en moyenne pour les océans). Pourtant, une microflore, disparue il y a une vingtaine d'années, y a été décelée...

dioxyde de carbone en phase solide ou sous pression (voir *Science & Vie* n° 1021, p. 106), puis d'écoulements secs de sable et de débris,

ont montré que des écoulements de solutions salines, chargées en sulfate de fer, permettraient d'expliquer pourquoi les ravines sont principalement situées dans des zones de moyennes latitudes : ce sont les seules qui offrent à cette saumure des températures lui permettant d'exister sous forme liquide.

Ce débat sur les ravines est loin d'être clos : fin 2010, une étude menée par le Jet Propulsion Laboratory et l'université d'Arizona redonnait la priorité au givre

## De l'eau... salée : telle serait alors la pièce manquante du puzzle martien

été interprétées comme des signes de la présence de poches d'eau liquide, voire d'une nappe phréatique (voir *Science & Vie* n° 995, p. 56). Une théorie contestée dès 2001, en faveur d'écoulements de

ou même de permafrost et de neige en cours de sublimation.

Mais les tenants d'un écoulement liquide n'ont pas abandonné. Ainsi, en 2009, Vincent Chevrier et Travis Altheide, de l'université de l'Arkansas,



UNIV OF GEORGIA - NASA/JPL

carbonique, dont l'accumulation en hiver provoquerait des glissements de terrain. Mais Nilton Rennó espère que sa découverte suffira à relancer la recherche de vie martienne: "Un grand nombre de preuves physiques et thermodynamiques montrent maintenant que la saumure pourrait en réalité être courante sur Mars. Certains scientifiques n'étaient pas convaincus, mais les preuves se sont accumulées et aucun article à l'encontre de nos découvertes n'a été publié dans la →



## DÉTECTOR UNE VIE FOSSILE RESTE LA PRIORITÉ

Actuellement, la recherche de la vie sur Mars se concentre sur son passé lointain. L'analyse des terrains, réalisée par le spectromètre Omega de Mars Express, a mis en évidence de nombreuses traces de systèmes aquifères anciens, notamment des dépôts d'argiles vieux de 4 milliards d'années. C'est vers ce type de terrain que sera envoyé le rover Curiosity, alias MSL (Mars Science Laboratory), dont le lancement est prévu en novembre. La sélection sera faite en mars entre d'anciens deltas de fleuves, probablement riches en sédiments, et le fond d'un océan fossile, où les traces d'une vie éventuelle ont pu s'accumuler il y a plus de 3,5 milliards d'années. Curiosity sera suivi en 2018 par le rover d'exobiologie européen ExoMars accompagné de son homologue américain MAX-C. Partisan de cette recherche de vie fossile, l'astrophysicien Francis Rocard reconnaît cependant qu'elle sera difficile à caractériser et à détecter, "à moins qu'on ne trouve un lit de coquillages!"

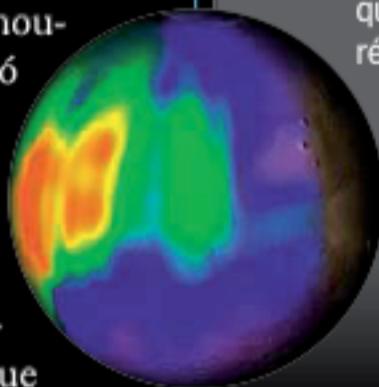
Le rover baptisé Curiosity devrait explorer la surface de Mars dès 2012.

→  *presse scientifique de référence.* ” Et cela permettrait d’expliquer aussi la présence de méthane, détectée il y a deux ans dans l’atmosphère de la planète (voir encadré ci-contre). La découverte des mares martiennes ne sera soumise à la communauté des planétologues qu’en avril, lors d’un colloque de géophysique, à Vienne (Autriche), mais l’enthousiasme de Nilton Rennó est d’ores et déjà loin d’être partagé par tous, et en particulier par plusieurs planétologues européens traditionnellement plus prudents que leurs homologues américains.

*“Les conditions de température et de pression sur Mars étant proches du point triple de l’eau, il peut y avoir de l’eau liquide sur Mars, mais elle ne peut pas demeurer bien longtemps sous cette phase”, souligne Jean-Pierre Bibring, de l’Institut d’astrophysique spatiale du CNRS à Orsay et auteur du livre *Mars, planète bleue?* (éd. Odile Jacob).*

#### PRUDENCE DES SCIENTIFIQUES

Francis Rocard, responsable de l’exploration du système solaire au Centre national d’études spatiales (Cnes), ne remet pas en question la découverte de saumure liquide,



## Si vie martienne il y a eu, il s’agit toutefois de savoir où la chercher...

mais reste prudent sur ses implications biologiques: “Des étendues saisonnières sont peu propices à l’apparition de la vie qui nécessiterait plutôt une masse liquide permanente sur plusieurs centaines de milliers d’années.” Les conditions nécessaires à cette présence pérenne

## LE MÉTHANE MARTIEN POURRAIT PROVENIR D’UNE VIE ACTUELLE

En mars 2004, des concentrations de méthane étaient détectées dans l’atmosphère de Mars. Or, puisque celui-ci doit disparaître en quatre siècles par réaction photochimique, c’est donc que ce méthane est de production récente, soit d’origine volcanique, soit

biologique. Début 2009, des mesures effectuées par l’Observatoire Keck, à Hawaï, confirmaient un dégagement de méthane attribué à la fonte de glaces fossiles sous l’effet d’un volcanisme actif qui reste à déterminer. Mais, pour Nilton Rennó, les saumures apporteraient une meilleure explica-

tion: “Si des phénomènes géothermiques étaient à l’origine de ce méthane, ce dégagement s’accompagnerait d’autres gaz, qui n’ont pas été repérés. La piste des processus géochimiques ou biologiques en phase aqueuse semble donc plus prometteuse.”

d’eau liquide “n’ont pas été réunies depuis plusieurs milliards d’années”, renchérit Jean-Pierre Bibring. Ce dernier ne croit pas non plus à la théorie d’une “nappe phréatique martienne”: “Les radars Marsis (sur l’orbiteur européen Mars Express) et Sharad (sur MRO) ont sondé sous la surface de Mars jusqu’à plusieurs centaines de mètres, voire jusqu’à 5 km pour Marsis sans trouver la moindre poche d’eau liquide.”

Il faudra de toute façon attendre la publication des résultats de Rennó pour que le débat s’engage véritablement. Lequel promet d’être animé. Car, actuellement, la recherche de

Conseil national de recherches américain met la dernière main à la stratégie d’exploration de Mars sur la période 2013-2022, dont la publication est attendue en mars, certains astrobiologistes demandent un nouveau changement de cap. Pour plusieurs membres de l’équipe de la mission Phoenix, la sonde a montré que Mars est bien plus apte à abriter la vie – ou à l’avoir récemment abritée – qu’on ne le pensait jusque-là. Selon eux, il vaudrait donc mieux chercher directement ces éventuelles traces de vie récentes. “Il est temps de chercher de la vie en cherchant de la vie”, résume Carol Stoker, du centre Ames de la Nasa. Bref: entre astrobiologistes partisans d’une recherche sèche ou liquide, le débat promet d’être vif et les toutes récentes découvertes sur les saumures liquides à la surface de Mars risquent de le pimenter. Décidément, Mars mérite bien son nom guerrier: elle qui semblait décevoir son monde ces derniers temps est redevenue digne de toutes les attentions.

# ABONNEZ-VOUS À SCIENCE & VIE

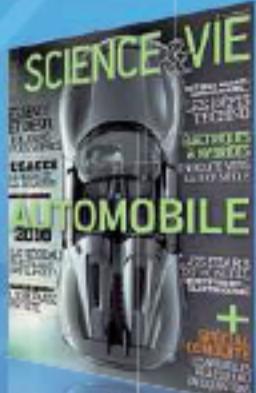
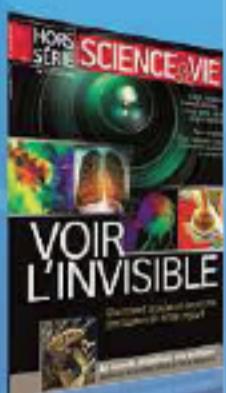
## 1 AN - 18 NUMÉROS

12 mensuels + 4 hors-séries + 2 éditions spéciales

(50,40€\*)

(19,60€\*)

(11,80€\*)



SEULEMENT

# 59€

Au lieu de 111,00€\*

UNE RÉDUCTION  
EXCEPTIONNELLE  
DE PLUS DE

# 46%



## LA STATION D'ACCUEIL

POUR: IPOD, IPHONE,  
LECTEUR MP3, ETC.

Ecoutez la musique de votre lecteur MP3 ou de votre téléphone partout,  
grâce aux hauts-parleurs de cette station d'accueil.



> Station d'accueil pour Ipod, Iphone, lecteur audio/video, prise jack 3,5 mm, LED de fonctionnement, 4 haut-parleurs intégrés pour un son de qualité.

> dimensions • 24 x 14,5 x 8,5 cm

## BULLETIN D'ABONNEMENT

À compléter et à retourner accompagné de votre règlement dans une enveloppe affranchie à:  
SCIENCE & VIE – TSA 10005 – 8, rue François Ory – 92543 MONTROUGE Cedex.

Oui, Je profite de votre offre exceptionnelle :

Je m'abonne à Science & Vie pour 1 an (12 n° + 4 HS + 2 ES) + la station d'accueil  
pour 59€ seulement au lieu de 111,00€\* (prix public) soit 46 % de réduction

Je préfère seulement m'abonner à Science & Vie pour 1 an (12 n° + 4 HS + 2 ES)  
pour 58 € au lieu de 81,80 €\* (prix kiosque) soit 24 % de réduction

Je commande uniquement la station d'accueil au prix de 30 €\* et je joins à mon  
courrier le règlement total de ma commande.

Je règle par :

Chèque bancaire ou postal à l'ordre de Science & Vie     Carte bancaire

N°

Expire à fin

Date et signature obligatoires

Les 3 chiffres au dos de votre CB

Voici mes coordonnées :

Nom :

Prénom :

Adresse :

Complément d'adresse (résidence, lieu dit, bâtiment...)

Code Postal :

Ville :

Tél :

Grâce à votre n° de téléphone (portable) nous pourrons vous contacter si besoin pour le suivi de votre abonnement

E-mail :

Je souhaite recevoir des newsletters du magazine et des offres promotionnelles des partenaires de Science & Vie (groupe Mondadori)

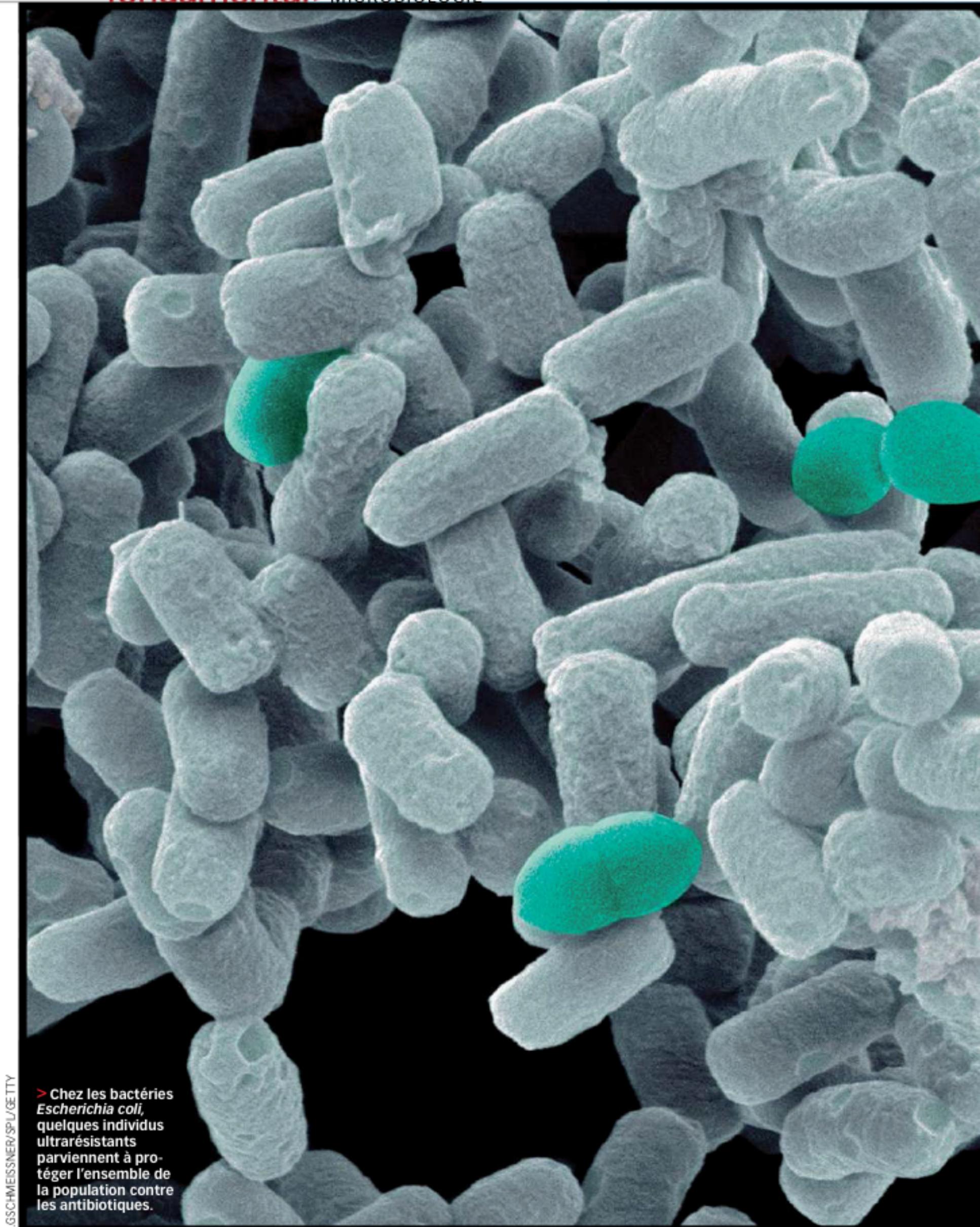
ABONNEZ-VOUS EN LIGNE SUR LE SITE

**www.kiosquemag.com**

C'EST RAPIDE, PRATIQUE, FACILE ET SÉCURISÉ

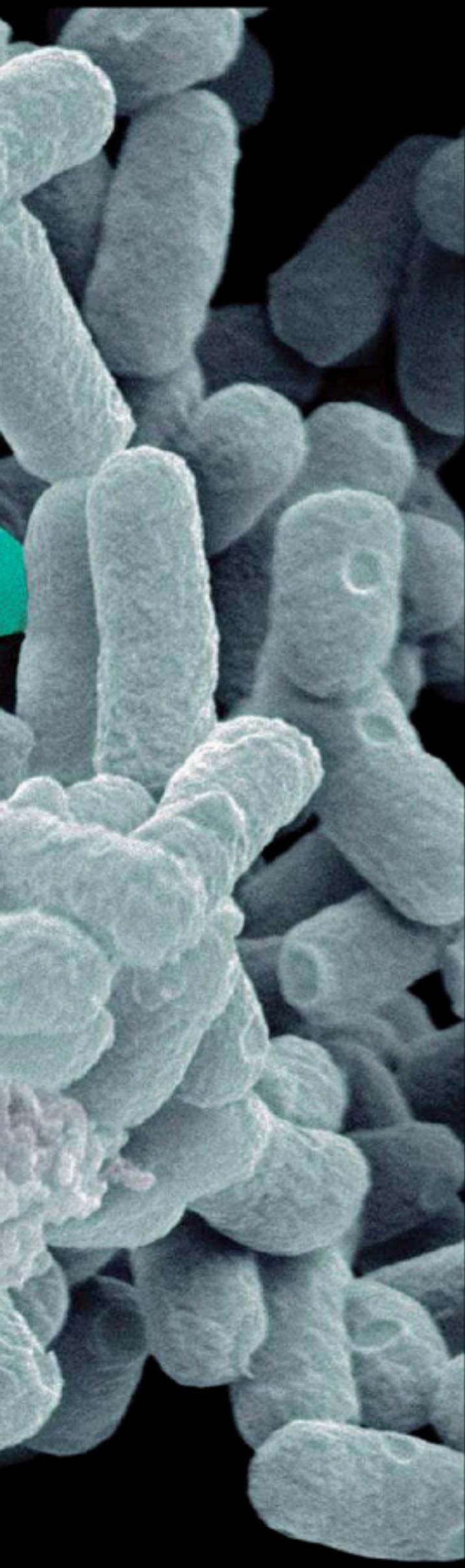


\*Prix public et prix de vente en kiosque. Offre valable pour un 1er abonnement livré en France métropolitaine jusqu'au 31/05/2011 et dans la limite des stocks disponibles. Je peux acquérir chacun des numéros mensuels de Science & Vie au prix de 4,20€, chacun des hors-série au prix de 4,90€ et les éditions spéciales au prix de 5,90€. La station d'accueil vous sera adressée dans un délai de 4 à 6 semaines après réception de votre commande. Vous ne disposez pas du droit de rétractation pour l'abonnement au magazine. Vous disposez du droit de rétractation pour la station d'accueil. Conformément à la loi «informatique et libertés» du 6 janvier 1978, cette opération donne lieu à la collecte de données personnelles pour les besoins de l'opération ainsi qu'à des fins de marketing direct. Ces informations sont nécessaires pour le traitement de votre commande. Vous disposez d'un droit d'accès et de rectification des informations vous concernant ainsi que votre droit d'opposition, en écrivant à l'adresse ci-après. Vous êtes susceptible de recevoir des propositions commerciales de notre société pour des produits et services analogues à ceux objet de l'opération. Si vous ne le souhaitez pas, veuillez cocher la case ci-contre. Science & Vie – Service Abonnements Science & Vie - TSA 10005 - 8, rue François Ory - 92543 MONTROUGE Cedex.



SGSCHMEISSNER/SPUTNIK/GETTY

> Chez les bactéries *Escherichia coli*, quelques individus ultrarésistants parviennent à protéger l'ensemble de la population contre les antibiotiques.

**REPÈRES**

*La découverte du premier antibiotique – la pénicilline – en 1928 a eu comme conséquence l'apparition, chez les bactéries, des premières résistances. Depuis, la course ne s'est plus arrêtée entre les scientifiques et les bactéries. Et celles-ci gardent souvent un coup d'avance. Dernier en date : une équipe vient de découvrir que le sacrifice de quelques bactéries résistantes permet à toute une colonie d'être protégée...*

# Bactéries

## L'altruisme est leur arme secrète

Par Marine Corniou

Jusqu'à présent, pour les médecins, les choses étaient simples. Une infection bactérienne pouvait être soit résistante à un antibiotique, soit y être sensible. Et un simple prélèvement sur le patient suffisait à le savoir. Or, voici qu'une étude vient d'ébranler cette certitude manichéenne, en montrant qu'au sein d'une colonie, les bactéries sont loin d'avoir toutes le même degré de résistance aux antibiotiques. Pis, il suffit de quelques "superbactéries" résistantes pour rendre l'ensemble de la population invulnérable. De quoi fausser les prélèvements, berner les médecins... et changer radicalement le regard des chercheurs sur les mécanismes associés à la résistance bactérienne.

Cruciale pour la santé publique, cette découverte est, comme cela arrive souvent en science, due au hasard. Et à l'intuition de l'équipe de James Collins, de l'université de Boston, qui souhaitait en effet étudier les mécanismes génétiques à l'origine de la résistance aux antibiotiques chez la bactérie *Escherichia coli*, notamment responsables d'infections urinaires. Une bonne idée. Car après avoir exposé des cultures d'*E. coli* à un antibiotique, la norfloxacine, l'équipe réalise des prélèvements réguliers de bactéries afin de repérer l'émergence d'individus résistants... et fait alors une découverte : "A notre grande surprise, raconte James Collins, au bout de quelques jours, la plupart →

> L'antibiogramme permet de connaître, selon la taille de l'aureole, la sensibilité des bactéries à différents antibiotiques.

→ des bactéries que l'on testait individuellement étaient moins résistantes que l'ensemble de la population dont elles provenaient." Autrement dit, en isolant les bactéries du reste de la colonie, celles-ci mourraient en présence d'une faible concentration d'antibiotique, qui ne les affectait pas quelques minutes avant le prélèvement. Comme si elles avaient besoin du reste de leurs congénères pour combattre le médicament...

Ce n'est qu'en multipliant les prélèvements que les chercheurs sont parvenus à mettre la main sur quelques bactéries extrêmement résistantes. "Elles représentaient moins de 1 % des individus testés, et leur capacité de résistance était plus élevée que celle de l'ensemble de la population", souligne le biologiste. Ce qui a intrigué les chercheurs: ces superbactéries seraient-elles capables de "booster" les

## > FAITS ET CHIFFRES

Aux Etats-Unis et en Europe, **60 % des infections nosocomiales** sont dues à des bactéries résistantes à au moins un antibiotique. Le développement mondial de nouveaux antibiotiques a diminué de **75 %** depuis 1983.

Des bactéries *Escherichia coli* *NDM-1* potentiellement résistantes à tous les antibiotiques connus envahissent le monde depuis **décembre 2009**.

autres  
et de les  
protéger de  
l'antibiotique?

Pour en avoir le cœur net, les scientifiques ont analysé les substances produites par ces bactéries résistantes. Et ils ont découvert qu'en présence de norfloxacine, elles fabriquent en abondance une molécule, l'indole, qui est une arme de choix pour survivre dans un milieu hostile. *“Normalement, les antibiotiques rendent les bactéries incapables de produire cette molécule. Or, les bactéries hautement résistantes ont acquis une mutation génétique qui les rend insensibles à l'antibiotique. Elles peuvent donc produire à nouveau de l'indole”*, explique James Collins. Lequel suppose alors que l'indole produit en grande quantité pourrait



bien profiter à tous les congénères. Une hypothèse vérifiée lorsque les scientifiques isolent des bactéries sensibles à l'antibiotique et les "inondent" d'indole : comme par miracle, celles-ci deviennent subitement résistantes. Et pour cause : l'indole permet aux bactéries vulnérables d'activer des pompes situées dans leur membrane, baptisées pompes d'efflux, qui expulsent littéralement l'antibiotique hors de la bactérie. Et le rendent dès lors inefficace. *"Ainsi, en produisant de l'indole pour le reste de la population, les rares individus résistants permettent de protéger les 99 % restants, résume*



◀ C'est en étudiant les mécanismes de résistance aux antibiotiques que James Collins (à g.) et Henry H. Lee (à dr.) ont découvert par hasard l'existence de bactéries "altruistes".

▼ Cette découverte pourrait modifier la prise en charge et le traitement des infections nosocomiales résistantes aux antibiotiques.

le chercheur. Ces bactéries sont en quelque sorte les 'leaders' de la résistance."

Une découverte qui va totalement à l'encontre de ce que l'on pensait jusqu'ici. Car il était largement admis qu'en présence d'un antibiotique, les bactéries "sensibles" étaient toutes éliminées, et que seules survivaient les bactéries ayant acquis une mutation génétique leur permettant de résister au traitement. Mais cette étude prouve que les bactéries les plus faibles ne meurent pas, au contraire. Elles continuent à se multiplier, protégées par le "bouclier" d'indole. "Ce travail suggère qu'en testant la résistance de quelques bactéries isolées, on risque de se tromper sur la véritable nature de l'infection", avertit James Collins. Une crainte partagée par d'autres chercheurs, dont Marie-Cécile Ploy, microbiologiste et directrice de recherche à l'Inserm à Limoges, déroutée par ces résultats. "En médecine, on part du postulat que, en cas d'infection, la population de bactéries est homogène.

Ainsi, lors d'un prélèvement, de crachat ou d'urine par exemple, on ne teste qu'une petite partie des bactéries et on extrapole les résultats, explique-t-elle. Cette étude remet en question la pertinence de ce type de prélèvements. Imaginons qu'on ne prélève que les bactéries non résistantes, qui sont d'ailleurs majoritaires : on conclut que l'antibiotique va fonctionner chez le patient, ce qui ne sera probablement pas le cas." Un risque d'erreurs médicales non négligeables. D'autant plus que ce comportement d'entraide n'est pas uniquement lié à la norfloxacine. Les scientifiques l'ont aussi observé en utilisant de la gentamicine, un autre antibiotique.

#### UN VRAI SENS DU SACRIFICE

"Jusqu'ici, on avait tendance à considérer que les bactéries agissaient de façon individuelle. Ce comportement 'altruiste' est une surprise", s'étonne Marie-Cécile Ploy. Pourtant, le fait que les bactéries coopèrent est connu depuis longtemps. Ainsi, de nombreuses espèces de bactéries utilisent le "quorum sensing", une stratégie qui leur permet d'évaluer la densité de la population, en produisant des petites



molécules. Il s'agit de signaux chimiques qui indiquent la densité bactérienne ; lorsqu'elle dépasse un certain seuil (le quorum), les bactéries activent alors de façon coordonnée leurs gènes de virulence, responsables de la production de toxines. Cette coordination permet à la population bactérienne de libérer une grande quantité de toxines en un seul coup. Cependant, la découverte de l'équipe de Boston est sans précédent : dans ce cas, il s'agit d'une coopération "altruiste", qui coûte cher aux bactéries bienfaitrices. "Les bactéries qui produisent de l'indole pour la →

## UNE ABERRATION ÉVOLUTIVE ?

Dans le monde des bactéries comme ailleurs, la théorie de Darwin pourrait se résumer ainsi : les individus les mieux adaptés répandent peu à peu leurs gènes dans toute la population. Pourtant, l'étude des chercheurs de Boston sur les bactéries résistantes va à l'encontre de cette idée. Car en produisant de l'indole pour la communauté, les bactéries résistantes, *a priori* les mieux adaptées, se divisent moins vite, et ont du mal à transmettre

leurs gènes. Un tel sacrifice pourrait ressembler, à première vue, à une aberration évolutive. "Mais ce n'est pas vraiment le cas", explique Steve Diggle, spécialiste de l'évolution sociale des bactéries à l'université de Nottingham. *Car il s'agit d'un cas de sélection de parentèle, un processus évolutif dans lequel un comportement altruiste peut être sélectionné par l'évolution s'il bénéficie à des individus très proches sur*

*le plan génétique.*" Autrement dit, en se sacrifiant pour sa colonie, la superbactérie favorise la reproduction de ses sœurs, dont le "lot" de gènes est équivalent. Un exemple très proche de celui des soldats termites de l'espèce *Globitermes sulphureus* qui, pour défendre leurs colonies contre les fourmis, éjectent une sorte de "glue". Cette éjection est parfois si violente que les termites explosent et y laissent la vie, se sacrifiant pour leur colonie !



→ communauté se multiplient moins vite que les autres", observe James Collins. En d'autres termes, elles se sacrifient pour favoriser la croissance de leurs voisines...

### PAS QUE DES AVANTAGES...

Mais à l'échelle de la population, cette stratégie n'a que des avantages. "Il suffit que quelques mutants émergent pour que toute la colonie devienne instantanément résistante, ce qui est plus rapide que d'attendre que les rares bac-

mutation permet par exemple à la bactérie d'empêcher l'antibiotique de pénétrer dans sa paroi ou encore de dégrader le médicament avant qu'il n'atteigne sa cible. Mais en l'absence d'antibiotique, ces bactéries mutantes sont défavorisées, car les mutations sont coûteuses en énergie et altèrent l'ensemble du métabolisme. "Le fait de protéger les bactéries non mutées permet à la population d'être plus adaptable si les conditions du milieu changent", souligne James Collins.

nouvelles stratégies de lutte antibactérienne. "Si l'on parvient à empêcher les bactéries mutantes de produire de l'indole, on réduira la résistance du reste de la population, espère James Collins. Cela ne permettra pas de tuer les bactéries, mais plutôt d'augmenter l'efficacité des antibiotiques."

Mais avant toute chose, l'équipe va chercher à savoir si ce comportement existe chez d'autres espèces de bactéries. En parallèle, les chercheurs ont commencé à développer des tests permettant d'évaluer de manière globale la résistance aux antibiotiques d'une population bactérienne. Mieux identifier l'ennemi avant d'instaurer un traitement est devenu une question de vie ou de mort, à l'heure où les bactéries résistantes se répandent à grande vitesse et alors que le monde médical craint une crise sanitaire majeure.

## De nouvelles stratégies de lutte antibactérienne peuvent être envisagées

téries résistantes se multiplient et remplacent peu à peu toute la population, souligne James Collins. En outre, cette stratégie permet de maintenir l'intégrité génétique des bactéries."

Un point important pour assurer la "bonne santé" de l'espèce. Car, pour devenir résistantes à un antibiotique, les bactéries doivent subir une mutation de leur code génétique. Cette

Marie-Cécile Ploy y voit toutefois une nouvelle encourageante. "En santé publique, on se demande si, lorsqu'on cesse de consommer un antibiotique, les bactéries conservent les gènes de résistance ou si elles retrouvent leur sensibilité. Dans ce cas précis, il semble que la plupart des bactéries restent en fait non résistantes", précise-t-elle. La découverte de cette entraide permet aussi d'envisager de



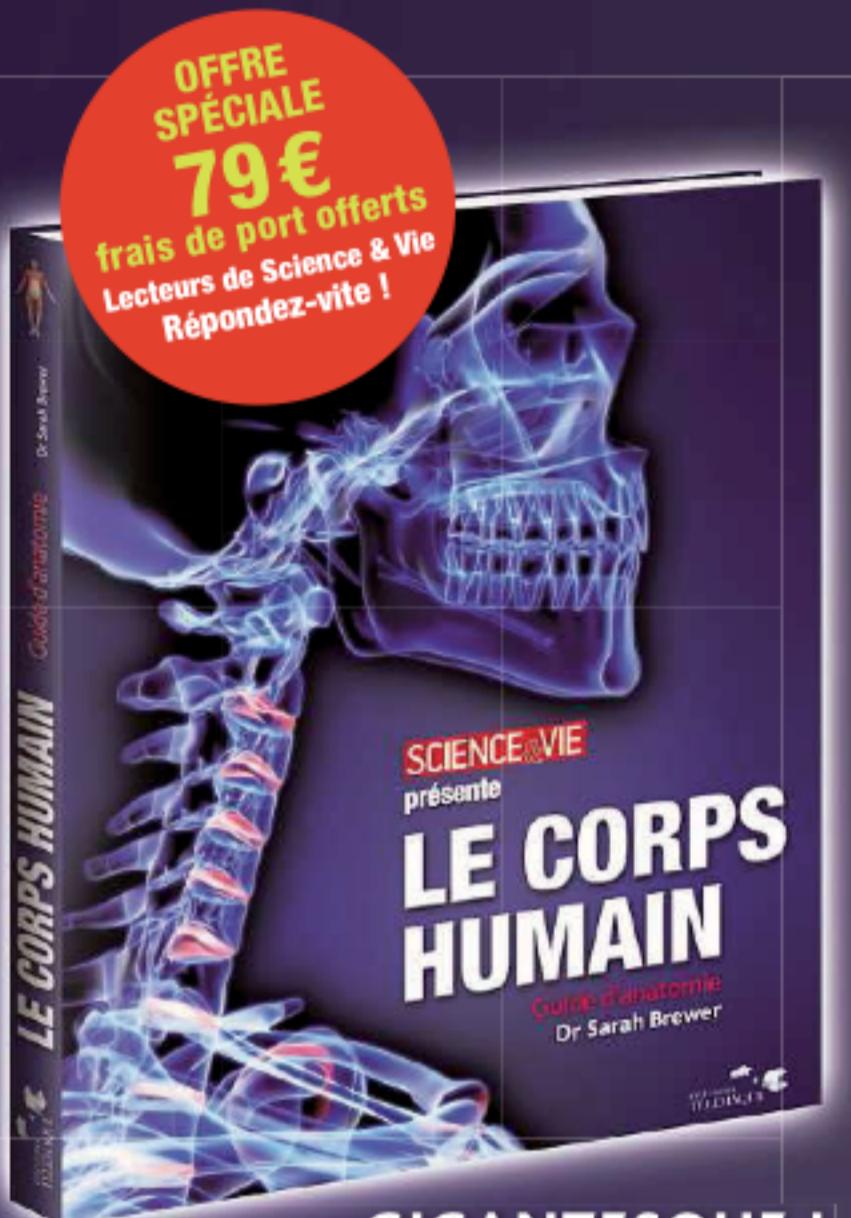
> EN SAVOIR PLUS

Une histoire de la résistance aux antibiotiques, Y. Michel-Briand, L'Harmattan, 2009.

## LE CORPS HUMAIN COMME VOUS NE L'AVEZ JAMAIS VU !

Une référence absolue en anatomie.

Un magnifique ouvrage pour tous, étudiants, praticiens ou simples passionnés de biologie humaine.



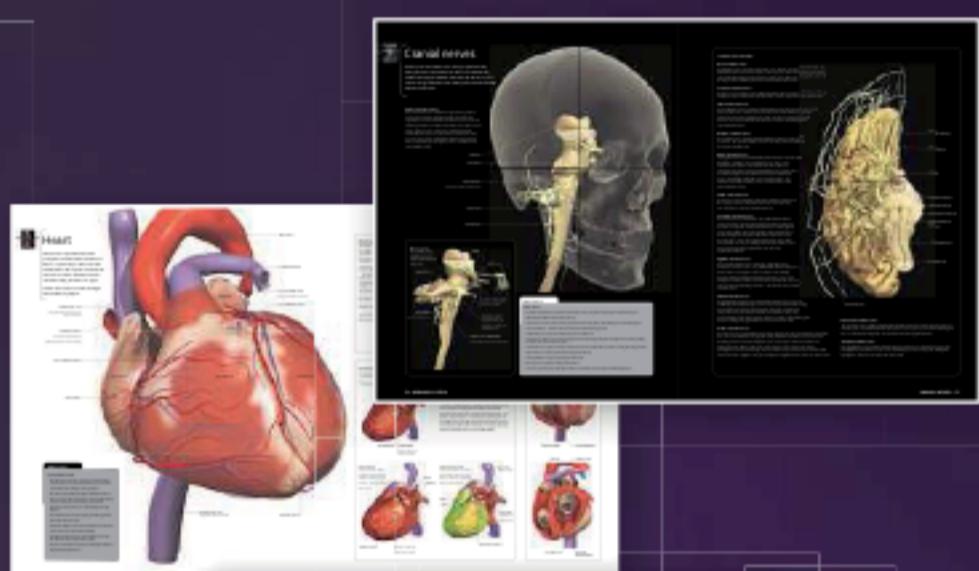
### LE CORPS HUMAIN

Guide d'anatomie  
Dr Sarah Brewer

**GIGANTESQUE !**

Grand format : 35,3 x 43 cm – 4 kg !

176 pages, plus de 400 illustrations



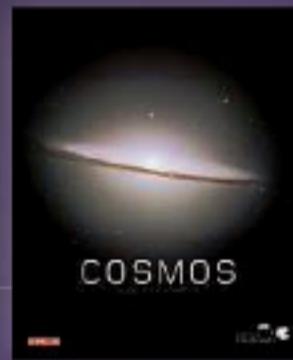
Découvrez les images du livre sur [www.science-et-vie.com](http://www.science-et-vie.com)



« Ce superbe ouvrage constitue le point de départ le plus actuel des démarches entreprises afin d'offrir une vision du corps humain... »

**Axel Kahn**, pdt de l'université Paris Descartes

#### DANS LA MÊME COLLECTION



### BON DE COMMANDE

Complétez et retournez votre bon accompagné de votre règlement dans une enveloppe non-affranchie à Science et Vie – Service VPC – TSA 10005 – 8 rue François Drouet – 92543 Montrouge cedex

Oui, Je désire commander \_\_\_\_\_ exemplaire(s) de **LE CORPS HUMAIN** au prix de souscription de 79€ l'unité (frais de ports offerts)

Mes coordonnées :

Nom : \_\_\_\_\_ Prénom : \_\_\_\_\_

Adresse : \_\_\_\_\_

Complément d'adresse (résidence, lieu dit, bâtiment) : \_\_\_\_\_

Code Postal : \_\_\_\_\_ Ville : \_\_\_\_\_

Téléphone : \_\_\_\_\_ E-mail : \_\_\_\_\_

J'accepte que mon n° de téléphone et mon e-mail soient transmis à des partenaires

Mode de règlement :

- chèque bancaire ou postal à l'ordre de Science & Vie  
 carte bancaire n° \_\_\_\_\_ Expire le : \_\_\_\_\_ Code crypto : \_\_\_\_\_ (les 3 chiffres au dos de votre CB)

Date et signature obligatoires



GETTY



# Neurosciences

## Il faut se méfier des souris de laboratoire

Par Olivier Donnars

Elle peut être schizophrène, hyperactive, alcoolique... La souris de laboratoire n'a plus grand-chose à voir avec la souris des champs. Après les avoir longuement sélectionnées génétiquement, les scientifiques classent désormais les souris en quelque 4000 grandes "familles" aux caractéristiques comportementales et physiologiques dûment répertoriées. En standardisant le plus possible leurs méthodes d'élevage et d'expérimentation, ils estiment avoir réussi à éliminer le hasard de la vie de leurs rongeurs. En effet, maîtriser l'hérité et l'environnement est indispensable à la bonne marche de la science, plus encore en neurosciences où l'on scrute le comportement des animaux pour en déduire un effet biologique :

comment, en effet, envisager de reproduire et donc de valider une expérience si l'on est incapable d'en préciser tous les paramètres ? Or, malgré tous leurs efforts, les neuroscientifiques ne sont pas à l'abri de mauvaises surprises : il suffit de modifications aussi infimes qu'insignifiantes dans l'environnement ou dans les soins prodigues aux souris pour que leur édifice expérimental s'en trouve fragilisé.

Ainsi, Diego Restrepo et son équipe de l'école de médecine de l'université du Colorado (Etats-Unis) viennent de mettre le doigt sur un détail qui pourrait remettre en question des années d'études et de découvertes sur l'agressivité et les interactions sociales : le système de ventilation des cages →

En standardisant l'existence de leurs souris, les chercheurs pensaient avoir éliminé le risque de biais expérimentaux. A tort...

**REPÈRES** Comprendre les rouages du cerveau humain en s'appuyant sur celui des rongeurs, c'est ainsi que procèdent les chercheurs en neurosciences, surtout depuis qu'ils estiment contrôler les gènes et l'environnement de leurs animaux. Or, de récentes découvertes contredisent leurs certitudes : chaque souris peut se révéler un "paramètre variable". Car, sans le savoir, les gestes les plus anodins peuvent dévoyer les expériences.



→ modifie le comportement des rongeurs, mais aussi leur développement cérébral. En se livrant à une étude sur l'agressivité des mâles, les chercheurs américains se sont rendu compte que quelque chose clochait. Dans leur laboratoire, les souris, toutes issues d'une même "famille" génétique, étaient enfermées soit dans des cages classiques sans ventilation, soit dans des cages bénéficiant d'un nouveau système de renouvellement de l'air. "Or, les mâles vivant dans les cages ventilées se montraient beaucoup plus agressifs avec de nouveaux congénères que ceux des cages non ventilées, explique Diego Restrepo. Contrairement à leur habitude, ces animaux attaquaient l'intrus à plusieurs reprises pendant une dizaine de secondes." Les chercheurs ont supposé que la différence pouvait être due à une perception différente des odeurs *via* la ventilation. Car chez les souris, les odeurs d'urine renseignent sur le comportement à adopter avec un individu. Elles le désignent notamment

comme partenaire sexuel ou, au contraire, comme un mâle concurrent à écarter. Pour en avoir le cœur net, Diego Restrepo décide alors d'observer les particularités neurologiques des animaux les plus agressifs. Verdict? Sous le microscope, une petite région cérébrale chargée d'analyser les odeurs – le bulbe olfactif – révèle de nettes différences selon le lieu d'élevage des rongeurs. "Les souris des cages ventilées montraient une diminution de la taille et de la quantité des zones du bulbe chargées d'analyser les odeurs d'urine", explique-t-il. L'identification d'un rival par son odeur devenant plus difficile, ils ont donc tendance à revenir "à la charge" contre lui plusieurs fois.

#### LES NEUROLOGUES S'INQUIÈTENT

Les conséquences de cette observation ne se limitent pas à une simple question d'odorat. Car l'altération du bulbe olfactif a un impact considérable pour un rongeur. Cet organe régit de nombreux comportements comme la recherche

◀ La façon de déplacer une souris n'est pas anodine; pourtant, aucun chercheur n'évoque ses manipulations dans ses comptes rendus.

> Diego Restrepo (université du Colorado) a montré que le système de ventilation d'une cage peut même influer sur le développement cérébral des souris.

de nourriture ou le sens de l'orientation. Ainsi, au cours d'un test dans un labyrinthe, un rongeur montrant des signes de perte de mémoire, comme dans la maladie d'Alzheimer, pourrait en fait souffrir d'une simple déficience de l'odorat lié à la ventilation de sa cage! De quoi faire trembler la neurologie sur ses bases? "La plupart des scientifiques aiment penser que l'environnement où leurs animaux sont élevés n'est pas une variable dans leurs expériences, relève Ron Frostig, professeur au département de neurobiologie et du comportement à l'université de Californie. Or ils devraient s'en inquiéter!"

En fait, l'idée que l'environnement du laboratoire puisse influencer sur le comportement des rongeurs ne date pas d'hier. En 1947, déjà, le neuropsychologue Donald Hebb avait remarqué que les rats rapportés du laboratoire pour amuser ses enfants résolvaient des tests comportementaux plus facilement que les autres. Par la suite, des biologistes remarquèrent que des cages équipées de roues et de tunnels stimulaient les

## UNE BASE DE DONNÉES GÉNÉTIQUES DES SOURIS

Tout connaître des souris de laboratoire... C'est l'ambitieux projet du Mouse Phenome Database (<http://phenome.jax.org/>) développé par le Jackson Laboratory, à Bar Harbor (Etats-Unis). Cette énorme

"nurserie", principale fournisseur de souris de laboratoire dans le monde, veut collecter toutes les informations disponibles sur la génétique, le phénotype, les conditions d'élevage et de croisement d'une dizaine de

lignées de souris. Les chercheurs disposeront ainsi d'éléments permettant de choisir une lignée de souris précise et pourraient espérer standardiser leurs protocoles d'expérimentation.



capacités cognitives des souris. Les modifications de l'habitat sont donc reconnues comme pouvant avoir un impact sur les animaux. Mais dans quelle mesure ? Rares sont les études qui se sont penchées sérieusement sur le sujet. Depuis les années 1960, les scientifiques considèrent que la standardisation des modes d'élevage – cages en plastique transparent, alimentation... – suffit à éviter les erreurs.

Pourtant, à la fin des années 1990, des souris réputées "alcooliques" et subitement devenues sobres avaient secoué la communauté scientifique. John Crabbe, du Centre de recherche sur l'alcoolisme à Portland (Etats-Unis), venait de mettre au point des souris déficientes en sérotonine, un neuromédiateur du cerveau. A la suite de cette mutation, ses souris semblaient particulièrement portées sur l'alcool. Le généticien pensait avoir enfin mis au point une lignée idéale pour étudier l'addiction à l'alcool. Avec deux autres laboratoires, il se lance alors dans de nouvelles expériences *a priori*

identiques. Sauf que... les rongeurs "alcooliques" dans son laboratoire se révèlent sobres ailleurs. Le biais semble lié à la façon dont ils sont manipulés chez John Crabbe : gravement allergiques aux poils de rongeurs, le chercheur et sa collaboratrice les manipulent très peu et toujours entièrement couverts de protections. Or, cet accoutrement et

## Tenir une souris dans la main ou par la queue peut changer les résultats

les rares contacts qu'il suggère auraient un impact sur le niveau de stress des animaux. Et, indirectement, sur leur niveau d'addiction...

Une hypothèse troublante qui pointe du doigt ce que les chercheurs préfèrent ne pas considérer comme un problème, certains qu'ils sont de contrôler l'environnement de leur animalerie et de leurs laboratoires modernes. "Une eau au goût inhabituel, une cage mal positionnée, l'odeur ou la façon dont ils manipulent les souris peuvent les perturber, précise Frédérique Datiche,

neurobiologiste au Centre européen des sciences du goût à Dijon. Désormais, ils évitent de changer de parfum et portent des blouses et des gants sans odeur."

Mais choisir des comportements standard plutôt que d'autres ne risque-t-il pas de créer un "univers" à part faussant là encore les résultats ? Deux neurobiologistes de l'université de Liverpool (Grande-Bretagne), Jane Hurst et Rebecca West, ont remarqué qu'il suffit de transporter un rongeur dans le creux de la main, au lieu de le soulever par la queue, pour transformer les résultats d'expériences sur le stress ou l'interaction sociale. Or, depuis toujours, saisir une souris par la queue est considéré comme un geste "anodin". Aucun chercheur ne précise d'ailleurs dans son compte rendu d'expérience la manière dont il manipule l'animal... Les deux Britanniques veulent donc passer au crible toutes les pratiques *a priori* "anodines" et mesurer leur influence sur la fiabilité des résultats.

Ces effets imperceptibles remettent-ils en question des années de recherches en neurosciences ? Les scientifiques se veulent rassurants. Comme Vincent Roy, chercheur au Laboratoire de psychologie et neurosciences de la cognition à Rouen :

*"La majorité des études sont valables car, la plupart du temps, des résultats discordants s'expliquent par l'utilisation d'une méthodologie différente."*

A l'instar d'autres, il préconise donc de confronter les méthodologies pour déceler les erreurs.

Diego Restrepo, lui, croit qu'il faut rapprocher la neurobiologie et l'éthologie de l'animal de laboratoire. Ce qu'il appelle la neuroéthologie permettra peut-être de comprendre ce qui ressemble de plus en plus à une espèce de souris à part, la "Mus laboratus". ■

La constante de gravitation, appelée constante de Newton ou  $G$ , est la doyenne des constantes fondamentales de la physique. Paradoxalement, elle est aussi la moins connue de toutes. Alors que la constante de Planck ou celle de la charge électrique élémentaire sont mesurées avec 6 chiffres après la virgule, on n'en connaît avec exactitude que 2 pour  $G$ . Un casse-tête que les dernières expériences ne font que compliquer...

# Gravité

## Sa mesure rend fous les physiciens

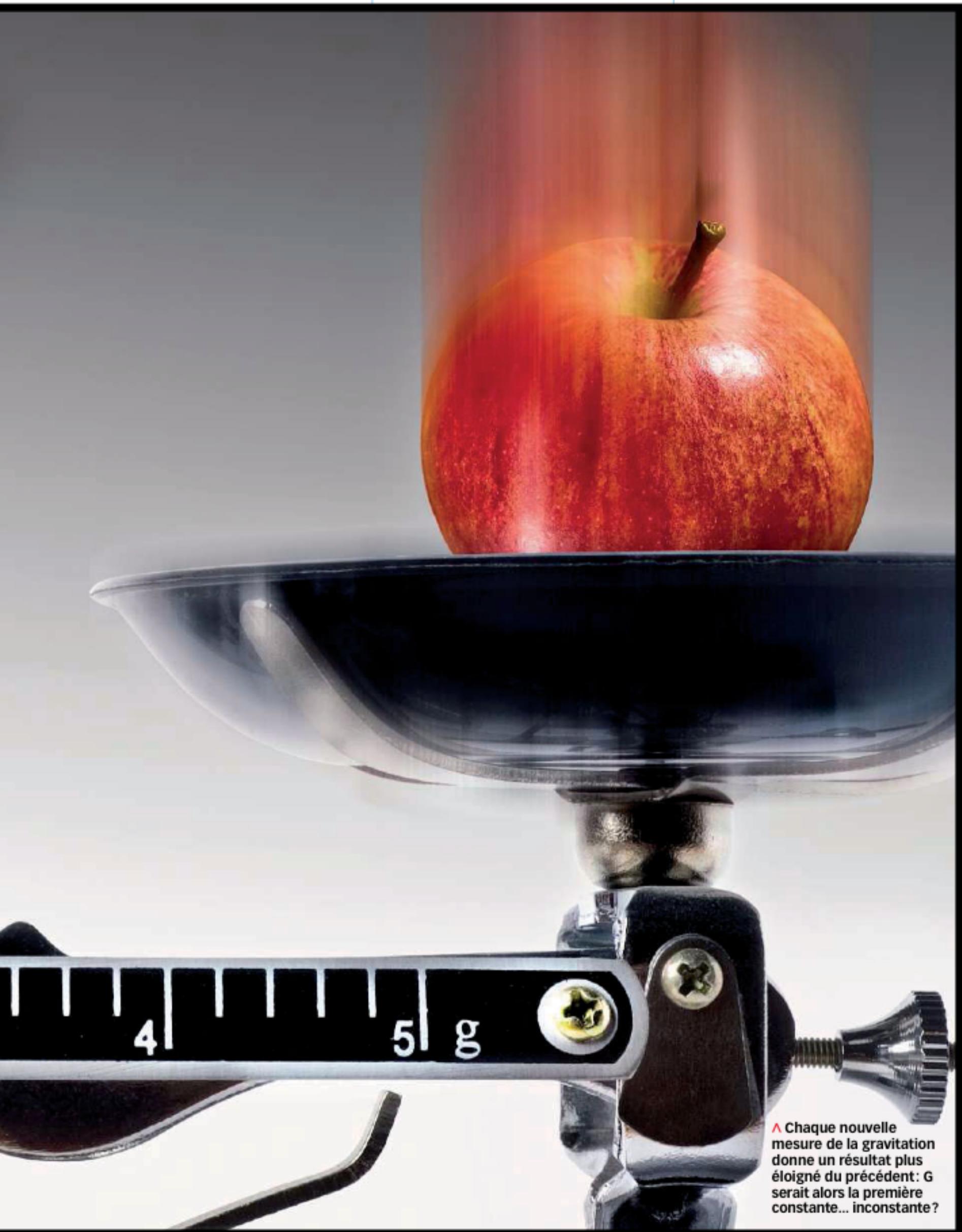
Par Eric Hamonou

La fameuse constante universelle de la gravitation – notée  $G$  – a-t-elle encore sa place parmi les constantes fondamentales de la physique ? La question peut surprendre ceux qui, depuis le lycée, ont eu affaire à  $G$ ... et pourtant. Si  $G$  est une constante, c'est qu'elle possède, par définition, une valeur inaltérable, à l'instar des autres constantes de la physique, comme la vitesse de la lumière ou la constante de Planck. Voilà justement où le bâble : malgré tous leurs efforts, ceux qui pensent que  $G$  est une constante ne parviennent pas à lui donner une valeur exacte ou, pour le moins, de plus en plus précise. Faut-il alors considérer que la valeur de  $G$  change dans le temps et dans l'espace ? Las, ceux qui ont tenté de le prouver ont, là

aussi, fait chou blanc. L'affaire a pris de telles proportions que depuis quelques années, cette constante  $G$ , introduite au XVII<sup>e</sup> siècle par Isaac Newton et conservée au XX<sup>e</sup> siècle par Albert Einstein, est devenue une véritable épine fichée dans la cervelle des théoriciens et des expérimentateurs. Ni totalement constante ni véritablement variable, elle inaugure, en quelque sorte, une nouvelle espèce en physique fondamentale : la constante inconstante.

Le problème n'est pas nouveau. Le Britannique Henry Cavendish, qui fut le premier à tenter la mesure directe de l'attraction gravitationnelle en 1798, avait obtenu une valeur de  $G$  égale à  $6,74 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$  à plus ou moins 1 % près, en exploitant une balance à torsion, où l'attraction entre des →





▲ Chaque nouvelle mesure de la gravitation donne un résultat plus éloigné du précédent: G serait alors la première constante... inconstante?

## "Mesurer G est un Everest de la physique contre lequel butent même les meilleurs scientifiques"

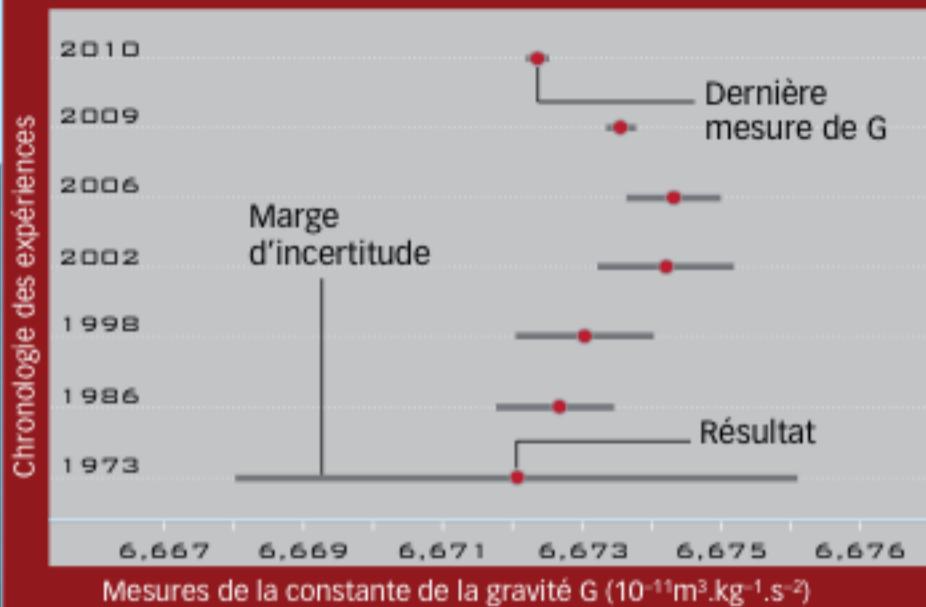
JAMES FALLER, UNIVERSITÉ DU COLORADO, BOULDER (ÉTATS-UNIS)



→ boules massives fait pivoter un pendule d'un angle mesurable. Depuis, chaque nouvelle génération de scientifiques a cru qu'elle pourrait grignoter l'incertitude qui entachait les estimations des générations précédentes. Force est d'admettre que les résultats obtenus ont longtemps donné raison à cette belle confiance dans le progrès. En deux cents ans, la précision a gagné deux ordres de grandeur, passant de 0,01 pour Cavendish à 0,0001 à la fin des années 1980. Mais depuis, rien ne va plus. Chaque nouvelle expérience donne une nouvelle valeur de G qui n'a rien à voir avec les autres. Si bien que le Codata, l'organisme international qui fixe les valeurs officielles des constantes fondamentales, a été

### Cela fait quarante ans que ça dure !

C'est un grand mystère: alors que la constante G est mesurée avec de plus en plus de précision depuis 1973, les valeurs ne sont jamais les mêmes. Pis: les barres d'erreurs associées à ces mesures ne se recoupent même plus!



obligé, en 1986, en 1990, et à nouveau en 1998, d'augmenter l'incertitude liée à cette valeur. Ainsi est-on passé d'une précision de 0,013 % à 0,15 %. Nous nous faisons l'écho de ces tergiversations expérimentales (voir *S&V* n° 1028, p. 92) en 2003.

### UN SOUFFLE PEUT TOUT FAUSSER

Depuis, les choses ne se sont pas arrangées, au contraire. Les deux dernières tentatives, publiées en 2009 et en 2010, ne s'accordent pas plus entre elles que les autres. Lors de la prochaine révision des constantes qui doit avoir lieu cette année, Codata va donc devoir encore augmenter l'incertitude associée à la valeur de la plus mythique des constantes de la physique. Un véritable affront !

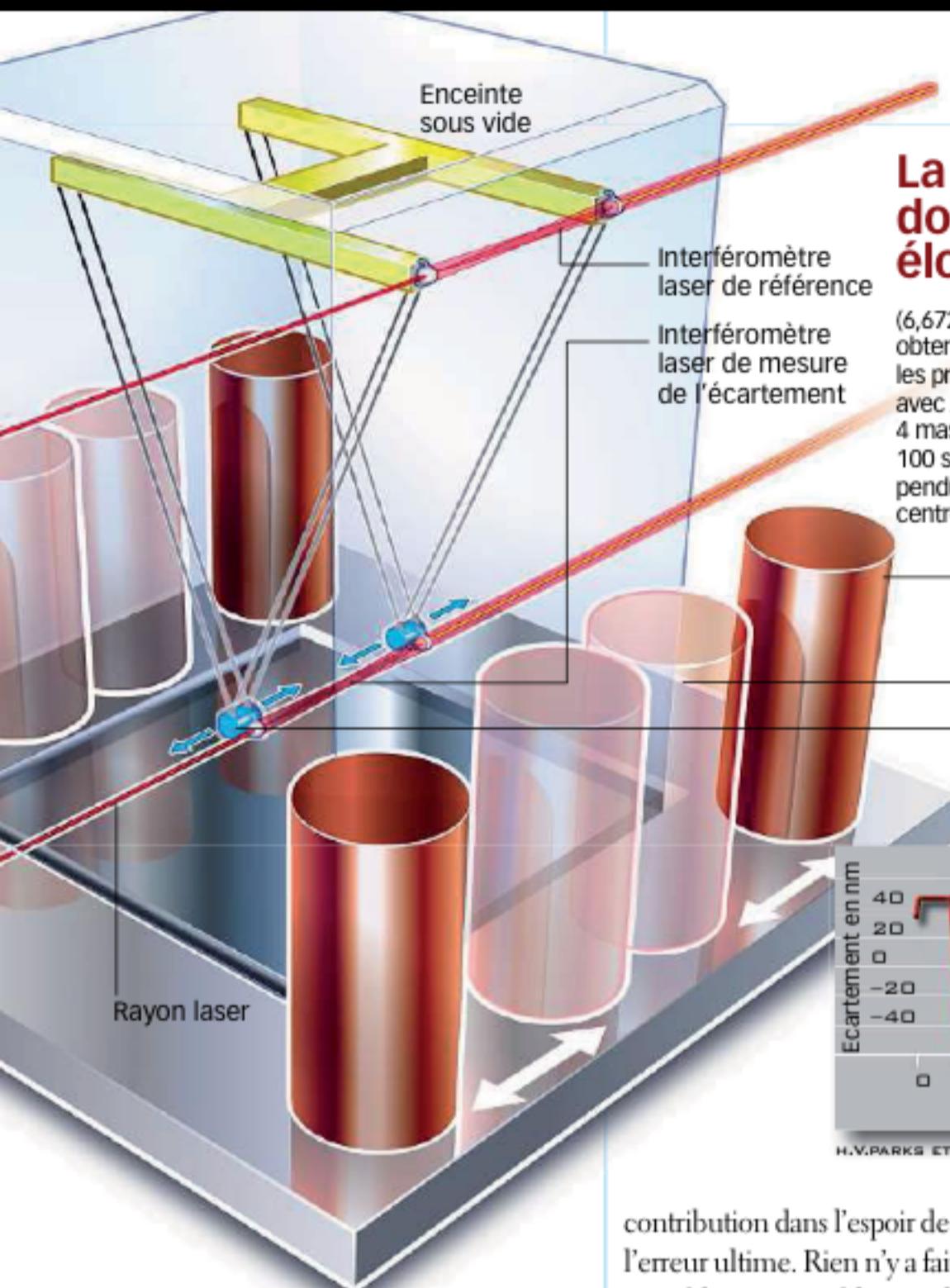
Comment expliquer ces contre-performances ? Les physiciens, confus, invoquent des erreurs commises dans leurs mesures. Et il est vrai que la mesure de G est particulièrement sensible à la moindre négligence. Car la constante de Newton n'intervenant que dans l'attraction gravitationnelle, sa mesure ne peut se faire qu'en mesurant l'effet de cette attraction. Or, c'est un effet très faible: la force d'attraction entre deux sphères d'un kilogramme placées au contact l'une de l'autre est équivalente au poids d'un cheveu d'une longueur de

0,2 mm ! Un souffle, une vibration... et la mesure est faussée. Il ne faudrait donc pas croire que les expérimentateurs qui se lancent à la conquête de cet "Everest de la physique", comme l'appelle James Faller, chercheur à l'université du Colorado, à Boulder (Etats-Unis) et co-auteur de la publication de 2010, sont des bêtiens. Au contraire. Ils sont les héritiers d'une lignée d'experts qui connaissent par cœur les pièges que leur réserve cette mesure. Seuls les meilleurs s'y frottent. Et c'est ce qui amène à poser la question avec d'autant plus d'acuité: qu'est-ce qui cloche avec la mesure de G ?

James Faller et Harold Parks, du Sandia National Laboratories à Albuquerque (Nouveau-Mexique), l'avouent: cette question, ils se la sont posée quotidiennement au cours des six longues années qui ont séparé l'obtention de leurs résultats de leur publication. Ils n'arrivaient tout simplement pas à se résoudre à publier une énième valeur de G. Six années durant, ils ont donc renouvelé la même expérience mobilisant deux petits cylindres de 780 grammes de cuivre et quatre blocs de tungstène de 120 kilogrammes (voir infographie ci-dessus). Résultat: la constante vaudrait  $(6,67234 \pm 0,00014) \times 10^{-11} \text{ m}^3$ .

### > JARGON

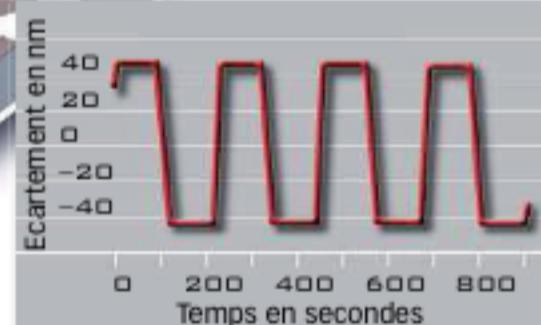
**Constante gravitationnelle:** c'est Newton qui l'a introduite. Cette constante G sert à calculer la force d'attraction F entre deux masses  $m_1$  et  $m_2$  séparées par une distance  $r$ , soit  $F = G m_1 m_2 / r^2$ . Einstein a conservé cette constante, utilisée aujourd'hui aussi bien en astrophysique qu'en architecture.



## La dernière mesure de G donne une valeur très éloignée des précédentes

$(6,67234 \pm 0,00014) \times 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$ : c'est la mesure de G obtenue en 2010 par James Faller. Problème: elle ne recoupe pas les précédentes mesures. Le dispositif était pourtant sophistiqué, avec 2 pendules dans une enceinte sous vide et, autour, 4 masses de tungstène bougeant automatiquement toutes les 100 secondes: excentrées, ces masses attirent par gravité les pendules vers l'extérieur; regroupées, elles les attirent vers le centre. Un laser a alors mesuré l'écart entre les pendules.

Masses de tungstène de 120 kg déplacées sur coussin d'air en position excentrée  
Masses en position regroupée  
Pendule de cuivre de 780 g suspendu à quatre fils



Sous l'effet de la gravité, les pendules oscillent de concert avec les masses de tungstène à raison de 40 nm d'un côté et de l'autre. Cet écart permet d'en déduire la valeur de la constante G.

H.V.PARKS ET AL., PRL SEPTEMBRE 2010

contribution dans l'espérance de débusquer l'erreur ultime. Rien n'y a fait. Elle reste invisible, insaisissable, cruelle.

Pour James Faller, Harold Parks et certains autres, il y aurait peut-être une explication: si l'erreur reste cachée, c'est qu'elle est du type systématique et non aléatoire. Un peu comme si, à propos

d'un objet défectueux, on cherchait une erreur de fabrication alors qu'il s'agit d'une erreur de conception. Du coup, il serait impossible de déceler cette erreur, qui serait systématiquement commise à chaque expérience. Tous les dispositifs expérimentaux posséderaient donc un biais et il serait dès lors impossible →

$\text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$ ... Le problème, c'est que le Codata préconise actuellement d'utiliser  $(6,67428 \pm 0,00064) \times 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$ ... Cherchez l'erreur!

Et justement, pour trouver cette erreur, les deux chercheurs ont tout remis à plat et fait varier chaque paramètre de l'expérience pour en mesurer l'effet sur la dispersion de leurs mesures. Ils ont envisagé l'incertitude sur le positionnement des différentes masses, sur la pureté des métaux employés pour les forger, sur la raideur des câbles maintenant le système; ils ont remis en question la précision de leur mesure laser, mesuré l'effet de la température... Mais même grossièrement exagérés, tous ces effets cumulés ne suffisent pas à expliquer l'écart avec leur nouvelle valeur. Collègues, confrères, spécialistes des lasers, tous ont été convoqués et mis à

## POUR CALCULER G, IL FAUDRAIT CHANGER DE MODÈLE DU MONDE

Si mesurer la valeur exacte de G est difficile, pourquoi ne pas la calculer? Connaissant toutes les autres constantes fondamentales, il suffirait alors d'exprimer G en fonction d'elles. L'idée serait alléchante s'il n'y avait un problème: dans le monde décrit par la science officielle, la

gravitation et la mécanique quantique sont irréconciliables. Autrement dit, G ne s'exprime pas "naturellement" en fonction des autres constantes. Pour calculer G, il faudrait introduire un nouveau modèle du monde – comme la théorie des cordes s'y essaie –, ou modifier considérable-

ment le modèle actuel. Ce que tentent nombreux de théoriciens qui ont réussi à calculer de nouvelles valeurs de G. Mais laquelle est la bonne? Quel modèle faut-il croire? Impossible à dire sans validation du modèle lui-même. On sort d'une impasse pour entrer dans un cercle vicieux...

## UNE BATTERIE DE NOUVEAUX TESTS

Et si la difficulté à mesurer  $G$  était liée au fait que sa valeur varie en fonction de la distance entre les masses en interaction ? Pour le savoir, les scientifiques multiplient les expériences à toutes les échelles, du laboratoire à l'espace.



▲ **À L'ÉCHELLE DE LA DIZAINE DE MÈTRES.** Les scientifiques ont mesuré l'intensité de la gravité à différentes profondeurs dans des lacs de barrages. Sans déceler pour l'instant de variation de la valeur de  $G$ .

→ de connaître la valeur exacte de  $G$ , qui n'en resterait pas moins une constante fondamentale. Sauf que cette erreur de conception, personne ne l'a encore identifiée ! A moins que  $G$  ne soit finalement pas une constante... et l'erreur cachée serait de croire qu'elle en est une. Une explication simple qui a le mérite de faire disparaître le problème... pour mieux en poser un autre. Cela impliquerait de revoir la loi de la gravitation de Newton et la relativité générale d'Einstein. Impossible ? Pas sûr. Car, pour les théoriciens, il

du très classique pendule de torsion de Cavendish. Plusieurs jours durant, ils ont mesuré la valeur de  $G$ . Résultat : elle varierait de plus de 0,054 % toutes les 23 h 55 min et 48 s !

### G VARIERAIT DANS L'ESPACE...

Une période qui correspond, à 16 secondes près, à la durée d'un jour sidéral. Autrement dit, chaque fois que la Terre fait un tour sur elle-même par rapport aux étoiles fixes,  $G$  passe par un maximum. Pour Gershteyn, il n'y a qu'une explication possible :  $G$

équipe indo-américaine dirigée par Unnikrishnan et George Gillies s'est intéressée au même problème... pour aboutir à des conclusions contraires :  $G$  varierait de 0,00000001 %, et non de 0,054 %. Autrement dit, à quelques poussières près,  $G$  serait donc bien constante. C'est à en perdre son latin.

Mais les tenants d'un  $G$  variable n'ont pas dit leur dernier mot. Ils plaident que  $G$  pourrait aussi varier en fonction de la distance qui sépare les masses en interaction. Et comme cette distance est très différente dans les expériences de Gershteyn et de Unnikrishnan et Gillies, cela pourrait expliquer leurs conclusions si éloignées. Certains scientifiques pensent en effet qu'à très grande ou à très petite distance, la loi de Newton pourrait se compliquer. Dans les années 1990 ont ainsi fleuri les expériences réalisées sur des barrages hydrauliques afin de mesurer la force d'attraction entre deux couches d'eau

## L'erreur, finalement, est peut-être de considérer $G$ comme une constante...

existe d'excellentes raisons de remettre en question l'une et l'autre. Du coup, d'autres scientifiques tentent de prouver que  $G$  varie. En 2002, Mikhail Gershteyn, alors au Massachusetts Institute of Technology, à Boston, a repris, avec l'aide d'un collègue russe, l'expérience

dépend de la répartition des masses (ici, les étoiles de la galaxie) dans l'environnement de la mesure et n'est donc pas une constante fondamentale. Ce qui expliquerait pourquoi personne n'arrive à en donner une mesure exacte. Sauf que, la même année, une



▲ **À L'ÉCHELLE DU MILLIÈME DE MILLIMÈTRE.** Grâce à de minuscules pendules de torsion, des variations de G sont recherchées sous 100 micromètres.

◀ **À L'ÉCHELLE DE LA CENTAINE DE MILLIERS DE KILOMÈTRES.** Un laser et des réflecteurs posés sur la Lune permettent de mesurer les variations de la gravitation à très grande distance.

séparées par plusieurs dizaines de mètres. La plupart ont donné une valeur de G très proche de celle préconisée par le Codata. Dès lors, pas de quoi envisager une réforme de la loi de Newton.

Mais il en faut plus pour arrêter un chercheur. Et c'est sur des distances "astronomiques" que la loi de Newton est aussi testée. En ce moment même, par exemple, une équipe américaine de l'université de San Diego (Californie) réalise l'expérience baptisée Apollo qui consiste, à l'aide de lasers et de réflecteurs placés sur la Lune, à mesurer très précisément les paramètres orbitaux de notre satellite afin de vérifier l'exactitude des prédictions de Newton et d'Einstein. Dans le même esprit, sont lancés des tests pour les toutes petites distances. Aujourd'hui

la tendance est d'étudier les effets de la gravitation sur des distances comprises entre 1 et 100 micromètres. Reste que, pour le moment, aucun résultat ne permet de conclure à une quelconque variation de G dans l'espace pouvant expliquer pourquoi on n'arrive pas à en donner une mesure ferme et définitive.

#### ... OU DANS LE TEMPS

Mais cherche-t-on où il faut: peut-être G ne varie-t-elle finalement pas dans l'espace... mais dans le temps. C'est en tout cas ce que pensent d'autres scientifiques qui tentent, depuis les années 1960, de montrer que G varie à l'échelle de l'année. Cependant, les nombreuses expériences menées afin de déterminer précisément les variations de cette constante indiquent qu'il s'agit d'une très, très faible variation: autour de  $10^{-11}\%$ , voire  $10^{-12}\%$ . L'une des expériences parmi les plus récentes, publiée en 2008 par deux physiciens

italiens, estime cette variation plus faible encore: autour de  $10^{-17}\%$ . Insuffisant pour expliquer pourquoi G diffère tant d'une expérience à l'autre.

D'autres travaux ont également tenté de montrer que G pouvait dépendre de la température, de la chimie... Sans succès. Au final, selon James Faller, il faudrait pour sortir de cette impasse, "réaliser une expérience sur plusieurs décennies avec les mêmes appareils dans les mêmes conditions. Là, on saurait une fois pour toutes si G est une constante ou non". Mais qui voudrait consacrer trente années de sa vie à mesurer la même constante en prenant le risque de ne produire qu'une valeur de plus parmi tant d'autres? Une chose est sûre: si personne ne sait pour l'instant comment sortir de l'impasse, les scientifiques ne vont pas pouvoir s'accommoder longtemps d'une telle incertitude au sujet d'une des constantes les plus emblématiques de la physique! ■



## BON DE COMMANDE

À RETOURNER SOUS PLI AFFRANCHI AVEC VOTRE RÉGLEMENT À  
SCIENCE & VIE - SERVICE VPC - 1, RUE DU COLONEL PIERRE AVIA 75503 CEDEX 15

**Oui, je commande le coffret collector 5 DVD, au prix de 39,90 €**

Le total de ma commande est de ..... €

**Je règle par:**

Chèque bancaire ou postal à l'ordre de Science & Vie  Carte bancaire

N°

Expiré à fin

Code crypto   les 3 chiffres au dos de votre CB

**Voici mes coordonnées:**

Si vous êtes abonné, votre N° (1 lettre et 7 chiffres):

Nom:

Prénom:

Adresse:

Complément d'adresse:

Code postal:

Ville:

Tél:

Grâce à votre n° de téléphone (portable) nous pouvons vous contacter si besoin pour le suivi de votre commande

**Email:**

Je souhaite recevoir des newsletters du magazine et des offres promotionnelles des partenaires de Science & Vie (groupe Mondadori).

Conformément à la loi informatique et libertés du 06/01/1978, vous disposez d'un droit d'accès aux données personnelles vous concernant. Par notre intermédiaire, vous pouvez être amené à recevoir des propositions d'autres sociétés ou associations. Si vous ne le souhaitez pas, il vous suffit de nous écrire en nous indiquant vos nom, prénom, adresse et, si possible, votre référence client.

Offre valable en France métropolitaine dans la limite des stocks disponibles jusqu'au 31/12/2011.

COMMANDEZ EN LIGNE SUR LE SITE

**www.kiosquemag.com**

C'EST RAPIDE, PRATIQUE, FACILE ET SÉCURISÉ

Vous pouvez aussi commander par téléphone au 01.46.48.47.08

Date et signature obligatoires

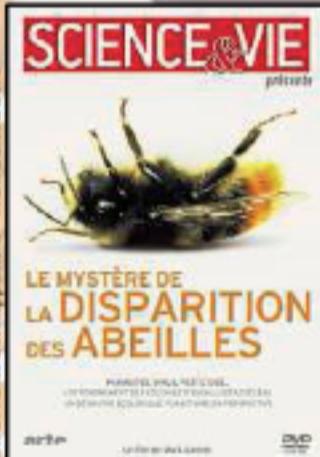
611905

# Le coffret collector Biodiversité

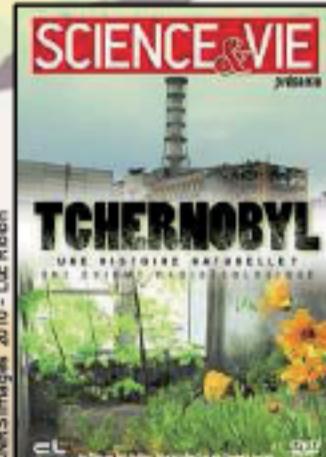
Science & Vie vous propose d'acquérir ce coffret regroupant 5 documentaires sélectionnés par la rédaction sur la thématique de la biodiversité, au prix exceptionnel de 39,90 €.

OFFRE  
SPÉCIALE!  
**39€90**  
SEULEMENT  
*Frais de port offerts!*

La biodiversité, contraction de «biologique» et «diversité» représenterait donc la diversité biologique. Mais elle est bien plus que la liste et la description des espèces vivantes qui peuplent notre planète. Étudier la biodiversité, c'est chercher à mieux comprendre les liens et les interactions existant entre les milieux de vie, les espèces qui vivent dans ces milieux et les individus au sein de chaque espèce. Elaboré par la rédaction de Science&Vie, ce coffret collector met en perspective ces interactions à travers cinq documentaires de grande qualité.



**Le mystère de la disparition des abeilles**  
Meilleure audience documentaire sur Arte en 2010, sélectionné au festival Pariscience 2010. Enquête sur un désastre écologique mondial qui pourrait mettre en péril l'humanité tout entière... Ce film fait le bilan des connaissances scientifiques, explore les hypothèses et remet en question nos pratiques agricoles et notre modèle de société.



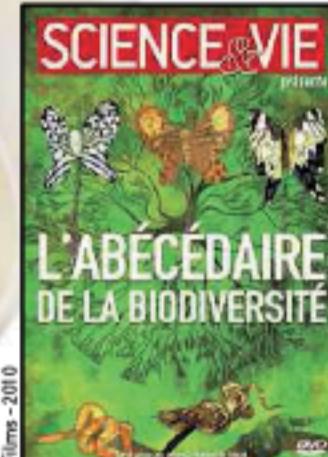
**Tchernobyl, une histoire naturelle**  
Deuxième meilleure audience pour un documentaire sur Arte en 2010, ce film a remporté trois grands prix lors de festivals, dont le Prix Buffon du meilleur film traitant de la biodiversité au Festival Pariscience 2010. Une plongée dans un no man's land étrange où géochimistes, zoologues et radioécologues font de troublantes découvertes.



**Secrets de plantes : le lotus**  
Récompensé au festival Ekotopfilm 2010 de Bratislava. Le lotus, symbole intemporel de pureté et d'élévation spirituelle, est aujourd'hui l'emblème d'une révolution technologique. Ses étonnantes propriétés hydrophobes lui permettent de repousser l'eau et de garder ainsi ses feuilles immaculées. Les chercheurs en bionique perçoivent enfin le secret de cet «effet-lotus».



**Au cœur des forêts humides**  
Non seulement les forêts tropicales sont riches d'une grande biodiversité, mais elles absorbent le gaz carbonique et favorisent la formation de nuages qui aident à refroidir la planète. Comment préserver les forêts tropicales, essentielles au ralentissement du réchauffement climatique? Des images superbes d'une nature à préserver.



**L'abécédaire de la biodiversité**  
Cet Abécédaire, réalisé en partenariat avec Science&Vie, est composé de 26 films courts d'animation. Il apporte un regard différent sur la diversité biologique, car derrière la question de la conservation de la nature, c'est surtout la question du vivant, des conditions nécessaires à son émergence, à sa reproduction et à sa diversité qui sont en jeu.

# Les "bracelets de puissance" rendent-ils vraiment plus forts ?

Question de Maël Chantecaille, Camoëil (56)

Vous n'êtes sûrement pas le seul à vous poser cette question tant ce bracelet en plastique sur lequel est monté un petit hologramme (une image en 3D représentant le logo de la marque) est devenu (pour environ 35 €) un accessoire mondialement à la mode. Parce que, à en croire de nombreux sportifs qui le portent, l'objet aurait des vertus stimulantes.

## UNE FRÉQUENCE "IDÉALE"...

*"C'est incroyable de voir comment je me sens mieux, plus fort et plus souple lorsque je cours ou m'entraîne,* jubile le coureur automobile brésilien Rubens Barrichello, porteur du bracelet Power Balance. *Je sens particulièrement une différence sur la piste.*" Non moins enthousiaste, le célébrissime basketteur Shaquille O'Neal confie: *"Alors que je jouais pour les Phoenix Suns, trois de mes coéquipiers utilisaient un Power Balance et nous avons remporté ce match avec 57 points d'avance."* Et le fabricant affirme n'avoir rémunéré aucun de ces champions! Alors, sur



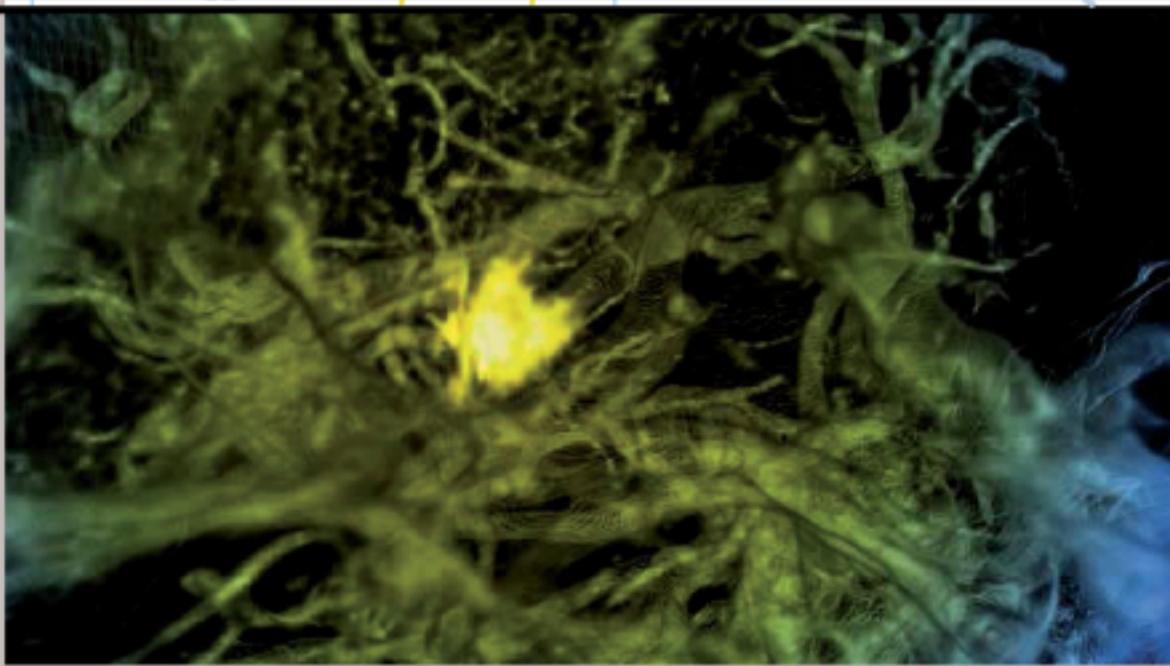
quoi reposent ces résultats? Le site de Power Balance répond bien volontiers: *"Lorsque l'hologramme est en contact avec le champ énergétique du corps humain, il permet à votre corps d'interagir avec la fréquence stockée dans l'hologramme. Il en résulte un flux énergétique optimisé à travers l'entièreté de votre corps."*

L'hologramme serait donc un diapason capable d'accorder le *"champ énergétique humain"* aux *"bonnes vibrations"*, la plus connue étant, explique le fabricant, *"la Schumann Resonating Frequency (SRF) qui est de 7,8 hertz, fréquence idéale du* →

▲> Comme beaucoup de sportifs, le basketteur Shaquille O'Neal, star de la NBA, affirme se sentir "plus fort" quand il porte son "bracelet de puissance" (cercle), dont l'hologramme, qui représente le logo de la marque (en haut, Power Balance), agirait sur son "champ énergétique".







▲ Les fabricants ont pu s'inspirer de travaux sur les liens entre champ électromagnétique terrestre et mélatonine (ici, IRM fonctionnelle de son émission dans le cerveau).

→ *corps humain*”. Vérifications faites, la SRF existe bien, mais pas tout à fait comme la conçoivent les frères Rodarmel, ex-surfers californiens et fondateurs de Power Balance: il s'agit d'une manifestation du champ électromagnétique terrestre issue d'interactions entre la surface du globe et la ionosphère. Cela dit, la SRF n'a rien à voir avec une quelconque “*fréquence idéale du corps humain*” dont il n'existe aucune trace dans la littérature scientifique. Certains travaux – peu concluants – défendent l'hypothèse que la SRF pourrait agir sur la santé, notamment par le biais de la mélatonine, hormone de régulation des

rythmes biologiques. Peut-être est-ce dans ce vivier que Power Balance a pêché son inspiration? Pour le reste, en tout cas, la “science” de Power Balance reste impénétrable.

#### UN BANAL EFFET PLACEBO

Piéger des “*fréquences*” dans un hologramme capable de “*vibrer*” et de retourner une vibration modifiée à un organisme entier, le tout sans traitement de signal d'aucune sorte, mériteraient, si cela était avéré, au moins la une de *Science & Vie*. De même pour le “*champ énergétique du corps humain*” sur lequel agissent les merveilleux bracelets mais dont l'existence reste inconnue des

biologistes. Tout juste est-elle familière aux pataphysiciens du New Age et aux adeptes des médecines dites “parallèles” ou de certaines pratiques religieuses orientales. Quant au galimatias d'EFX, autre fabricant de bracelets, qui fait intervenir des “*effets quantiques*” au niveau des cellules (?), il est du même obscur tonneau. Reconnaissant la fragilité de leur argumentaire, les fabricants multiplient d'ailleurs les précautions oratoires. “*Ce produit ne peut en aucun cas être assimilé à un médicament ou un matériel médical*”, lit-on ainsi chez Power Balance. Tout en ajoutant que les effets du bracelet “*sont très variables selon les personnes qui le portent*”, certaines ne percevant malheureusement “*pas de différence*”.

Mais alors, comment expliquer les effets bénéfiques dont parlent les sportifs? Par le très banal effet placebo. Lequel est, lui, bien connu des scientifiques qui estiment qu'il entre pour plus de 30% dans l'effet des médicaments, quels qu'ils soient. C'est beaucoup, mais cela n'aura pas suffi à Rubens Barrichello, qui termine dixième la saison de F1. Peut-être aurait-il dû attacher le colifichet à son volant? P.G. ♦

GAGNEZ UN ABONNEMENT  
D'UN AN À

**SCIENCE & VIE**

Cette rubrique est la vôtre, écrivez-nous! Nous ne pourrons 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  
1 rue du Colonel-Pierre-Avia  
75503 PARIS CEDEX 15.

## SOIGNER LA DÉPRESSION GRÂCE AUX CHAMPS MAGNÉTIQUES

A défaut d'être doté d'un très hypothétique “champ d'énergie”, le corps humain émet des champs magnétiques dus à l'activité électrique du cœur et du cerveau. Le champ magnétique de ce dernier n'excède pas  $10^{-15}$  teslas. L'activité électrique de ces organes est mesurée pour établir le diagnostic de leur fonctionnement (électrocardiogramme, électroencéphalogramme). Une stimulation magnétique du cerveau pourrait même se révéler utile dans le traitement des dépressions majeures qui résisteraient aux autres traitements. Cette technique, appelée stimulation magnétique transcrânienne, s'est montrée deux fois plus efficace qu'un placebo dans une étude dont nous nous sommes fait l'écho (voir *S&V* n° 1048, p. 93).



◀ L'odorat d'une femme enceinte est plus sélectif: ses dégoûts permettraient de minimiser les risques d'intoxiquer le fœtus.

# Est-il vrai que les femmes enceintes ont l'odorat plus fin?

**Question de Jeanine Segol, Frayssinet-le-Gélat (46)**

La majorité des femmes enceintes constatent une exacerbation de leur odorat pendant la grossesse. Aussi curieux que cela puisse paraître, ce constat n'a jamais été confirmé scientifiquement. *“Les études sont très contradictoires: on ne sait pas encore s'il existe une réelle augmentation de la sensibilité olfactive, ou simplement une plus grande attention prêtée aux odeurs, ou les deux”*, explique Richard Doty, directeur du Centre du goût et de l'odorat à l'université de Pennsylvanie (Etats-Unis). Pour l'instant, aucune

étude n'a montré d'élévation nette du seuil de détection des odeurs pendant la grossesse. Certaines études concluant même que les femmes enceintes ont moins d'odorat que les autres...

## ÉVITER LA NOURRITURE AVARIÉE

*“En fait, il semble qu'il y ait des variations selon l'odeur considérée”*, précise le chercheur. Des travaux ont montré que si les femmes enceintes sont moins sensibles à l'odeur du citron que les autres, elles détectent des seuils plus bas de n-butanol, un alcool à l'odeur

d'essence. Une vigilance logique, selon Richard Doty: *“On suppose que les dégoûts qui accompagnent la grossesse permettent de minimiser le risque d'intoxiquer le fœtus.”* Au cours d'une étude menée en 1999 auprès de 500 femmes enceintes, les trois quarts des participantes ont affirmé que les odeurs étaient globalement plus désagréables depuis qu'elles étaient enceintes, en particulier celles du tabac, du café et de l'alcool. Et pour près de 60 % des femmes, il existe un lien entre les odeurs écoeurantes et les nausées, surtout lors des trois premiers mois de grossesse. La sensibilité aux odeurs permettrait donc d'éviter la nourriture avariée afin de protéger le bébé... En octobre dernier, une étude a ainsi prouvé que les femmes enceintes sujettes aux nausées avaient 3 fois moins de risques (12 fois moins après 35 ans) de faire une fausse couche que les autres.

M.Co. ♦



# Qu'est-ce qui fait qu'on dort moins avec l'âge ?

*Question de Jean Seznec, Quimper (29)*

Il est vrai que 22 % des seniors rapportent des troubles du sommeil. "A 66 ans et plus, le temps de sommeil nocturne diminue car les périodes d'éveil reviennent plus fréquemment", indique Sylvie Royant-Parola, médecin et présidente du réseau Morphée en région parisienne, un réseau consacré à la prise en charge des troubles du sommeil. Au cours de la nuit, le sommeil profond alterne normalement avec des

phases d'éveil. De courte durée chez les jeunes, celles-ci passent inaperçues, ce qui n'est plus le cas quand elles s'allongent avec l'âge. En effet, en vieillissant, la sécrétion de certaines substances faiblit, ainsi celle de l'adénosine qui inhibe la production de molécules de maintien de l'éveil. "La baisse de ces facteurs rend le sommeil moins profond et les phases d'éveil plus fréquentes", résume Sylvie Royant-Parola. Plus

fréquentes, mais aussi marquées par les douleurs, les gênes et les diverses préoccupations liées à l'âge. Les personnes âgées dorment-elles moins pour autant ? Non. Le sommeil nocturne est alors complété par des siestes et le temps de sommeil global sur 24 heures reste sensiblement le même. "Cependant, une bonne forme physique et mentale garantit un sommeil de meilleure qualité", assure le médecin. M.H.♦



**> Avec l'âge, le temps de sommeil nocturne diminue, mais il est compensé par des siestes.**

# Pourquoi le photon n'a pas de masse et juste une énergie ?

*Question de Guilbert Guignard, Payerne (Suisse)*

Dire qu'un photon n'a pas de masse mais qu'il a une énergie, alors que la théorie de la relativité démontre l'équivalence entre les deux grandeurs ( $E=mc^2$ ), voilà qui peut en effet sembler illogique. Pourtant, rien n'empêche d'attribuer une "masse" au photon à partir de l'équation d'Einstein : celle-ci serait tout simplement égale à son énergie divisée par  $c^2$ ... Mais ce qui est exact au regard des mathématiques perd son sens en physique. La difficulté tient à la définition même de la masse. Au sens classique,

celui de Newton, il s'agit de la qualité intrinsèque d'un objet, mesurant sa quantité de matière et invariable quel que soit son mouvement.

## LE PHOTON NE S'ARRÊTE JAMAIS

Newton a montré que c'est la masse qui fait accélérer un objet lorsqu'il est placé dans un champ de gravité ; qui le fait "peser" lorsqu'il ne peut bouger ou qui oblige à utiliser une force pour le mettre en mouvement. Une force d'autant plus intense que ladite masse est importante... La théorie

de la relativité a intégré ce concept newtonien sous le terme de "masse au repos". Or, un photon n'a pas de masse au repos car il n'est jamais au repos : sa vitesse, qui vaut 299 792 458 mètres par seconde (c), est constante quelle que soit son énergie (couleur). Il ne sera ni accéléré ni freiné par un champ de gravité ; celui-ci modifiera son énergie mais pas sa vitesse. Enfin, quand on parle d'un photon qui "tombe" dans un trou noir, cela est dû à la courbure de l'espace-temps aux abords du trou et non à l'effet de l'attraction



# Peut-on avoir le même ADN sans être jumeau ?

Question de Alice Villiers, Paris 14<sup>e</sup>

Oui, en théorie. Mais dans la réalité, la probabilité est infime. La molécule d'ADN lovée au cœur de nos cellules comporte 3 milliards de paires de bases, chacune de ces paires étant formée de 2 éléments parmi 4 (adénine et guanine, cytosine et thymine). La probabilité de rencontrer deux séquences d'ADN identiques est donc de 1 chance sur  $4^{6000000000}$

(un nombre si proche de zéro que notre cerveau ne peut se le représenter). Mais ce calcul ne tient pas compte du fait que l'ADN des humains est en fait identique à 99,9 %. La différence réside donc dans le 0,1 % restant, qui ne représente plus que 6 millions de bases. Ce qui donne alors une probabilité de trouver deux ADN identiques de 1 chance sur

$4^{6000000} \dots$  ce qui, concrètement, reste équivalent à zéro. Mais il faudrait aussi tenir compte de ce que, chez un même individu, toutes les cellules ne portent pas exactement la même séquence d'ADN: quelques mutations ponctuelles et sans effet peuvent introduire des différences. Même l'ADN des jumeaux n'est pas parfaitement identique! M.Cy. \*

gravitationnelle au sens classique. Bref, le photon échappe à tous les phénomènes qui témoignent de la présence d'une masse au sens classique, ce en dépit des tentatives expérimentales menées pour la détecter. Donc, jusqu'à preuve du contraire, le photon n'a pas de masse, sans que cela contredise sa nature énergétique. Remarquons néanmoins que si on trouvait une masse au photon, cela ne mettrait pas à mal la théorie de la relativité: la célèbre "vitesse de la lumière" ( $c$ ) demeurera une constante universelle indiquant une limite physique indépassable — qu'il faudrait alors songer à rebaptiser puisque la lumière, si elle a une masse, se déplacerait alors nécessairement à une vitesse inférieure à  $c$ ... R.I. \*

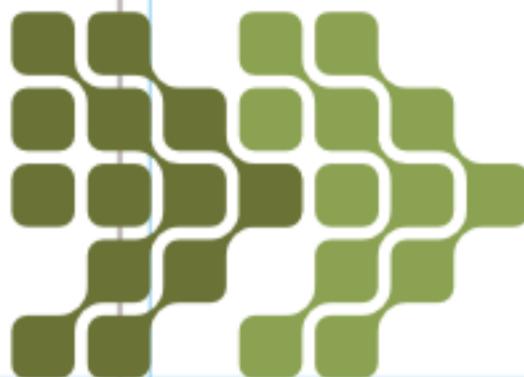


EN SAVOIR PLUS  
Quelle est la vraie vitesse de la lumière? de Jean-Louis Bobin, éd. Le Pommier, 2004.



▲ Même l'ADN des jumeaux n'est pas identique: toutes les cellules d'un individu ne portent pas tout à fait la même séquence.

## le point sur



## Les LED

C'est une petite révolution qui se prépare dans le domaine de l'éclairage... Après avoir fait leurs preuves dans l'électronique, les diodes électroluminescentes (ou LED) pourraient bientôt envahir nos habitations... comme source principale de lumière! Il faut dire qu'une ampoule conçue à partir de ces petites diodes présente deux arguments imparables: elle consomme jusqu'à 90 % d'électricité de moins qu'une ampoule traditionnelle et elle dure 25 fois plus longtemps!

**UN RENDEMENT EXCEPTIONNEL**

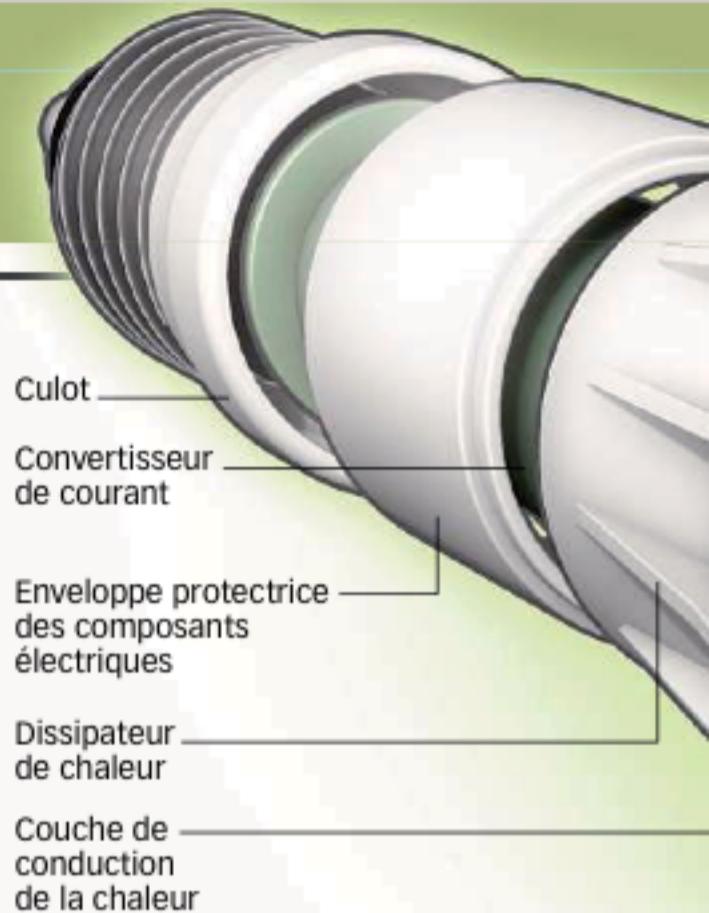
De quoi en faire une alternative aux ampoules basse consommation qui ont déjà commencé à remplacer les modèles à incandescence, amenés à disparaître d'ici fin 2012...

Jusqu'à l'année dernière, les LED ne pouvaient y prétendre... car leur capacité à éclairer n'excédait pas celle d'une ampoule à incandescence de 40 watts. Une puissance juste suffisante pour une lumière d'ambiance. Mais grâce aux travaux des laboratoires de recherche, les voici depuis peu capables d'éclairer autant qu'une 60 watts. Une étape importante qui leur permet

de couvrir désormais les trois quarts des besoins d'éclairage domestique, et qui vient consacrer des années d'évolution de ce composant.

Nées dans les années 1990 ("Un peu d'histoire"), les LED blanches sont en fait des LED bleues recouvertes de phosphore jaune. Comparée aux autres ampoules (fluocompactes et halogènes haute efficacité), leur technologie marque une véritable rupture: pour la première fois, une ampoule produit de la lumière par un effet purement électronique. Les LED sont en effet des composants qui émettent de la lumière lorsqu'ils sont traversés par un courant électrique. Elles sont d'ailleurs si petites (quelques millimètres) qu'intégrées à des luminaires, elles autorisent tous les designs. Une ampoule en contient plusieurs (6 ou 7 pour les plus puissantes), montées sur un circuit imprimé ("Comment ça marche"). Au-dessus: l'enveloppe diffuse uniformément la lumière. En dessous: un circuit de refroidissement évacue la chaleur produite.

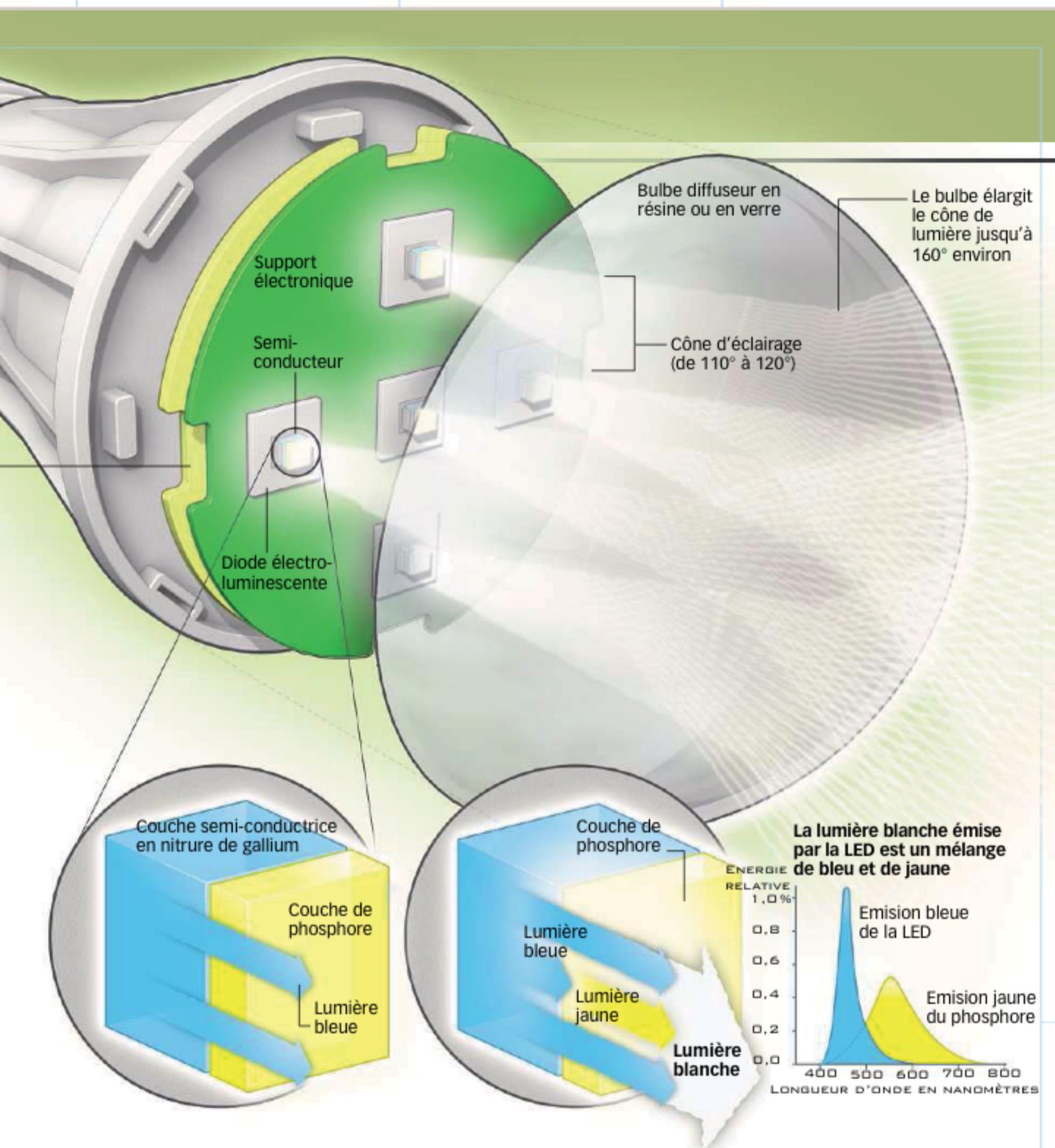
Mais alors, comment arrive-t-on à cette économie d'énergie record alors que les LED chauffent dans →

**1 Le courant est converti**

L'ampoule à LED fonctionne en courant continu. La base de l'ampoule contient un convertisseur de courant ainsi qu'un support électrique de pilotage des diodes.

**COMMENT  
ÇA MARCHE**

Une diode électroluminescente (LED) est constituée d'un support de résine de 5 mm de côté. En son centre, une plaque semi-conductrice de 1 mm<sup>2</sup> émet de la lumière (de 0,15 à 0,5 W). Dans l'ampoule à LED, qui contient la plupart du temps plusieurs diodes, une structure métallique à ailettes est incorporée sous le bulbe diffuseur afin de dissiper la chaleur. On trouve deux types de lampes: soit une combinaison de LED (rouge, vert et bleu), soit des LED blanches, en réalité des LED bleues recouvertes de phosphore (ci-contre).



## 2 La couche semi-conductrice produit de la lumière bleue

La LED contient plusieurs semi-conducteurs de  $1 \text{ mm}^2$  et de quelques micromètres d'épaisseur qui produisent de la lumière lorsqu'ils sont traversés par un courant électrique. Dans une LED blanche, cette couche semi-conductrice produit de la lumière bleue.

## 3 Du phosphore jaune blanchit la lumière

La couche de phosphore qui se trouve à la surface de la LED absorbe une partie de la lumière bleue et la réémet en lumière jaune. Le mélange du bleu non absorbé et du jaune donne le blanc.

## 4 Des systèmes optiques diffusent la lumière

L'intensité lumineuse des LED est maximale dans l'axe de l'ampoule et décroît en fonction du décalage par rapport à cet axe. 90 % des LED sont efficaces sur 90°, certaines atteignent 110 à 120°. Un bulbe diffuseur élargit le cône d'éclairage jusqu'à 160°.



→ leur enveloppe ? Cela tient au rendement lumineux des diodes elles-mêmes, qui s'exprime en lumens par watt (lm/W). En dépit des pertes dues à la chaleur, une ampoule LED atteint jusqu'à 67 lm/W, contre 10 à 13 lm/W pour une incandescente. Cela signifie que pour émettre la même quantité de lumière, elle consomme cinq à six fois moins. Et elle est même légèrement plus performante qu'une fluocompacte dite "basse consommation" (environ 60 lm/W) avec l'avantage, en plus, de ne pas contenir de mercure, nocif pour l'environnement. Sans compter qu'elle s'allume instantanément.

#### UN DANGER POUR LES YEUX ?

Reste que les LED ont tout de même quelques défauts qui ont freiné jusqu'ici leur essor. Outre leur manque de puissance, leur prix reste élevé ("Bon à savoir"). Ce qui explique qu'elles ne pesaient jusqu'ici pas lourdes sur le marché : à peine 2 % des ventes en France en 2010, contre encore près de 50 % pour les incandescentes à cette date (1). Néanmoins, par rapport à l'année précédente, ce chiffre a progressé de 81 %... et cette tendance devrait se prolonger puisque, selon certains fabricants, le prix baisserait de 5 à 10 % par an. Plus préoccupant : certaines LED (bleues ou blanches froides) présentent un danger, en cas d'exposition répétée pour les yeux. L'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses) a rendu, fin 2010, un rapport plutôt réservé à leur sujet ("Bon à savoir"). Enfin, on l'a dit, une ampoule à LED ne peut pas encore remplacer une version incandescente de 75 ou 100 W... mais au train où va la technologie ("Et demain"), cela arrivera sûrement d'ici peu. **L.B.**

(1) Chiffres de l'Institut GfK entre septembre 2009 et août 2010.

#### UN PEU D'HISTOIRE...

L'idée de produire de la lumière à partir de l'électricité remonte au tout début du XIX<sup>e</sup> siècle. En 1813, le physicien et chimiste anglais Humphry Davy (1778-1829) réussit à former un arc électrique lumineux, entre deux baguettes de charbon de bois reliées à une pile très puissante et placées dans un flacon vide d'air. Mais les électrodes de charbon s'usaient en quelques heures... Ce dispositif connut par la suite de nombreuses évolutions, la principale étant le remplacement des baguettes de charbon par un filament. Le principe était alors celui de l'incandescence : une lumière était émise lorsqu'on portait ce filament à haute température. Toute la difficulté était de concevoir une lampe qui fonctionne assez longtemps.

#### 40 heures, un record !

La découverte, dans les années 1870, d'une dynamo produisant un courant continu et d'une pompe capable de produire un vide suffisamment élevé, apporta la solution. En 1878, le physicien et chimiste britannique Joseph Swan (1828-1914) fit ainsi la démonstration de ce que pouvait être la lumière électrique en utilisant un filament de carbone dans une ampoule vide d'air. De son côté, l'inventeur américain

1907

En poursuivant des travaux sur les semi-conducteurs, l'ingénieur britannique Henry Joseph Round (1881-1966) découvre par hasard dans un cristal solide le phénomène de l'électroluminescence.



Thomas Edison (1847-1931), qui avait essayé pendant deux ans des milliers de fils différents, parvint à un résultat plus concluant avec du fil à coudre de coton (aujourd'hui remplacé par du tungstène) : son ampoule, de forme ovoïde, brillait 40 heures d'affilée. Ainsi naquit, en 1879, la première ampoule à incandescence "longue durée". Elle fut ensuite améliorée pour durer plus de 1000 heures. Mais il fallut attendre les années 1950 et le déploiement massif de l'électricité pour que les foyers français s'équipent de lampes électriques. Parallèlement, une autre

piste d'éclairage fut explorée : celle de matériaux qui émettent de la lumière en réponse au courant électrique qui les traverse. Ce phénomène, appelé électroluminescence, a été observé pour la première fois dans un cristal solide en 1907 par l'ingénieur anglais Henry Joseph Round (1881-1966), au hasard de ses travaux sur les semi-conducteurs. Mais ce n'est qu'en 1962 que la première diode électroluminescente émettant une lumière visible - rouge - fut créée par les chercheurs américains Nick Holonyak Jr. et S. F. Bevacqua chez General Electric. A l'époque, ces





1962

◀ Dans les locaux new-yorkais de General Electric, le chercheur américain Nick Holonyak Jr. (au premier plan) et ses collaborateurs. L'équipe a mis au point la première diode électroluminescente émettant une lumière visible rouge.

2000

▼ Au début des années 2000, les LED apparaissent dans l'éclairage domestique, comme élément décoratif (ici, une LED bleue dans une guirlande de Noël).

diodes de faible intensité lumineuse étaient colorées et leur couleur dépendait du matériau utilisé pour les fabriquer: du phospho-arsénure de gallium (GaAsP) donnait des LED rouges ou jaunes et du phosphure de gallium (GaP) des LED vertes apparues quelques années plus tard.

#### Pour l'éclairage public

En raison de leur faible puissance (< 1 W) et de leur longue durée de vie, celles-ci furent d'abord utilisées comme voyants lumineux dans les appareils électroniques ou comme lumière pour les feux de circulation tricolores. Il fallut attendre dix ans pour que le scientifique japonais Shuji Nakamura de la société

Nichia parvienne à produire des LED bleues suffisamment performantes pour être commercialisées en électronique. Pour cela, il modifia le procédé de fabrication chimique de son matériau (le nitrate de gallium), ce qui lui permit d'obtenir une qualité de cristal inégalée. Le premier modèle à haut rendement sortit de son laboratoire en 1993, suivi trois ans plus tard par la première LED blanche, qui était en fait une LED bleue coiffée de phosphore jaune. A partir de ce moment-là, les LED furent utilisées dans les enseignes lumineuses, l'affichage des compteurs automobiles et, plus récemment, le rétro-éclairage des écrans. Ce n'est qu'au début des années 2000



qu'elles firent leur premier pas dans l'éclairage domestique, comme points lumineux décoratifs (blanc ou de couleur), leur flux étant encore trop faible pour éclairer une pièce entière. Depuis, les scientifiques n'ont cessé de les améliorer en jouant sur les matériaux, la quantité de

courant appliquée et la gestion thermique. Du coup, elles ont commencé à se développer à l'intérieur des logements... mais aussi à l'extérieur: de grands projets d'éclairage public à base de LED viennent d'être annoncés à Taiwan dès cette année et à Los Angeles d'ici à 2015.



## BON À SAVOIR

### ■ COMBIEN COÛTE UNE AMPOULE À LED ?

Le prix varie entre 10 et 50 euros, en fonction de la puissance.

### ■ QUELLES SONT LES PUISSANCES DISPONIBLES ?

Les modèles de 1 à 12 W émettent un flux lumineux de 30 à 800 lumens (équivalent des ampoules à incandescence de 5 à 60 W). Cette correspondance figure clairement sur les emballages.

### ■ QUELLE EST SA CLASSE D'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE ?

Elle est de classe A, car elle permet de réaliser jusqu'à 90 % d'économie d'énergie par rapport à une ampoule à incandescence. C'est 10 % de plus qu'une ampoule fluocompacte "basse consommation", elle aussi classée A.

### ■ QUELLE EST SA DURÉE DE VIE ?

25000 heures, soit 23 ans à raison de 3 heures d'allumage par jour. C'est 25 fois mieux qu'une ampoule à incandescence (1000 heures), et plus d'une fois et demie mieux qu'une fluocompacte (jusqu'à 15 ans). Une ampoule à LED meurt progressivement. Cette durée de vie correspond donc le plus souvent à 70 % du flux lumineux maintenu.

### ■ EST-ELLE RECYCLABLE ?

Oui, elle se recycle à 99 % de son poids. Elle doit être rapportée dans un point de collecte, en magasin ou déchetterie.

### ■ EST-ELLE DANGEREUSE POUR LA SANTÉ ?

Selon les mesures effectuées par l'Anses, les LED bleues ou blanches froides présentent un "risque modéré" pour l'œil lors d'expositions à 20 cm de distance, peu intenses et répétées. En cause: la forte proportion de lumière bleue, toxique pour la rétine, et la forte intensité lumineuse. En attendant un cadre réglementaire, l'agence recommande de mentionner ces risques sanitaires sur l'emballage des produits et d'interdire les sources de lumière froide ou bleue dans les lieux fréquentés par les enfants.

## ET DEMAIN ?

"Plusieurs laboratoires affirment que l'on a encore une marge de progression énorme sur l'efficacité lumineuse des LED blanches", explique Ludovic Bichet, responsable des ventes chez Osram. En modifiant leur conception et en optimisant le circuit de refroidissement afin qu'elles soient capables d'évacuer plus de chaleur tout en conservant la même taille, on devrait atteindre 160 à 250 lm/W en 2015, soit deux fois plus qu'aujourd'hui. Cela signifie que les futures ampoules à LED - qui conserveront globalement le même aspect, à quelques évolutions près - gagneront encore en intensité lumineuse. Et très rapidement!

"Les premiers modèles capables d'éclairer autant qu'une incandescente de 75 ou 100 W arriveront sur le marché d'ici un à deux ans", estime Weena Lemoine, chef de produit "ampoules" chez Philips Lighting.

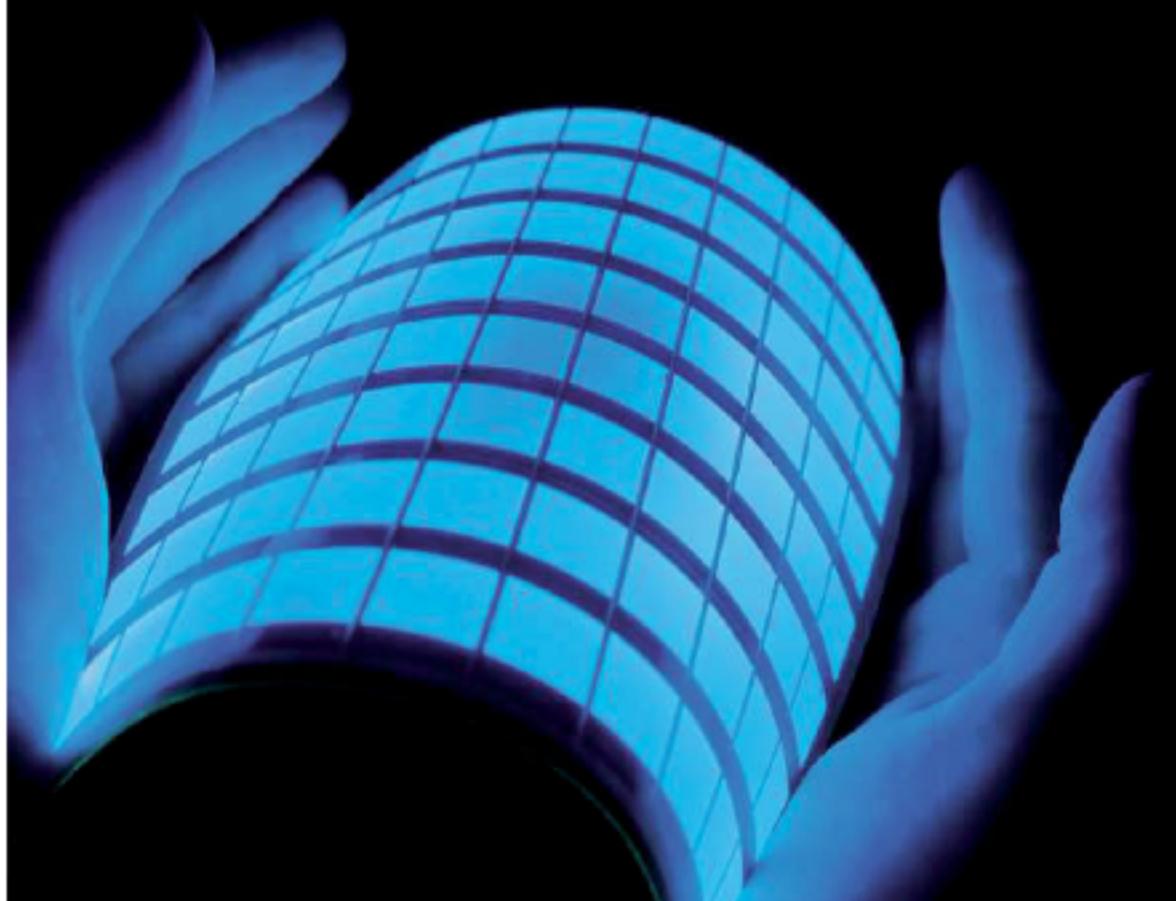
### Une révolution attendue: les OLED

Les luminaires à base de LED devraient également se démocratiser, avec des innovations surprenantes. A l'image de cet abat-jour, signé Philips et sorti en ce début d'année, qui éclaire non pas grâce à une ampoule mais parce qu'il est lui-même incrusté de dizaines de LED ! Mais la révolution viendra véritablement des OLED (diodes électroluminescentes organiques). Déjà utilisées

dans les écrans, ces diodes ont le pouvoir de rendre n'importe quelle surface lumineuse. Thomas Goblet, directeur commercial chez GE Lighting, imagine ainsi "l'arrivée, d'ici à trois ans, de stores lumineux flexibles à base d'OLED".

D'autres parlent de plans de travail ou carrément de murs éclairants. Mais, attention: "L'OLED n'est pas l'avenir de la LED, ce sera une technologie complémentaire", précise Laurent Massol, responsable du bureau d'études Led Engineering Development. La lumière émise est en effet beaucoup plus diffuse, et donc non directive. Les LED coexisteront donc sûrement avec ces surfaces lumineuses.

▼ Les OLED, capables de rendre lumineuse n'importe quelle surface, vont être à l'origine de divers systèmes: stores flexibles, plans de travail, murs éclairants, etc.



# Faites vous plaisir avec la sélection de SCIENCE&VIE

## Numérissez et préservez vos musiques préférées !

Ce convertisseur vous permet rapidement et simplement de transférer la musique de vos anciennes cassettes audio en fichier MP3 sur votre ordinateur. Vous pourrez ainsi la copier sur CD, l'écouter sur votre MP3 ou encore sur votre ordinateur.

Dim : 16,2 x 14,3 x 13,5 cm. Poids : 1,300 kg. Livré avec câble USB et logiciel sur CD. Port USB2.0. Haut parleur. Fonction auto-reverse. Bouton contrôle volume éclairage bleu. Eco-participation incluse.



59,90 €

Colieco OFFERT  
à partir de  
45 €

## Le plaisir de piloter enfin son hélicoptère !

Très léger, ultra-résistant et maniable, ce mini hélicoptère radiocommandé d'intérieur est facile à prendre en main et très précis à piloter. Livré assemblé, prêt à voler, il vous assure de vraies sensations de pilotage. Cet appareil va émerveiller les plus jeunes et séduire les plus grands !

Télécommande à infrarouge super large. Pile Li-poly intégrée pour une longue autonomie de vol. Temps de charge env. 20 min, temps de vol env. 10 min. Système unique rotor-pale pour décollage stabilisé. Réglage de Trim (équilibrage). Stabilisateur pour grande maniabilité. Bielle de transmission protégée. Manuel de pilotage fourni. Commande numérique proportionnelle à 2 canaux. Piles non fournies pour télécommande. Poids : 12 gr. Largeur : 4 cm. Longueur : 15,5 cm. De 8 à 88 ans. Ne convient pas aux enfants de moins de 3 ans. Éco-participation incluse.



29 €

## BON DE COMMANDE

A compléter et à retourner avec votre règlement à : Ma boutique Science & Vie  
BP 40306 - 37542 Saint-Cyr-sur-Loire cedex. Vous pouvez aussi commander par téléphone au 03 44 62 52 20

ARTICLE	RÉF.	QTÉ	PRIX	TOTAL
<input type="checkbox"/> Le convertisseur	342 931		59,90 €	
<input type="checkbox"/> L'hélicoptère	302 158		29 €	
Participation aux frais de port (cocher la case appropriée) :				
<input type="checkbox"/> Ma commande atteint 45 €			OFFERTS	
Ma commande n'atteint pas 45 € :				
<input type="checkbox"/> Livraison en colieco			+ 5,90 €	
<input type="checkbox"/> Livraison en colissimo			+ 8,90 €	
<b>TOTAL</b>				

Je règle par chèque à l'ordre de Science & Vie ou par carte bancaire :

N° de carte

Expire fin

Signature :

Cryptogramme\*

(\*3 derniers chiffres imprimés au dos de la carte bancaire)

### J'indique mes coordonnées :

VOTRE CODE AVANTAGE : 183 043

Nom

Prénom

Adresse (N° et voie)

Code postal  Ville

Téléphone

E-mail

Je souhaite recevoir les offres de Mondadori.

J'autorise Mondadori à communiquer mes coordonnées à ses partenaires.

Offre valable en France Métropolitaine dans la limite des stocks disponibles jusqu'au 31/03/2011

Expédition 3 semaines maximum à compter de la date d'enregistrement de votre commande

Selon l'article L121-20 du code de la consommation, vous disposez d'un délai de 7 jours pour nous retourner votre colis dans son emballage d'origine complet. Le droit de retour ne peut être exercé pour les enregistrements audio ou vidéo descellés. Les frais d'envoi et de retour sont à votre charge.

## La première voiture hybride diesel-électrique

annoncé au mois d'octobre à l'occasion du Mondial de l'automobile, le premier véhicule au monde équipé d'une double motorisation électrique et diesel est enfin commercialisé. Signé Peugeot, ce 3008 HYbrid4, équipé d'un filtre à particules, abrite sous son capot un diesel HDi d'une puissance de 163 ch qui met en mouvement les roues avant. Les roues arrière, elles, sont mues par un moteur électrique de 37 ch (27 kW) qui ne peut être rechargeé que par le mouvement du bloc thermique. Les deux motorisations peuvent fonctionner en alternance afin de réduire la consommation de carburant en ville (le moteur électrique offre une

autonomie de 3 à 4 kilomètres lorsqu'il est utilisé seul) ou en parallèle pour une conduite plus sportive en mode 4x4. Il suffit d'appuyer sur un bouton pour choisir le mode souhaité. Le 3008 HYbrid4 se positionne avant tout comme un véhicule tout-chemin destiné à des trajets extra-urbains, ce qui explique le choix d'un moteur thermique diesel. Selon le constructeur, en utilisant les deux moteurs en alternance, cet hybride consomme 30 % de carburant en moins qu'un moteur essence de cylindrée

comparable. En outre, grâce au système "stop&start", qui coupe le moteur à l'arrêt, il promet une consommation de 3,8 litres aux 100 km en cycle mixte, pour des émissions moyennes de CO<sub>2</sub> de 99 g/km. De quoi taquiner la Prius III, l'hybride essence de Toyota, qui annonce 3,9 l en cycle mixte et 89 g/km de CO<sub>2</sub>...

E.L.

Prix: à partir de 24 000 €.

Rens.: [www.psa-peugeot-citroen.com/fr](http://www.psa-peugeot-citroen.com/fr)





## UN VRAI PC DANS LA MAIN

Conçu par la société américaine Xi3, l'ordinateur Modular Computer est un cube en aluminium de 10 cm de côté seulement! Ses concepteurs ont développé une carte mère divisée en 3 éléments: une partie pour le processeur AMD Athlon 64 (cadencé de 1 à 2,2 GHz) et la mémoire RAM (de 2 à 4 Go) et les deux autres pour la connectivité (dont 6 ports USB). Ce PC est "modulaire" et personnalisable. On peut choisir différents éléments (RAM, processeur...) sur le site du constructeur. Mais le concept a des limites: l'alimentation et le disque dur ne sont pas intégrés (il a juste 8 Go de mémoire Flash)... et il n'est disponible qu'aux Etats-Unis.

P.R.

Prix: env. 750 €.

Rens.: [www.xi3.org](http://www.xi3.org)



Ça change la vie...

## La peinture "tactile" qui commande vos appareils électriques

Et si vous transformiez les murs de votre chambre en surface tactile capable d'allumer la lumière, éteindre la radio ou baisser les stores ? Mise au point par l'agence de design Nicolas Triboulot+Quarks et commercialisée par la société française 3,14 Innovations, la peinture On/Off réalise cette prouesse: elle convertit la surface sur laquelle on l'applique en interrupteur invisible. Fournie avec un boîtier électronique (interrupteur on/off ou variateur) destiné à détecter les contacts et à commander l'appareil électrique associé, la peinture sert de relais invisible. Conductrice, elle agit comme la couche capacitive transparente qui recouvre un écran tactile. Une simple pression sur le mur avec le doigt, la main, le coude... se traduit par une variation de capacité électrique (quantité de charges électriques pour un potentiel donné). A partir d'un certain seuil de variation, le boîtier active l'appareil électrique qu'il commande. Une prise électrique classique est également en cours de développement. De teinte grise, la peinture On/Off s'applique en sous-couche au rouleau ou au pinceau sur n'importe quel support et peut être recouverte de n'importe quelle peinture ou papier peint. Les personnes âgées ou à mobilité réduite gagneraient ainsi en accessibilité. Facile à poser, le produit sera commercialisé dès le mois de juin prochain. D.M.

Prix: à partir de 30 € le litre (rendement de 6 m<sup>2</sup>/l).

Rens.: [www.3.14innovations.com](http://www.3.14innovations.com)





## Ce clavier fonctionne à l'énergie solaire

Après le Slimstar 820 Solargizer commercialisé par Genius en 2007, le fabricant suisse Logitech lance, à son tour, son clavier solaire. Baptisé K750, celui-ci fonctionne exclusivement grâce à l'énergie lumineuse (on ne peut pas l'alimenter en piles). Naturelle ou artificielle, la lumière est captée par des cellules solaires intégrées, tandis qu'un luxmètre indique en permanence son niveau de charge. Il peut rester chargé pendant trois mois dans l'obscurité totale. Pour respecter encore plus l'environnement, ce clavier est conçu sans PVC et commercialisé dans une boîte entièrement recyclable.

Compatible avec Windows 7, Windows Vista et Windows XP, il fonctionne sans fil (il communique par ondes radio cryptées avec l'ordinateur) et ne mesure que 7,5 millimètres d'épaisseur. **C.H.**

Prix: env. 80 €.  
Rens.: [www.logitech.com](http://www.logitech.com)



## Des lunettes de ski avec ordinateur intégré pour savoir ses performances

Skieurs, skateurs et autres fans de glisses extrêmes pourront désormais chiffrer leurs exploits, vitesse ou hauteur de saut en pleine action. Equipées d'une puce GPS et d'un odomètre vertical, les lunettes aux verres polarisés haut de gamme Transcend GPS sont capables d'afficher en temps réel tous les paramètres d'une descente grâce à un petit ordinateur de bord alimenté par une batterie lithium-ion d'une autonomie de sept heures. Crées par l'américain Zeal Optics en partenariat



▲ Un ordinateur et son écran LCD intégrés dans ces lunettes permettent de connaître sa vitesse en temps réel.

avec le canadien Recon Instruments (pour l'électronique embarquée), elles possèdent un mini-écran LCD couleur incrusté en bas à droite à

l'intérieur de leur pourtour interne. Trois boutons sur le côté externe droit permettent de choisir les informations que l'on souhaite privilégier. Après chaque sortie, toutes les statistiques peuvent être récupérées sur un ordinateur via une prise USB. Indispensable pour retracer un parcours sur Google Maps ou connaître la vitesse ou la hauteur maximale atteinte pendant un saut spectaculaire.

**D.M.**

Prix: env. 500 €.  
Rens.: [www.transcendgps.fr](http://www.transcendgps.fr)





## L'ASPIRATEUR INTELLIGENT SANS "EFFET VENTOUSE"

Avec les aspirateurs habituels, impossible d'éviter l'effet "ventouse" quand on passe sur un tapis, à moins de régler manuellement la puissance. Le S6 Velvet de Miele, lui, détecte automatiquement le type de surface sur laquelle il passe et module sa puissance en fonction. Comment? Un capteur situé à la base de son tuyau contrôle en permanence le débit d'air entrant. Si celui-ci est élevé (carrelage), l'aspirateur maintient sa puissance (1200 W). En revanche, s'il est plus faible (tapis, voilages), la puissance est aussitôt réduite (jusqu'à 300 W). Ce modèle compact ne pèse que 4,5 kg. L.B.

Prix: env. 440 €.  
Rens.: [www.miele.fr](http://www.miele.fr)



## Une nouvelle génération de skis

Pour rendre le ski plus facile d'accès, notamment pour ceux qui le pratiquent seulement quelques jours dans l'année, le fabricant français Rossignol a conçu une toute nouvelle génération de skis paraboliques, baptisés Alias. Leur particularité: une forme révolutionnaire avec, pour la première fois, des parties avant et arrière légèrement surélevées (1,5 mm) appelées

"rockers". Ce détail, directement inspiré des courbes des planches de surf de mer, a son importance: comme les deux extrémités ne touchent pas la neige, les skis sont en effet beaucoup plus maniables. Ils tournent plus facilement dans les virages – un peu comme avec une direction assistée – sans avoir besoin de prendre de la vitesse au préalable, et ralentissent en

douceur. Le tout en conservant une bonne accroche. Sur la poudreuse, au contraire, les extrémités prennent appui sur la neige pour améliorer la stabilité. En fait, Rossignol a retravaillé tout le profil du ski parabolique, en accentuant notamment son cambré (courbure du ski sous le pied) et en jouant sur son épaisseur pour le rendre plus flexible. Les matériaux

utilisés restent, en revanche, classiques pour une paire de skis: bois et fibre de verre avec, selon les modèles, un renfort en carbone. L.B.

Prix: env. 300 € à 400 € selon modèle.  
Rens.: [www.rossignol.com](http://www.rossignol.com)

▼ **Inspiré de la courbe d'une planche de surf, le profil entièrement revu de ces skis leur permet une plus grande maniabilité.**





# Le premier vélo électrique véritablement tout-terrain

Ce vélo électrique au look futuriste affronte sans encombre les éléments : il est aussi à l'aise sur le sable que sur la glace ! Son créateur, Dane Hanebrink, un ancien ingénieur de la Nasa, l'a conçu au départ pour un explorateur à la recherche d'une alternative rapide et

maniable aux skis afin de silloner l'Antarctique. Dix années de développement ont été nécessaires avant de pouvoir commercialiser ce deux-roues. Il associe des matériaux performants issus de l'industrie aéronautique (cadre en alliage aluminium) aux éléments phares du vélo

de compétition : freins à disque hydraulique, pédales profilées en magnésium, moyeu à 14 vitesses et deux roues sans chambre à air... de 20 cm de large sur 8 cm d'épaisseur ! Mais c'est surtout sur le plan écologique que le bijou de la société américaine

Fortune Hanebrink frise l'excellence. Ce VTT est en effet équipé d'un moteur sans balais de 600 watts ainsi que d'une batterie lithium-ion délivrant 10 ampères d'électricité par heure et complètement rechargeable en trois heures. Ces deux caractéristiques offrent à ce deux-roues et à son passager une autonomie de six heures, soit une distance de 160 km sans pédalage à la vitesse moyenne de 26 km/h. Selon ce qu'affirme le constructeur, sa vitesse culmine à 65 km/h sur route plate. L.F.

Prix : de 2300 à 4200 €.  
Rens. : [www.fortunehanebrink.com](http://fortunehanebrink.com)



▲ Ce deux-roues vous emmènera sur la glace et, grâce à son petit moteur, vous fera parcourir 160 km sans pédaler.



▼ Grâce à un port USB3, ce minidisque dur de 120 Go peut atteindre un débit de 600 Mo/s.

## UN DISQUE DUR ULTRA-RAPIDE DÉGUISÉ EN CLÉ USB

Sous son allure de clé USB banale de seulement 33 grammes, la FastKey de LaCie est en fait un véritable disque dur, à base de mémoire Flash haut de gamme (la même que celle utilisée dans les disques SSD – Solid State Disk). Disponible en 3 capacités (30, 60 et 120 Go), elle affiche des performances hors du commun. Le modèle de 120 Go atteint un débit de 260 Mo/s en lecture et de 180 Mo/s en écriture contre "seulement" 210 et 70 Mo/s pour le modèle de 30 Go. L'utilisation d'un port USB3 – dont le débit maximum est de 600 Mo/s – permet de profiter pleinement de ses performances sur un ordinateur compatible. D.M.

Prix : env. 150, 250 et 450 € pour des clés de, respectivement, 30, 60 et 120 Go.  
Rens. : [www.lacie.fr](http://www.lacie.fr)



## Il y a 50 ans...

"Diablotin" ou, en version originale, "polliwog" : c'est le nom de ce minibaateau pliable, conçu en 1961 par un étudiant de l'université de l'Illinois. Construit en aluminium avec des charnières

en vinyle extrudé, il pesait 14 kg et n'excédait pas, plié, 1 mètre sur 60 cm. Un tel défi fit écrire au journaliste de S&V : "Si vous aimez la pêche, vous l'emporterez avec vous comme la plus

banale des valises." Le modèle reçut l'un des grands prix du Mérite décernés par la Compagnie américaine d'aluminium. M.V.

► Une fois pliée, cette barque en aluminium mesure 1 m sur 60 cm.



# LOCATION DE SKI EN LIGNE

[www.intersport.fr](http://www.intersport.fr)

\* Offre valable jusqu'au 30/04/2011 et non cumulable avec d'autres promotions. RCS EVRY B 964 201 123



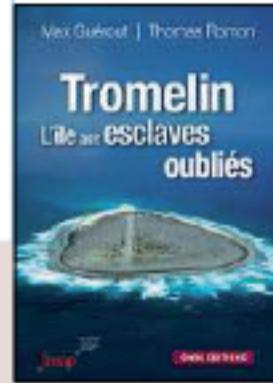
**20 à 40% de réduction**  
sur votre matériel de ski même pendant  
les vacances scolaires de février\*



# Enquête sur les naufragés de Tromelin

Comment ont-ils pu survivre ? En 1761, une soixantaine d'esclaves malgaches sont abandonnés sur l'île de Tromelin, dans l'océan Indien. Ils étaient à bord d'un navire négrier de la Compagnie française des Indes en partance pour l'île Maurice, jusqu'à son naufrage sur ce minuscule bout de terre désertique. Les autres membres de l'équipage, Français, ont tôt fait de rejoindre Madagascar grâce à une embarcation de fortune, bricolée avec les restes de l'épave. Les esclaves, eux, restent là, avec trois mois de vivres seulement et la fausse promesse d'un prochain secours. Quinze ans plus tard, lorsqu'une corvette vient enfin les sauver, ils ne sont plus que huit : sept femmes et un enfant de 8 mois. Que s'est-il passé sur l'île de Tromelin, atoll sablonneux de 1 km<sup>2</sup>, dépourvu d'arbres et battu par les vents ?

Après deux expéditions archéologiques menées en 2006 et 2008, et alors qu'une troisième est en cours, Max Guérout, du Groupe de recherche en archéologie navale, et Thomas Romon, de l'Institut national des recherches archéologiques, racontent pour la première fois leur terrible aventure. Les Malgaches ont-ils réussi à garder le feu ? Qu'ont-ils mangé ? Comment se sont-ils organisés ? Comme dans une enquête policière, les auteurs répondent en s'appuyant sur les découvertes réalisées lors des fouilles. Et des objets rafistolés en disent parfois plus long que n'importe quel récit : "Les récipients de cuivre maintes et maintes fois réparés symbolisent à la fois l'usure du temps mais aussi la volonté farouche qu'avaient les naufragés de survivre." Rafaële Brillaud



*Tromelin, l'île aux esclaves oubliés*  
Max Guérout, Thomas Romon,  
CNRS éditions/  
Inrap, 200 pages,  
19 €.



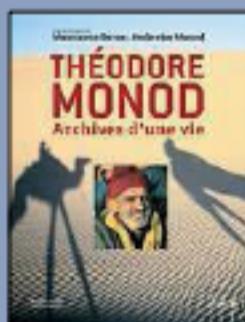


JEAN ECHENOZ  
DES ÉCLAIRS  
—  
Les éditions de minuit, 176 pages, 14,50 €  
**Biographie électrique**

Il s'appelle Gregor et emprunte au réel les traits et gestes de Nikola Tesla (1856-1943), ingénieur d'origine serbe et célèbre partisan du courant alternatif. Sous la plume du romancier Jean Echenoz, son existence s'énumère en un chapelet de chapitres courts et incisifs : départ pour les Etats-Unis, assistant puis rival d'Edison, dandy électrique dont les shows fascinent la foule,

inventeur éclectique et malheureux. *“Il en ira ainsi avec Gregor : les autres vont s'emparer discrètement de ses idées pendant que lui passera sa vie en ébullition*, résume l'écrivain. *La radio. L'air liquide. Les robots. L'accélérateur de particules. L'internet. J'en passe.*” Alors oui, Gregor est un personnage de fiction. Tandis que la naissance de Nikola par une nuit d'orage relève de la légende, Gregor voit le jour accompagné d'un *“éclair gigantesque, épais et ramifié, torve colonne d'air brûlé en forme d'arbre”* qui lui donne caractère et vocation. Mais pour qui ne connaît pas Tesla, peut-on imaginer plus savoureuse rencontre que celle-ci, avec Gregor pour intermédiaire ? R.B. ♦

## Et aussi...



### **PORTRAIT D'UN NATURALISTE**

*“Seuls l'horizon vide et le ciel immense donnent à l'homme sa vraie dimension”,* écrivait Théodore Monod. Sous la houlette de son petit-fils, cet ouvrage déroule la biographie du naturaliste à la barbe de sel, inlassable arpenteur de déserts, et dévoile dessins, photos et manuscrits inédits. Touchant et passionnant. R.B.

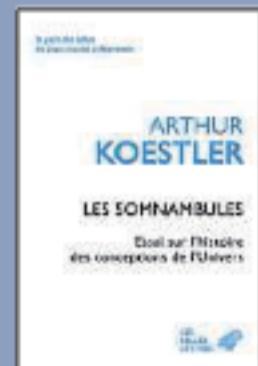
*“Théodore Monod, archives d'une vie”, Chêne, 288 pages, 45 €.*



### **SUIVEZ LA POLICE SCIENTIFIQUE**

L'élucidation d'un crime tient parfois à un poil, une goutte de sang,

une vague empreinte, des traces d'ADN, quelques lettres tracées à la plume ou à l'intonation d'une voix. A travers 50 études de cas, ce livre judicieux et clair détaille le travail de la police scientifique. R.B. *“La police scientifique mène l'enquête”, Dunod, 176 pages, 17 €.*



### **RÉDITION INSPIRÉE**

Quand le Hongrois Arthur Koestler s'empare des biographies de Copernic, Kepler et Galilée, cela donne une histoire rigoureuse des conceptions de l'Univers, mêlée d'un roman inspiré et d'un essai controversé. Les belles lettres rééditent *Les Somnambules*, publiés en 1959.

Daté certes, mais doté d'un souffle indéniable. R.B. *“Les Somnambules”, Les belles lettres, 608 pages, 13 €.*

# BIENVENUE DANS LE NANOMONDE

UN FILM EN 4 ÉPISODES DE CHARLES-ANTOINE DE ROUVRE ET JÉRÔME SCEMIA PRODUIT PAR LA COMPAGNIE DES TAXI-BROUSSE

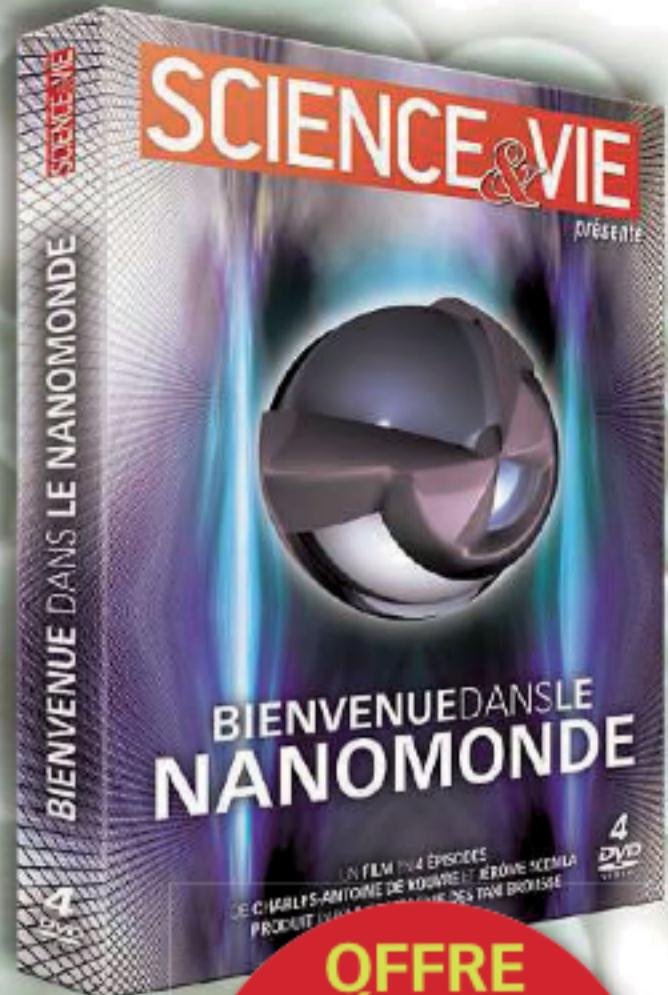
## UN COFFRET PRESTIGE 4 DVD



3 h 30 de programme

### 4 ÉPISODES

- DU MICRO AU NANO
- DES NANOS AUTOUR DE NOUS
- DES NANOS EN NOUS
- NANOMONDE ET MAXITROUILLE



Science & Vie vous propose d'acquérir en exclusivité ce documentaire exceptionnel sur les nanotechnologies sélectionné par la rédaction, au prix exceptionnel de 34,90 €.

OFFRE SPÉCIALE!  
**34€90**  
SEULEMENT  
*Frais de port offerts!*

Un nouveau monde est en train de naître... Une révolution scientifique est en marche qui pourrait profondément modifier notre avenir au quotidien dans de multiples domaines : la médecine, l'informatique, les communications, l'environnement... Cette grande révolution est celle de l'infiniment petit, et de l'avènement du nanomonde : les nanosciences et les nanotechnologies. *Bienvenue dans le nanomonde* nous entraîne à la découverte de ce monde fascinant et méconnu, parfois préoccupant...

**Sélections et prix :** Sélectionné au Festival Paris Science 2010 • Grand Prix Silver Dragon Award au CISEP 2010 (Chine) • Sélectionné au Festival 2010 du Film Scientifique d'Asie du Sud Est de Bangkok • Prix vidéo de l'enquête scientifique au Festival du Scoop à Angers 2009 • Nominé pour le Prix Roberval 2010.



## BON DE COMMANDE

À RETOURNER SOUS PLI AFFRANCHI AVEC VOTRE RÉGLEMENT À  
SCIENCE & VIE - SERVICE VPC - 1, RUE DU COLONEL PIERRE AVIA 75503 CEDEX 15

**Oui**, je commande le coffret prestige 4 DVD « Bienvenue dans le Nanomonde », au prix de 34,90 € (Frais de port compris)

Le total de ma commande est de ..... €

Je règle par :

Chèque bancaire ou postal à l'ordre de Science & Vie       Carte bancaire

N°

Expiré à fin

Code crypto les 3 chiffres au dos de votre CB

Voici mes coordonnées :

Si vous êtes abonné, votre N° (1 lettre et 7 chiffres) : \_\_\_\_\_

Nom : \_\_\_\_\_

Prénom : \_\_\_\_\_

Adresse : \_\_\_\_\_

Complément d'adresse : \_\_\_\_\_

Code postal :

Ville : \_\_\_\_\_

Tél :

Grâce à votre n° de téléphone (portable) nous pourrons vous contacter si besoin pour le suivi de votre commande

Email : \_\_\_\_\_

Je souhaiter recevoir des newsletters du magazine et des offres promotionnelles des partenaires de Science & Vie (groupe Mondadori). Conformément à la loi informatique et libertés du 06/01/1978, vous disposez d'un droit d'accès aux données personnelles vous concernant. Par notre intermédiaire, vous pouvez être amené à recevoir des propositions d'autres sociétés ou associations. Si vous ne le souhaitez pas, il vous suffit de nous le dire en nous indiquant vos nom, prénom, adresse et, si possible, votre référence client.

Offre valable en France métropolitaine dans la limite des stocks disponibles jusqu'au 31/12/2011. Vous recevez votre coffret dans un délai de 6 semaines après traitement de votre commande.

COMMANDEZ EN LIGNE SUR LE SITE

**www.kiosquemag.com**

C'EST RAPIDE, PRATIQUE, FACILE ET SÉCURISÉ

Vous pouvez aussi commander par téléphone au 01.46.46.47.08

Date et signature obligatoires

611913



COFFRET DVD

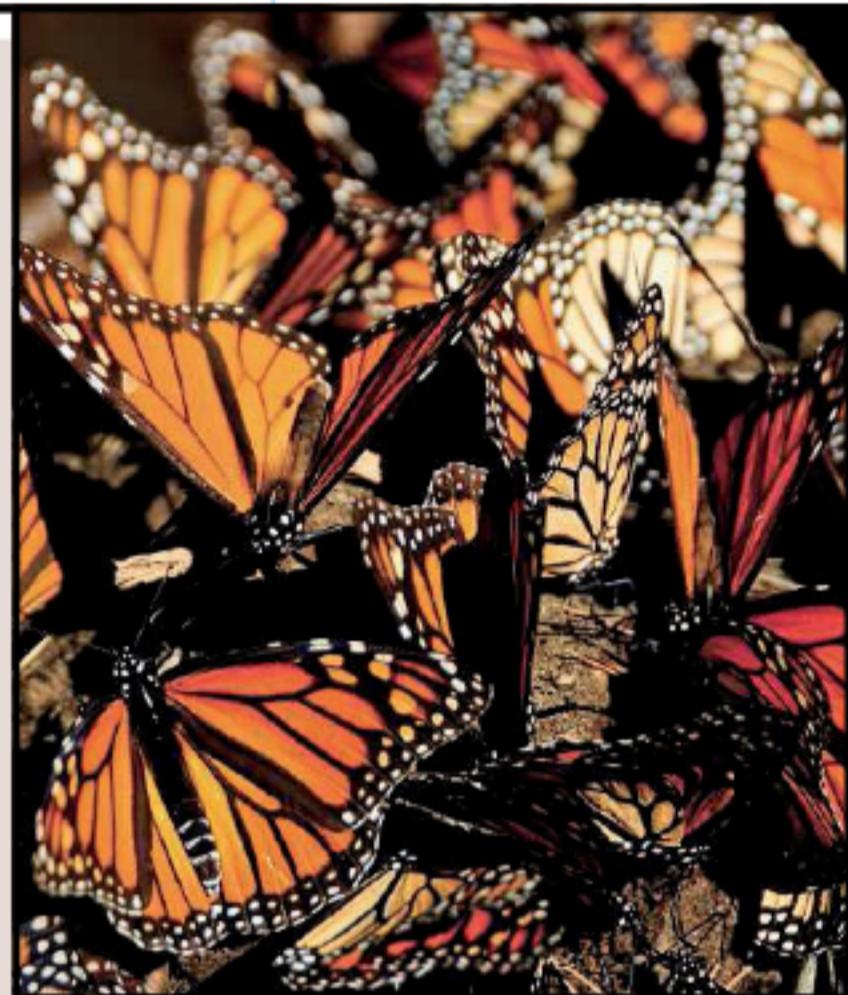
# Dans les coulisses des espèces migratoires

*Quel est le point commun entre le crabe rouge des îles Christmas, la fourmi légionnaire du Costa Rica, le grand cachalot des Açores et le zèbre du Botswana ? Ce sont tous des animaux migrants.*

*Mais pourquoi ces espèces migrant-elles ?*

*Comment ? Quand ? Et surtout pour combien de temps encore ? La National Geographic Society a réalisé quatre documentaires de 52 minutes, qui sont de véritables études scientifiques permettant de percer un peu le mystère de cet étrange instinct de migration que partagent les insectes les plus simples comme les mammifères les plus évolués.*

*On migre pour manger, se reproduire ou fuir les affres d'un climat trop rude. En bonus, l'éditeur nous*



*livre le quotidien des scientifiques qui étudient les migrations et nous montre les coulisses de cette grande fresque qui aura nécessité trois ans de tournage dans 20 pays, totalisant 680 000 km !* Er.H. ♦

*"Les Grandes Migrations"*, DVD ou Blu-ray, National Geographic Society, éditions One Plus One, 39,99 €. Rens. : [www.oneplusone.fr](http://www.oneplusone.fr)



## CONFÉRENCES-DÉBATS

### Quels mondes à venir ?

Jamais le futur n'a été aussi présent. Interrogation sur l'après-pétrole, sur les conséquences du réchauffement climatique, sur les capacités de la planète à nourrir le monde... Bref, l'avenir inquiète en ce début de XXI<sup>e</sup> siècle. Un mal d'aujourd'hui ? Ou en a-t-il toujours été ainsi ? Pour le savoir, Cap-Sciences organise jusqu'en juin prochain un cycle de conférences et débats intitulé "Un avenir nommé désir". Une fois par mois, chercheurs, politiques, philosophes, sociologues

seront invités à donner leur point de vue et à débattre avec le public. Ce mois-ci, "Voyage dans la pensée du futur" s'intéressera à la manière dont les hommes d'aujourd'hui cherchent à comprendre et à anticiper ce qui se passera demain. Une pensée du futur confiée aux scientifiques, économistes, historiens, climatologues et plus récemment aux spécialistes d'une nouvelle discipline : la prospective. Er.H. ♦

"Voyage dans la pensée du futur", conférences-débats, le 7 février de 17 h 30 à 19 h 30, à la bibliothèque municipale de Bordeaux. Rens. : [www.websites.cap-sciences.net/theatrede la science](http://www.websites.cap-sciences.net/theatrede la science)



## EXPOSITION

**Les animaux inconnus de nos villes**

Pigeons, mouettes, rats... se rencontrent facilement en ville. Mais si, comme Laurent Geslin (*Terre Sauvage*) et onze passionnés de l'Association sportive de chasse photographique française, on a la patience de parcourir un an durant les villes de la région parisienne, quand tout le monde dort ou presque, on peut

tomber nez à nez avec d'autres espèces plus étonnantes... L'expo présente 73 clichés de ces rencontres insolites, qui démontrent l'incroyable potentiel d'adaptation du vivant. **Er.H.**

"Architecture et biodiversité – patrimoines d'Ile-de-France", au Parc Floral de Paris.  
Rens.: [www.parcfloraldeparis.com](http://www.parcfloraldeparis.com)



## CINÉMA

**Dinosaures aquatiques**

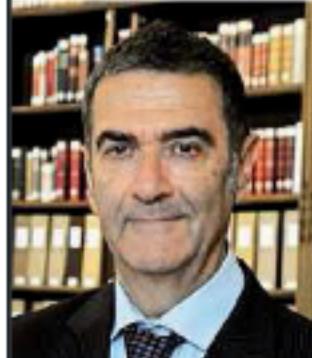
Quoi de mieux que l'écran géant 3D de la Géode pour s'immerger dans un univers qui n'existe plus: celui des dinosaures aquatiques qui vivaient il y a 200 millions d'années? Réalisé sous la houlette de spécialistes du Muséum national d'histoire naturelle, le film pour être distrayant et saisissant n'en est pas moins un documentaire scientifique présentant fidèlement quelques espèces de reptiles marins dans leur environnement. **Er.H.**

"Océanosaures 3D, voyage au temps des dinosaures", de P. Vuong et R. Chapalain, à partir du 2 février, à la Géode. Rens.: [www.lageode.fr](http://www.lageode.fr)

## LIVRES AUDIO

**Les voix de la science**

L'Académie des sciences et l'éditeur De Vive Voix viennent d'enrichir leur collection de livres audio consacrés à la science. Parmi les nouvelles sorties, *Jongler avec la lumière, une exploration du monde quantique* par le physicien Serge Haroche, *Nouveaux regards sur l'Univers* par l'astrophysicien Pierre Léna, ou encore *Espace, temps, matière et force: d'Einstein à la théorie des cordes* par le théoricien Thibault Damour. En librairie ou sur le site [www.devivevoix.fr](http://www.devivevoix.fr). **Er.H.**



"L'Académie raconte les sciences", de l'Académie des sciences et De Vive Voix, 9,90 €. Rens.: [www.academie-sciences.fr/publications/autres/cd\\_de\\_vive\\_voix.htm](http://www.academie-sciences.fr/publications/autres/cd_de_vive_voix.htm)

**Le ciel du mois**

Par Serge Brunier



▲ Castor (à dr.) et Pollux brillent toutes deux 30 fois plus que le Soleil.

**Le point de vue de Castor**

Dans le ciel d'hiver, Castor et Pollux, qui passent non loin du zénith entre 22 heures et 23 heures, sont deux brillantes étoiles situées en apparence l'une à côté de l'autre. A l'œil nu, Pollux semble près de deux fois plus lumineuse que Castor même si leur éclat intrinsèque est le même: elles brillent toutes deux 30 fois plus que le Soleil. Cette différence est due à leurs distances différentes, 34 années-lumière pour Pollux, 50 pour Castor. Les deux étoiles sont pourtant proches; 16 années-lumière seulement les séparent. Vue depuis Castor, la vision de l'éclatante Pollux doit être magique. En revanche, à ses côtés, notre pâle Soleil... est bien difficile à percevoir sans instrument.



Retrouvez la chronique "Du côté des étoiles" sur France Info tous les samedis et sur [www.france-info.com](http://www.france-info.com)

## Les phases de la Lune

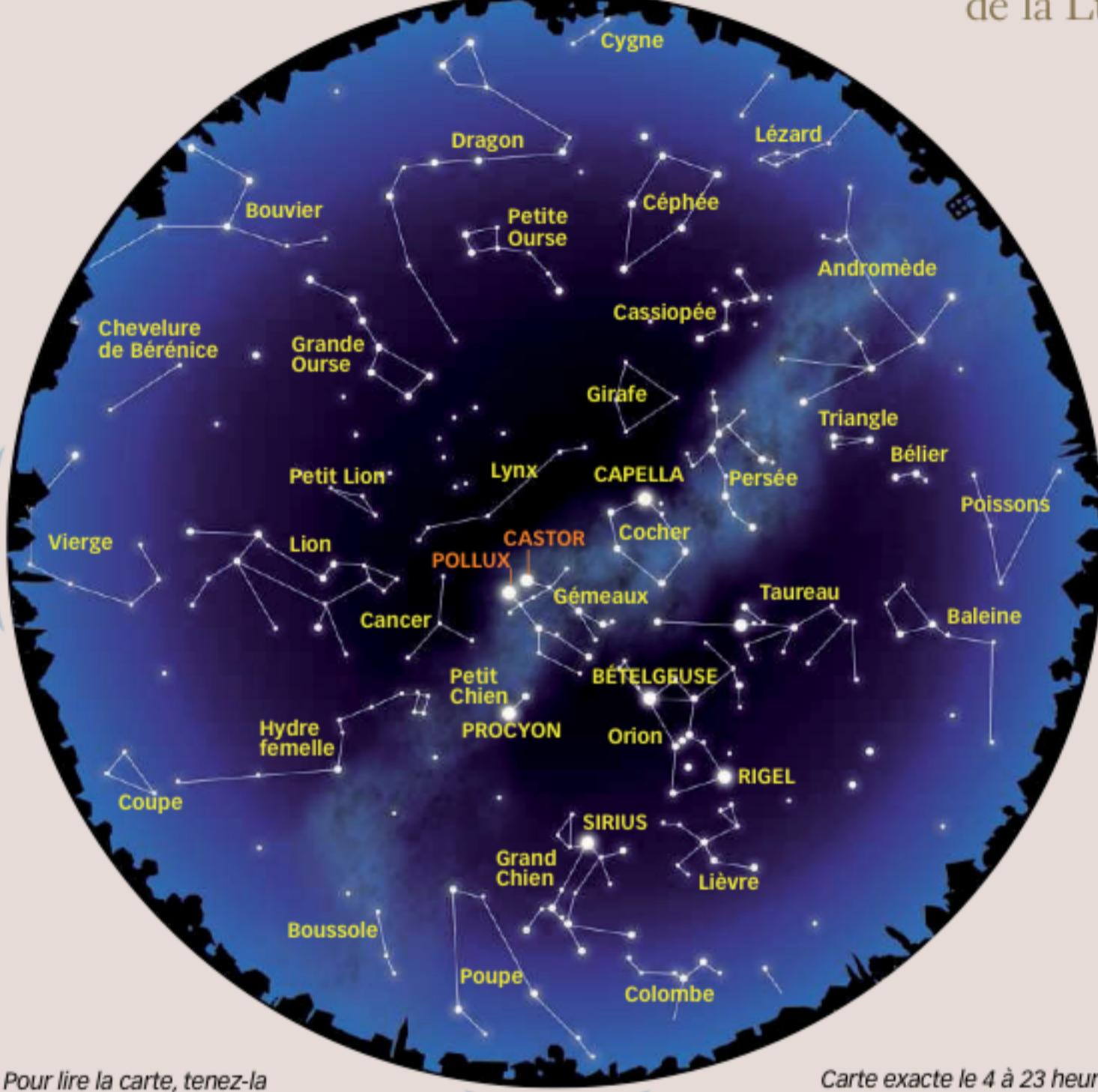


NORD

SUD

EST

OUEST



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 4 à 23 heures



## A ne pas manquer... le 20

Rendez-vous avec Saturne... La Lune est un bon point de repère pour la trouver: ce soir, elle sera à droite de la planète; demain, elle passera dessous. Si Saturne est visible à l'œil nu, c'est surtout contemplée avec un instrument d'optique qu'elle est captivante. Comme elle ne se trouve pas dans l'axe Soleil-Terre, jusqu'en mars, il sera possible d'observer l'ombre qu'elle projette sur ses anneaux... Ce spectacle magnifique peut être contemplé avec de modestes instruments grossissant 100 à 200 x. L'impression de relief que donnent les anneaux et l'ombre projetée sur eux est saisissante.

◀ L'ombre projetée par Saturne sur ses anneaux offre un relief étonnant.



## APPLICATION

# Tout le cosmos dans votre poche

*Avis aux heureux propriétaires d'iPhone : le CNES vient de lancer une toute nouvelle application consacrée à l'espace et téléchargeable gratuitement sur le site d'Apple. Grâce à elle, recevez sur votre iPhone ou votre iPod touch toute l'actualité spatiale ; visionnez films et reportages ; téléchargez des images satellite marquantes ; écoutez des chroniques audio réactualisées chaque mois ; accédez au programme des expositions ou tout autre événement lié à l'espace... sans oublier de vous divertir*



*en jouant à construire la fusée Ariane. Les menus sont intuitifs et clairs, et le contenu vaste. Ce site est bien entendu en français, ce qui est une qualité assez rare pour être relevée.*

Er.H.

<http://itunes.apple.com/fr/app/cnes/id403538004?mt=8>



## CONFÉRENCES EN LIGNE

### Séances de rattrapage

Cité des sciences et de l'industrie, Conservatoire national des arts et métiers, Institut Curie, Collège de France, BNF... Toutes les conférences en sciences et sciences humaines enregistrées par nos grandes institutions ont été réunies sur un site unique. Nous vous recommandons, par exemple, la conférence d'Hervé Cottin (université Paris-Est Créteil) sur l'existence d'une vie extraterrestre.

Er.H.

[www.franceculture.com/culture-academie](http://www.franceculture.com/culture-academie)

## JEUX COGNITIFS

### Musclez votre mémoire

Mieux que le Sudoku, mieux que la Nintendo DS, voici memo-Technik ! Toutes celles et ceux qui souhaitent développer leur mémoire trouveront sur ce site une méthode mise au point et validée par deux chercheurs du Laboratoire de neuroscience intégrative et adaptative de l'université de Provence. Ce site est payant, mais une version gratuite du logiciel est aussi accessible en ligne.

Er.H.

[www.memo-technik.fr](http://www.memo-technik.fr)



## COURS EN LIGNE

### La liberté d'apprendre

Comment occuper intelligemment ses loisirs ? En s'inscrivant à l'université du temps libre (UTL-Essonne), une université "sans diplôme et ouverte à tous les âges". On remplit le formulaire en ligne, on reçoit sa carte d'étudiant, on choisit son programme parmi 180 conférences et 320 activités, notamment scientifiques, et on s'instruit. A la fin, il n'y a pas d'examen... Le rêve.

Er.H.

[www.utl-essonne.org](http://www.utl-essonne.org)

## Enquête

Cher ami lecteur,

Numéro après numéro, nous mettons tout en œuvre pour mériter votre confiance. Et c'est pour cela qu'aujourd'hui nous faisons appel à vous.

Nous souhaiterions vous associer à notre réflexion sur Science & Vie dans le but de réaliser des numéros qui correspondent aussi parfaitement que possible à vos attentes et à celles de tous les lecteurs. Aussi souhaiterions-nous vous donner la parole ! Que pensez-vous de Science & Vie en général ? **Et de ce numéro en particulier ?** Quels articles vous ont attirés et comment les avez-vous appréciés ?

Lisez votre magazine comme d'habitude et ayez la gentillesse de participer à notre enquête quand vous aurez lu ce numéro, si possible dans les prochains jours.

**Pour participer, rendez-vous sur [www.enqueteSV.fr](http://www.enqueteSV.fr)**

**Nous avons vraiment besoin de vos réponses,** qu'elles soient critiques ou élogieuses, que vous ayez lu beaucoup d'articles dans ce numéro ou très peu. Votre aide nous est précieuse.

Très cordialement.

Matthieu Villiers  
Directeur de la rédaction

# La rédaction de SCIENCE & VIE a besoin de vous !

Que vous connaissiez très bien Science & Vie ou très peu (même si vous le lisez pour la première fois), votre avis nous intéresse !

**Répondez à notre enquête sur [www.enqueteSV.fr](http://www.enqueteSV.fr)**

et participez à l'amélioration de Science & Vie !



## De quoi êtes-vous sûr sans pouvoir le démontrer ?

Je pense que l'humain ne remarque que ce qui lui semble trop simple par rapport à une situation normale. Ainsi, les gens passent un tiers de leurs conversations à narrer des événements dont les sujets sont la plupart du temps "trop simples". Est simple ce qui se résume de la façon la plus courte. Pour discerner une situation normale d'une autre, il faut beaucoup d'informations. Au contraire, une exception est simple, facile à isoler. Une coïncidence aussi : il est plus facile de résumer les anniversaires de deux personnes si elles ont la même date de naissance. Je pense que si nous passons notre temps à échanger des informations sur des situations simples, c'est que cela a présenté un avantage dans le passé de notre espèce. Pour le dire vite : le renseignement a remplacé la force après l'invention des armes. Quand les chimpanzés affichent leurs muscles, nous affichons notre capacité à voir ce qui est trop simple, l'imprévu.



## Qu'est-ce qui vous semble important et dont on ne parle jamais ?

Le rôle du langage dans la constitution et le maintien de nos liens d'amitié et de solidarité. Le langage représente un tiers de notre temps éveillé. Nous prononçons en moyenne 15 000 mots par jour. Pourtant, il y a un grand manque dans l'investigation scientifique à propos du contenu des conversations, de ce qu'on se dit et, surtout, de pourquoi on le dit. Les linguistes s'intéressent au langage de manière abstraite,

indépendamment des locuteurs. Les sociolinguistes, eux, se concentrent sur les relations entre les personnes. Le contenu du langage a l'air d'aller de soi. Mais cela n'a aucun sens ! Ce qui me semble essentiel, c'est qu'on se jauge mutuellement, de manière continue, à travers la pertinence de ce que l'on a à dire. Nous sommes amis avec les gens qui nous semblent pertinents. Arrêtez de dire des choses pertinentes – en

Spécialiste du langage, il est maître de conférence à l'Ecole nationale supérieure des télécommunications. Il est l'auteur de *Aux origines du langage* (Hermès, 2000) et *La pertinence et ses origines cognitives* (Hermès-Lavoisier, 2008).

## Qu'est-ce qui vous a déjà fait changer d'avis ?

C'est la découverte du rôle cognitif des émotions. Comme beaucoup, j'ai longtemps considéré les émotions comme quelque chose qui ne pouvait que gêner la rationalité, la prise de décision. Pourtant, dans les années 1990, il a été établi que les émotions prennent une part prépondérante dans notre rationalité. J'ai ainsi compris, tardivement, que les émotions sont passionnantes à étudier parce que nombre d'entre elles sont calculées. On a l'impression qu'elles sont spontanées, mais c'est faux. Notre cerveau "calcule" nos émotions. Un exemple : vous jouez avec une "roue de la fortune". Vous avez un seul secteur gagnant sur la roue. Vous tombez à 2 cm de ce secteur : vous êtes malheureux. Découpez ce secteur gagnant en 5 secteurs identiques, plus petits, répartis sur toute la surface de la roue. La probabilité de gagner n'a pas changé. Et pourtant, si vous tombez à 2 cm d'un secteur gagnant, vous serez moins intensément déçu. L'intensité de l'émotion est modulée par un calcul inconscient.

racontant qu'il y a quatre murs dans la pièce et une lampe au plafond – et, dans le meilleur des cas, s'il vous reste des amis, ils vous amèneront à l'hôpital psychiatrique. Après manger et dormir, la chose peut-être la plus importante dans notre vie, c'est la pertinence de ce que l'on dit. Ce lien entre langage et réseau social, très peu d'auteurs l'ont souligné. Mais ça nous donne une piste pour comprendre pourquoi on parle. \*

# 2010

## INDEX THÉMATIQUE

Par Marie-Anne Guffroy

Chers Lecteurs,

Voici l'index 2010 de tous nos articles publiés pendant l'année. Cet index couvre également les parutions de *Science & Vie* hors-série, les *Cahiers de Science & Vie*, nos éditions spéciales et les *Questions-Réponses*.

Cette année marque la dernière édition papier : très prochainement, *Science & Vie* ouvrira pour ses abonnés un nouvel espace de recherche d'articles parus ces vingt dernières années avec un accès dans leur intégralité.

Pour nos lecteurs les plus assidus mais sans abonnement, *Science & Vie* mettra en ligne un index des articles à télécharger et à enregistrer sur leur disque dur.

Bien sûr, nous vous tiendrons informés.

### Science & Vie mensuel – Numéros 1108 à 1119

### Science & Vie hors-série (trimestriel) – Numéros 250 à 253

(n° 250 mars : Le retour des grandes expéditions; n° 251 juin : Cancer, comprendre, prévenir, guérir; n° 252 septembre : Voir l'invisible; n° 253 décembre : Les nanotechnologies)

### Les Cahiers de Science & Vie (bimestriel) – Numéros 115 à 120

(n° 115 février : Rome, comment tout a commencé; n° 116 avril : Mésopotamie, le berceau de notre civilisation; n° 117 juin : Le roi Arthur; n° 118 août : Les origines des langues; n° 119 octobre : Versailles, le pouvoir et la science; n° 120 décembre : La ville au Moyen Age)

### Les Cahiers de Science & Vie édition Spéciale (CSS)

(Les sciences au Château de Versailles)

### Science & Vie édition spéciale – Numéros 30 et 31

(n° 30 : Dan Brown et le symbole perdu; n° 31 : Automobile 2010)

### Science & Vie Questions - Réponses – Numéros 5

(n° 5 : Spécial vie quotidienne)

### SIGNIFICATION DES ABRÉVIATIONS

Les lettres figurant dans la colonne "Type" désignent :

**A** : un article du mensuel

**B** : un article court du mensuel (une page ou moins)

**F** : un texte du Forum, notre courrier des lecteurs

**HS** : un article paru dans *Science & Vie* hors-série

**CS** : un article paru dans les *Cahiers de Science & Vie*

**ES** : un article paru dans une édition spéciale de *Science & Vie* ou un *Questions-Réponses*

### SOMMAIRE

#### UNIVERS, TERRE, HOMME

Astronomie / Astrophysique / Astronautique ..... p. 128

Terre / Océan / Géologie / Cartographie ..... p. 128

Environnement / Écologie / Énergie / Climat ..... p. 129

Archéo / Paléo / Anthro / Ethnologie ..... p. 130

Botanique / Zoologie / Éthologie / Biodiversité ..... p. 130

Agriculture / Elevage / Pêche / Alimentation ..... p. 131

Biologie moléc. / Génét. / Sexualité / Évolution ..... p. 131

Santé / Médecine / Physiologie / Cerveau ..... p. 132

Éducation / Recherche / Communic. / Société ..... p. 135

Mathématiques / Jeux / Curiosités ..... p. 135

#### PHYSIQUE, CHIMIE, TECHNOLOGIE

Physique / Chimie ..... p. 135

Inventions / Techniques / Industrie / Bâtiment ..... p. 136

Aviation / Armement / Défense ..... p. 136

Véhicules / Transports ..... p. 137

Loisirs / Photo / Sport / Maison / Bureau ..... p. 137

Électronique / Informatique / Virtuel ..... p. 137

Télévision / Vidéo / Son / Multimédia ..... p. 138

Téléphone / Télécoms / Réseaux / Internet ..... p. 138

#### HISTOIRE, SOCIÉTÉ, ESPRIT

Histoire / Histoire des sciences ..... p. 134

## UNIVERS, TERRE, HOMME

## ASTRONOMIE / ASTROPHYSIQUE / ASTRONAUTIQUE

	Type	N°	Page				
Astéroïdes (à la conquête des)	A	1118	48	Système solaire (une simulation dévoile l'évolution du)	B	1119	24
Astéroïdes (on a vu les restes d'une collision)	B	1111	32	Télescope (c'est ici que sera construit le plus grand)	B	1113	34
Astronautes (la vie pas si rêvée des)	HS	250	126	Télescope, le fabuleux E-ELT en avant-première	A	1117	94
Astronomie (l') ou la nouvelle cohésion du monde	CS	119	108	Trou noir (un superlaser a recréé les abords d'un)	B	1108	10
Aurores (au pays des chercheurs d')	HS	250	118	Trou noir (un) a bien pu être recréé en laboratoire	B	1119	22
CCD (un capteur) de 112 millions de pixels !	B	1111	18	Trou noir supermassif (un) semble avoir fui sa galaxie	B	1115	24
Ciel (les bases de la vie sont-elles tombées du)	B	1108	14	Trous noirs (certains) seraient éjectés de leur galaxie	A	1119	100
Ciel sur mesures (lectures du)	CS	116	86	Trous noirs (les) créateurs du monde	A	1111	54
Comète (le pôle Sud aurait livré des poussières de)	B	1114	24	Trous noirs (les) recréés en laboratoire	A	1114	98
Eau (de l') repérée depuis la Terre dans un disque planétaire	B	1111	17	Univers (la plongée la plus profonde dans l')	B	1109	11
Epsilon (le mystère des éclipses d') enfin élucidé	B	1113	32	Univers: voir plus loin	HS	252	22
Espace (l'eau terrestre vient de l')	A	1109	82	Univers exploré (l')	HS	252	115
Etoiles (le champ magnétique des) ne viennent pas de leur rotation	B	1116	14	Uranus (ce n'est pas un choc qui a fait basculer)	B	1111	31
Etoiles (le couple d') le plus serré vient d'être observé	B	1112	22	Vénus (des volcans actifs ont été observés sur)	B	1113	26
Etoiles à neutrons (les) ont une atmosphère de carbone	B	1109	18	Voile solaire (la première sonde à) a pris son envol	B	1114	48
Etoiles noires (les) seraient les premiers astres	A	1110	92				
Etoiles noires et Wimps – précision 1110	F	1112	11				
Exoplanète (ils ont capté le spectre d'une)	A	1110	24				
Exoplanètes rétrogrades (des) ont été repérées	A	1116	20				
Exploration aérospatiale (200 ans d')	HS	250	140				
Galaxie la plus lointaine (la) a été repérée	B	1119	18				
Galaxies (la collision de deux) en haute définition	B	1119	12				
Galaxies naines (les) se dévoilent enfin	B	1110	18				
Hayabusa l'incroyable retour de la sonde prodigue	A	1113	98				
Hayabusa récupérée après sa collision avec un astéroïde	B	1115	13				
Herschel a photographié des étoiles en train de naître	B	1114	16				
Hubble, la relève est assurée	A	1108	93				
Jason-2 (le satellite) donne sa position à 4 cm près	B	1112	14				
Jupiter (la tache rouge de) livre ses secrets météo	B	1112	12				
Lune (la première carte globale de la)	B	1118	14				
Lune (la) se rétrécit	B	1117	20				
Lune (un satellite a retrouvé les traces de pas sur la)	B	1108	8				
Lunes (des) naissent aujourd'hui	B	1115	22				
Mars (la lune de) s'est formée comme la nôtre	B	1119	26				
Mars (la Nasa met le cap sur)	A	1113	80				
Mars (un immense océan recouvrait un tiers de)	B	1115	18				
Mars devra attendre	HS	250	132				
Matière noire (la) est à portée de main	B	1109	22				
Moteur à plasma (objectif Mars en 39 jours avec le)	A	1115	98				
Moteur à plasma (objectif mars) - précision 1115	F	1117	9				
Moteur à plasma (un) sera bientôt installé sur l'ISS	B	1111	52				
Nasa (la) teste le propulseur le plus puissant du monde	B	1118	46				
Navette VSS Enterprise (la future) a réussi son premier vol	B	1119	51				
Observatoire de Paris, l'instrument des visées royales	CS	119	24				
Planète habitable: la meilleure candidate a été découverte	B	1118	16				
Planètes (les) absorberaient le lithium stellaire	B	1108	16				
Planètes (les) sont-elles forcément rondes ? Q/R	B	1115	114				
Planètes (on peut mieux peser les)	B	1118	20				
Planètes (on sait pourquoi les) survivent à leur étoile	A	1112	96				
Pluton détaillée comme jamais	B	1111	18				
Robot androïde (un) débarque dans l'espace	B	1116	41				
Solaire spatial - suite 1114	F	1117	9				
Solaire spatial (le défi fou du)	A	1114	84				
Soleil (la naissance du) un scénario convaincant	A	1116	82				
Soleil (le) photographié en très haute définition	B	1113	11				
Soleil en panne (le)	A	1119	52				
Soleil, une vague de plasma a été filmée	B	1109	20				
Supernova (une) a été vue en trois dimensions	B	1113	24				
Sursauts gamma (les) pourraient tester la relativité	B	1110	20				
Système solaire (le premier) semblable au nôtre identifié	B	1117	14				
<b>TERRE / OCÉAN / GÉOLOGIE / CARTOGRAPHIE</b>							
Abysses (plongée dans les)	HS	250	44				
Andes (les) se sont érigées moins vite qu'on le pensait	B	1113	42				
Antarctique (la carte 3D du massif qui se cache sous)	B	1115	15				
Atlantique (l') a brutalement rempli la Méditerranée	B	1109	32				
Biodiversité tropicale (l'origine de la) se cache dans le sol	B	1117	40				
Canyon (ce) profond de 7 m s'est creusé en 3 jours	B	1116	30				
Cartographie, le monument des Cassini	CS	119	48				
Congo (au) un cratère d'impact géant aurait été découvert	B	1112	32				
Courant marin profond (le) le plus rapide a été mesuré	B	1114	35				
Courants océaniques (qu'est-ce qui provoque les) ? Q/R	B	1114	115				
Deltas du monde (les) prennent l'eau	A	1111	74				
Diamants (les points chauds volcaniques exhument des) !	B	1116	31				
Eau (80 % de la population dépend de cours d') menacés	A	1119	34				
Eau potable et santé	A	1112	30				
Eau terrestre, elle vient de l'espace	A	1109	82				
Eruption (une) aurait refroidi la Terre il y a 200 ans	B	1109	31				
Exploration terrestre (500 ans d')	HS	250	98				
Géologie (la Vallée des Rois à l'assaut de la)	A	1110	105				
Glacier (l'eau d'un) évacué pour éviter une catastrophe	B	1117	18				
Glaciers (les) protègent aussi les montagnes de l'érosion	B	1118	38				
Glaciers (pourquoi les) sont-ils blanc ou bleu ? Q/R	B	1112	118				
Glaciers d'Asie (la fonte des) sera moins grave que prévu	B	1115	32				
Glissement de faille (un) ne cause pas toujours un séisme	B	1114	36				
Hivers rudes (un soleil faible entraîne des) en Europe	B	1113	38				
Jason-2 (le satellite) donne sa position à 4 cm près	B	1112	14				
Longitude (la) remet les pendules à l'heure	CS	119	102				
Manteau terrestre (la base du) abriterait un océan de magma	B	1118	36				
Mers (fertiliser les) les rendrait bel et bien toxiques	B	1112	34				
Océans (la couleur des) influence les cyclones	B	1118	36				
Océans tièdes (il y a 3,4 milliards d'années)	B	1108	27				
Pacifique (la hausse du niveau de la mer ne noie pas les îles du)	B	1115	34				
Pacifique (les vagues du) briserait la glace en Antarctique	B	1111	40				
Poids de la Terre (le) est-il constant ? Q/R	B	1111	116				
Pôle Sud (le) aurait livré des poussières de comète	B	1114	24				
Séisme (un) peut-il modifier la rotation de la Terre ? Q/R	A	1113	120				
Séisme du Sichuan (l'homme pourrait avoir déclenché le)	B	1108	28				
Séismes (la qualité de l'air serait un signal précurseur des)	B	1113	40				
Séismes (les animaux peuvent-ils aider à prévoir les) ? Q/R	A	1112	114				
Séismes océaniques (les alizés déclenchent des)	B	1114	36				
SMOS mesure l'humidité de la terre tous les 3 jours	B	1108	28				
Sols (les) se déplacent quand la pression de l'air baisse	B	1108	28				
Sources hydrothermales (les) alimentent en fer les océans	B	1113	42				
Terre (80 vérités de science: la planète)	A	1115	74				
Terre (la) rajeunit de 70 millions d'années	B	1116	32				
Terre (le centre de la) n'est pas un réacteur nucléaire	B	1112	24				
Terre (on sait exactement où la gravitation se fait sentir sur)	A	1117	36				
Terre (un modèle explique pourquoi la) est asymétrique	B	1113	38				

Terre (voyage dans les entrailles de la)	HS	250	80	Electrique (le réseau) est-il prêt?	ES	31	46
Terre revisitée (la)	HS	252	102	Emissions de gaz du bétail (l'origan réduit bien les)	B	1118	38
Terre, son cœur serait plus jeune qu'elle	A	1118	96	Energie (la ventilation qui économise l')	B	1111	132
Terres arides (la face cachée des)	HS	250	74	Energie et transports (les innovations 2010)	A	1108	40
Tsunami à Sumatra (le risque de) est au plus haut	B	1110	32	Energies renouvelables (les) peinent à s'imposer	A	1110	28
Virus marins, le climat dépend peut-être d'eux!	A	1111	97	Energies vertes (les) au secours de l'autonomie	ES	31	44
Volcan canadien (un) sert de machine à remonter le temps	B	1117	42	Environnement (l') et les nanotechnologies	HS	253	102
Volcan islandais (le) qui a paralysé l'Europe	A	1113	14	Eoliennes (des plates-formes) vont prendre le vent du large	B	1112	36
Volcans (des) déclenchent la prolifération du phytoplancton	B	1119	36	Eoliennes (les fermes) ont un impact sur le climat local	B	1119	37
<b>ENVIRONNEMENT / ÉCOLOGIE / ÉNERGIE / CLIMAT</b>							
Acidification des fonds marins (les crustacés profitent de l')	B	1109	31	Eoliennes, leur avenir compromis en France	A	1116	62
Acidification des sols (l') et la sécurité alimentaire chinoise	B	1111	40	EPR les 4 erreurs de la filière française	A	1113	86
Algues (des) font voler cet avion	B	1115	34	Epuration (l') n'élimine pas tous les micropolluants	E	1110	30
Ampoule économique (l') issue de matériaux recyclés	B	1110	126	Espèces invasives (voici le réseau qui rend tant d')	A	1111	38
Ampoule à LED (cette) éclaire dans toutes les directions	B	1113	55	Exxon Valdez: 20 ans après, le pétrole est toujours là	B	1110	30
Antarctique (on sait enfin pourquoi la banquise) s'étend	B	1117	44	Feux de forêt (la fumée des) pousse les plantes à germer	B	1113	24
Arsenic au Bangladesh (la contamination à l') est humaine	B	1108	26	Fonte des glaciers (la) sera moins grave que prévu	B	1115	32
Barrages pas si neutres (des)	B	1119	38	Forêt amazonienne (la) tire sa richesse du... Sahara	B	1117	38
Batterie (les 6 défis de la)	ES	31	Forêts (carte globale des) selon la hauteur des arbres	A	1118	32	
Biocarburant (un whisky utilisé comme source de)	B	1117	16	Générateur solaire nomade (le premier)	B	1114	126
Biocarburants (les nouvelles promesses des)	ES	31	Giec (le travail du) a été reconnu rigoureux	B	1116	32	
Biocarburants: des bactéries programmées pour exploser	B	1109	96	Glaces (la fonte des) soulève le Groenland	B	1114	34
Biodiesels (des bactéries ont pour la première fois produit des)	B	1111	41	Glaciologues (des) au chevet de l'Antarctique	HS	250	90
Bisphénol A (le) attaque l'intestin	B	1109	34	Habitat (l') d'un seul bloc propre et autonome	B	1111	132
Boues rouges (les) n'auront pas le dernier mot	B	1119	40	Hydrogène (le chargeur qui fait le plein d')	B	1116	127
Caniculaire en Europe (la fin du siècle s'annonce)	A	1114	32	Hydrogène sans platine (Ils font de l')	B	1109	24
Capteur solaire (un nouveau) pourrait tripler le rendement	B	1117	52	Imperméable (l') qui peut être recyclé en compost	B	1112	130
Capteurs de rayonnement - précision 1110	F	1112	11	Kilimandjaro (le) pourrait ne plus avoir de neige en 2033	B	1108	26
Carbone (100 milliards de tonnes/an de) capté par la végétation	A	1116	28	LED (les) deux fois plus économies	B	1115	123
Cellules solaires en silicium (la miniaturisation des)	B	1110	38	Lézard (un) sur 5 pourrait disparaître d'ici à 2080	B	1114	35
Centrale nucléaire flottante (la première) mise à l'eau	B	1116	40	Lithium (la ruée vers l'or des batteries)	ES	31	34
Chaudière à granulés de bois (la)	A	1109	106	Manganèse (l'eau riche en) altère le QI des enfants	B	1118	40
Chlordécone (les Antilles sont bien malades du)	A	1115	38	Marée noire américaine, une fuite sans fin	A	1115	90
Climat (à la recherche des températures du passé)	A	1116	96	Mercure (le riz en Chine est une source de contamination au)	B	1118	38
Climat (il y 100000 ans, le détroit de Béring contrôlait le)	B	1110	32	Météo (la) a le don de mettre la Terre en colère	A	1112	103
Climat (l'irrigation intensive atténue le réchauffement du)	B	1118	34	Méthane (du) serait bien émis par les plantes	B	1111	42
Climat (la vapeur d'eau stratosphérique influe sur le)	B	1111	44	Moteurs thermiques (les) se mettent au vert	ES	31	70
Climat (le réchauffement du) booste certains arbres	B	1109	32	Mousson africaine (à l'assaut de la)	HS	250	106
Climat (le réchauffement du) menace les rizières	B	1117	39	Nanotubes de carbone (les) produisent de l'électricité	B	1112	44
Climat (le) dépend peut-être des virus marins	A	1111	97	Niveau de la mer (la hausse du) ne noie pas les îles du Pacifique	B	1115	34
Climat (les espèces invasives face aux changements du)	B	1111	42	Nuageux (certains systèmes) s'organisent en nids-d'abeilles	B	1117	42
Climat (Science & Vie dans la polémique) - suite 1110	F	1112	8	Océan Arctique (l') dégaze du méthane en grande quantité	B	1112	34
Climat de la banquise (Ils guettent le réchauffement du)	HS	250	26	Panneaux solaires (des) deux fois plus performants	B	1116	128
Climat, (et si on commençait par la suite)	A	1118	78	Panneaux solaires colorés à haut rendement (les premiers)	B	1114	124
Climat, le réchauffement est-il sûr?	A	1110	40	Phytoplancton (40 % du) a disparu depuis soixante ans	B	1117	38
CO <sub>2</sub> (l'assèchement des tourbières dope les émissions de)	A	1108	24	Planète (rafraîchir la) de façon globale n'est pas possible	B	1116	31
CO <sub>2</sub> (l'effet du) sur les plantes amplifie le réchauffement	B	1114	38	Plomb peut être toxique (même à faible dose, le)	B	1109	34
CO <sub>2</sub> (l'excès de) menace-t-il le taux d'oxygène dans l'air? - Q/R	A	1118	114	Pluie (les antennes-relais peuvent mesurer l'intensité de la)	B	1111	44
CO <sub>2</sub> (le) attaque les organismes marins	B	1117	44	Pluie (un nouveau procédé pour créer de la) de toutes pièces	B	1114	14
CO <sub>2</sub> (les rejets de) délocalisés comme les industries	B	1112	32	Pluie et le beau temps (l'homme peut-il faire la)?	A	1109	68
CO <sub>2</sub> (capturer le) présent dans l'air	B	1110	31	Polluants (des) mis en accusation dans les pubertés précoces	B	1113	48
Crue centennale à Paris - suite 1108	F	1111	9	Polluants (un nouvel alliage va rendre les frigos moins)	B	1113	40
Crue de 1910 (le spectre de la) mobilise Paris	A	1108	84	Poussière sous les meubles (d'où vient la)? Q/R	B	1109	105
Cyclone Oli (le) a détruit les récifs coralliens	B	1112	36	Protocole de Montréal (le) a porté ses fruits	B	1118	35
Cyclones (la couleur des océans influence les)	B	1118	36	Rendement (les aimants font la différence de)	ES	31	42
Cyclones (les) obéissent à une loi mathématique	B	1116	30	Sables bitumineux du Canada (les) sont très polluants	B	1109	30
Cyclones (les) vont être moins fréquents mais plus violents	B	1111	42	Saisons (le chaos des) nuit à la pollinisation	B	1118	37
Déchets nucléaires, la cacophonie	A	1118	66	Saisons (les) influencent-elles la chute des cheveux?	B	1108	113
Dépolluer l'eau (le figuier de Barbarie peut)	B	1114	36	Serpents (les) se raréfient	B	1115	33
Eau et énergie dans la ville médiévale	CS	120	59	Solaire spatial - suite 1114	F	1117	9
Electricité (des îles flottantes pourraient produire de l')	B	1109	30	Solaire spatial (le défi fou du)	A	1114	84
Electricité (le boîtier qui calcule vos factures d')	B	1111	130	Soleil en panne (le)	A	1119	52
Electricité renouvelable (stocker l') sous forme de gaz naturel	B	1114	38	Supercondensateurs (les) vont optimiser les batteries	ES	31	40
				Terre (une éruption aurait refroidi la) il y a 200 ans	B	1109	31
				Ville (plus une) est étendue, plus elle subit de canicules	B	1119	38

## INDEX THÉMATIQUE 2010

Villes du Nord (les grandes) sont les plus vertes  
Zéro carburant (l'avion) réussit son premier vol

### ARCHÉO / PALÉO / ANTHROPO / ETHNOLOGIE

Age de pierre (dès l') on mangeait des céréales  
Ambre (l') livre de nouveaux secrets  
Ambre charentais (des poils ont été retrouvés dans de l')  
Arche de Noé (l') devait être ronde!  
Armée perse (une tempête de sable a bien tué l')  
Art rupestre, une découverte majeure en Australie  
Australopithèques (les) utilisaient déjà des outils  
Bible (y a-t-il de la science dans la)?  
Buffetaut (nos 3 questions à Eric)  
Chaussure (la plus vieille) a été trouvée en Arménie  
Code grégorien (des chercheurs reconstituent un fragment)  
Crétacé (certains crocodiles du) pouvaient mâcher  
Demoule (nos 3 questions à Jean-Paul)  
Dessins de 30000 ans (des) ont été découverts en Roumanie  
Détroit de Béring (il y a 100000 ans le) contrôlait le climat  
Dinosaure (des musées ont livré un nouveau)  
Dinosaures (des) mettaient leurs œufs au chaud  
Dinosaures (l'apparition des) plus vieille qu'on ne le pensait!  
Dinosaures à cornes (deux nouveaux) ont été découverts  
Dinosaures ils retrouvent leurs véritables couleurs  
Ecriture (une découverte remet en question l'origine de l')  
Egyptiens (le fard des) avait une fonction médicale  
Evolution (l'histoire de l') serait-elle faussée?  
Feux de forêt de 3000 ans (on retrace des)  
Fossiles d'araignées (d'exceptionnels) ont été trouvés  
Fossiles (ces) bousculent la chronologie du vivant  
Fossiles (comment de l'ADN se trouve-t-il encore dans les)? Q/R  
Gladiateurs (un cimetière de) a été mis au jour en Angleterre  
Lecointre (nos 3 questions à Guillaume)  
Mammifère à sang-froid (un) a été découvert  
Mammouth (l'hémoglobine d'un) a pu être reconstituée  
Mammouth (le bébé) le plus vieux du monde  
Mammouths (des spores réécrivent la fin des)  
Mammouths (la disparition des) a refroidi la Terre  
Marsupial (le) est d'abord venu en Europe  
Maya (une cité) cartographiée en relief  
Mayas (les) avaient l'eau courante  
Mis au jour d'un muscle de 18 millions d'années  
Nazcas (l'agriculture des) a précipité leur disparition  
Neandertal (ils ont trouvé du) en nous!  
Océans tièdes (il y a 3,4 milliards d'années)  
Œufs fossiles (ils ont extrait l'ADN d')  
Oiseaux primitifs (les) ne savaient pas battre des ailes  
Origines (des découvertes bouleversent l'histoire de nos)  
Patou-Mathis (nos 3 questions à Marylène)  
Permien (les gastéropodes se sont vite remis de la crise du)  
Pleuvres et des calmars (l'ancêtre des) a enfin été identifié  
Plumage (le) a 130 millions d'années  
Pré-néandertaliens (les) avaient déjà des "ateliers"  
Reptiles marins (des) avaient le sang chaud  
Sanctuaire gallo-romain (un mystérieux) a été exhumé  
Senut (nos 3 questions à Brigitte)  
Singes (la disparition de la forêt a chassé les grands)  
Spinosaurus (le) vivait essentiellement dans l'eau  
Tétrapode (ces traces de) ont défié les âges  
Toumèsol (le plus vieux cousin du) a été identifié  
Toutankhamon (l'ADN de) a parlé  
Toutankhamon était-il atteint d'anémie?  
Tyrannosaure (un) a été exhumé en Australie  
Vallée des Rois (la géologie à l'assaut de la)

A 1113 36  
B 1113 54

B 1110 22  
B 1113 28  
B 1115 19  
B 1110 20  
B 1109 17  
A 1119 104  
B 1117 22  
ES 30 90  
B 1109 126  
B 1115 24  
B 1111 17  
B 1117 28  
B 1115 136  
B 1116 16  
B 1110 32  
B 1116 13  
B 1116 22  
B 1119 24  
B 1119 22  
A 1113 112  
B 1112 18  
B 1110 18  
B 1108 15  
B 1112 15  
B 1111 35  
B 1115 20  
B 1114 116  
B 1115 22  
B 1119 150  
B 1108 18  
B 1114 14  
A 1119 28  
B 1108 18  
B 1115 33  
B 1108 16  
B 1114 12  
B 1110 19  
B 1109 19  
B 1108 13  
A 1114 26  
B 1108 27  
A 1112 26  
B 1115 19  
A 1113 58  
B 1117 150  
B 1111 44  
B 1115 18  
B 1118 20  
B 1118 26  
B 1115 17  
B 1117 26  
B 1116 138  
B 1115 22  
B 1111 36  
B 1110 16  
B 1119 21  
A 1111 20  
B 1117 26  
B 1113 23  
A 1110 105

### BOTANIQUE / ZOOLOGIE / ÉTHOLOGIE / BIODIVERSITÉ

Abeille (une) innove dans l'art de faire son nid  
Abeilles (les) préfèrent la nicotine et la caféine  
Abeilles (parasites et pesticides liés contre les)  
Aires marines (les) protégées préservent toutes les espèces  
Alligator albinos (l'), sa peau a déjoué l'évolution  
Alligator albinos (l'), sa peau a déjoué l'évolution  
Anguilles, leurs secrets sont désormais balisés  
Animal (un) peut-il vraiment faire des pronostics sportifs? Q/R  
Animaux (certains) vivent sans oxygène  
Animaux peuvent-ils aider à prévoir les séismes (les) Q/R  
Animaux primitifs (des) voyaient comme nous  
Animaux primitifs (des) voyaient comme nous  
Araignée d'eau (l) femelle fuit les violences conjugales  
Araignées (des fossiles d') ont été trouvés  
Argonaute (l'), sa coquille lui sert de gilet de plongée  
Axolotl (l') ne craint aucune amputation  
Bactéries (des) manipulent les plantes pour survivre  
Biodiversité (cap sur la)  
Biodiversité tropicale (l'origine de la) se cache dans le sol  
Biodiversité, ce qui vit dans la mer a été recensé  
Cafards (des) protègent contre des bactéries  
Canard (le) pousse la guerre des sexes à son comble  
Champignon (un) permet de quintupler la croissance du riz  
Chat marsupial du Nord (le) pourrait être sauvé  
Chien (on a compris pourquoi le) a un tel flair  
Chimpanzé (le) est son propre pharmacien  
Chimpanzés (l'adversité soude les)  
Chimpanzés (pourquoi les) sont plus agressifs que les bonobos  
Cochons (les) ont aussi une conscience d'eux  
Cochons sales (les) sont en meilleure santé  
Copépode (le) fonce grâce à ses mandibules  
Coq (l'hormone ne fait pas le)  
Coraux (les bébés) repèrent le chant d'un bon récif  
Coucou (on sait comment le) parasite les nids  
Crête du coq (à quoi sert la)? Q/R  
Cri des animaux (le) a été mis en équation  
Crocodile du Crétacé (certains) pouvaient mâcher  
Crustacés (les) tirent profit de l'acidification des milieux marins  
de Waal (nos 3 questions à Frans)  
Dragon de mer (le) tombe enceint  
Echolocation (chauves-souris, dauphins, même gènes pour l')  
Eléphant (l') court et marche tout en même temps  
Epinoches sont des as de l'adaptation (les)  
Escargot (une expérience donne le tournis aux)  
Espèces (l'homme peut-il vraiment créer des)? - suite 1109  
Espèces (nourrir les oiseaux crée des)  
Espèces invasives (les) mieux armées face au réchauffement  
Espèces invasives (voici le réseau qui rend tant d')  
Espèces menacées (la liste des) s'est encore allongée  
Figuer (le) se venge s'il est trahi par la guêpe  
Figuer de Barbarie (le) peut dépolluer l'eau  
Flamant (pourquoi le) tient-il sur une patte? Q/R  
Forêt auvergnate (une) examinée à la loupe  
Fourmi (la) sent les odeurs en stéréo  
Fourmi guyanaise (une) chasse "au Velcro"  
Fourmis (les) défendent la savane contre les éléphants  
Gastéropodes (les) se sont vite remis de la crise du Permien  
Girafe (la), son cou défie la gravité  
Gorille (le) veut avant tout s'amuser plus que gagner  
Hase (la) peut tomber enceinte alors qu'elle l'est déjà!  
Huitres à Noël (aura-t-on encore des)?  
Iguanes du Pacifique (d'où viennent les)?

B 1114 19  
B 1111 35  
B 1113 44  
B 1111 41  
ES 1115 36  
ES 1115 36  
A 1109 94  
B 1116 114  
B 1113 22  
A 1112 114  
B 1112 20  
B 1112 20  
B 1108 18  
B 1111 35  
ES 1115 48  
ES 1115 44  
B 1117 28  
HS 250 34  
B 1117 40  
A 1117 114  
B 1117 40  
B 1118 41  
ES 1115 14  
B 1115 34  
B 1113 38  
B 1110 17  
ES 1115 42  
B 1111 33  
B 1116 14  
B 1108 15  
B 1109 18  
B 1114 17  
B 1112 16  
B 1114 22  
B 1119 24  
B 1116 117  
A 1116 106  
B 1117 28  
B 1109 31  
B 1113 150  
B 1115 8  
B 1111 32  
ES 1115 46  
B 1117 40  
B 1109 21  
F 1111 9  
B 1109 22  
B 1111 42  
A 1111 38  
B 1108 27  
B 1110 19  
B 1114 36  
B 1109 104  
HS 250 66  
B 1112 20  
B 1117 28  
B 1118 34  
B 1111 44  
ES 1115 28  
B 1113 28  
B 1119 21  
A 1119 80  
B 1111 33

Insecte (cet) pousse plus de 1000 fois son poids - suite 1113	F	1116	7	Tigre à dents de sabre (la force du) résidait dans ses pattes!	B	1116	18
Insecte (cet) pousse plus de 1000 fois son poids!	B	1113	30	Tortues (les) sont des victimes collatérales de la pêche	B	1113	40
Insecte (pour s'accoupler, cet) mise sur la peur des femelles	B	1117	23	Tournesol (le plus vieux cousin du) a été identifié	B	1119	21
Lézard (un) sur 5 pourrait disparaître d'ici à 2080	B	1114	35	Trèfle (le gène du) à quatre feuilles existe bien!	B	1116	14
Lézards (des femelles) peuvent choisir le sexe de leurs petits	B	1112	24	Varan (une espèce de) a été découverte aux Philippines	B	1113	42
Limace de mer (la) s'alimente comme une plante	ES	1115	22	Végétaux (comment les) se défendent-ils des infections? Q/R	B	1108	112
Limule (le) a un sang bleu qui détecte les bactéries	ES	1115	40	Vie (comment la vie reprend le dessus)	A	1114	50
Mangouste (synchroniser les naissances favorise le bébé)	B	1117	22				
Marmottes (les) hibernent moins et prennent du poids	B	1117	42				
Marsupial (le) est d'abord venu en Europe	B	1108	16	<b>AGRICULTURE / ÉLEVAGE / PÊCHE / ALIMENTATION</b>			
Méduse (la) pique plus vite que son ombre	ES	1115	30	Agriculture des Nazcas (l') a précipité leur disparition	B	1108	13
Moustique (ce) transmet deux infections en une fois	B	1115	40	Agriculture et irrigation	CS	116	22
Noix (la) aide à combattre le cholestérol	B	1114	46	Agriculture intensive (l') plus verte que prévu	B	1115	32
Opium (plus besoin d') pour produire morphine et codéine	B	1112	41	Bière (pourquoi la) est-elle si diurétique? Q/R	B	1116	116
Organismes marins (le CO <sub>2</sub> attaque les)	B	1117	44	Blé (le) n'est plus à l'abri de la rouille noire	A	1117	74
Origan (l') réduit bien les émissions de gaz du bétail	B	1118	38	Blé et rouille noire - précision 1117	F	1119	9
Ornithorynque (l') pond des œufs	ES	1115	10	Céréales (dès l'âge de pierre on mangeait des)	B	1110	22
Panthère de Floride (la) sauvée par sa cousine du Texas	B	1118	35	Champagne, servi penché il est meilleur	B	1118	19
Papillon (un) soigne ses œufs	B	1119	19	Cochons sales (les) sont en meilleure santé	B	1109	18
Papillon monarque (le) éprouve de l'attraction pour une forêt	ES	1115	12	Edulcorants (pourquoi les) ont-ils un goût sucré? Q/R	B	1111	115
Peste bovine (la) deuxième maladie éradiquée par l'homme	B	1119	37	Elevage et Mésopotamie, sélection des bêtes	CS	116	29
Phoque (le) chasse grâce à ses moustaches	ES	1115	24	Huitres à Noël (aura-t-on encore des?)	A	1119	80
Phytoplancton (40 % du) ont disparu depuis soixante ans	B	1117	38	Irrigation intensive (là où il y a) le réchauffement est atténué	B	1118	34
Phytoplancton (des volcans déclenchent la prolifération du)	B	1119	36	Lait de vache à la naissance (le) peut avoir du bon	B	1116	38
Pleuvres et des calmars (l'ancêtre des) a enfin été identifié	B	1115	18	Maladie de la vache folle: la fin de l'histoire se profile	B	1117	44
Plante carnivore (une) leurre en émettant des odeurs de fleur	B	1113	30	OGM (la nature a créé un nouvel)	B	1119	36
Plantes (des) s'associent contre leur prédateur	B	1112	17	OGM (le maïs) enrichit les agriculteurs conventionnels	B	1114	34
Plantes (du méthane serait bien émis par les)	B	1111	42	OGM (un coton) favorise l'invasion de punaises	B	1113	40
Plantes (l'effet du CO <sub>2</sub> sur les) amplifie le réchauffement	B	1114	38	Pêche (les tortues sont des victimes collatérales de la)	B	1116	32
Plantes (la fumée des feux de forêt pousse les) à germer	B	1113	24	Pesticide bio (le) n'est pas toujours exempt de toxicité	B	1116	37
Plantes (les) se camouflent pour se protéger	B	1111	36	Pesticides et Alzheimer: les agriculteurs en première ligne	B	1116	35
Plantes sont menacées d'extinction (22 % des)	B	1119	38	Poissons (les stocks de) se reconstituent trop lentement	B	1110	31
Poisson zèbre (ce) réveille ses gènes pour se régénérer	B	1108	13	Poissons (les) plus difficiles à attraper qu'il y a 120 ans!	B	1114	38
Poisson arche (le) crache et ne rate jamais sa cible	ES	1115	32	Pomme (la) révèle sa capacité d'adaptation	B	1118	24
Poissons (comment les) survivent-ils dans les lacs gelés? Q/R	B	1110	115	Potager du roi, au laboratoire des saveurs royales	CS	119	34
Poissons (les) plus difficiles à attraper qu'il y a 120 ans!	B	1114	38	Raisin (un mauvais) a donné les bons cépages	B	1110	17
Poissons (les) ressentent-ils la douleur? Q/R	B	1115	114	Riz (en Chine, le) est une source de contamination au mercure	B	1118	38
Poissons volants (les) glissent dans l'air comme les oiseaux	B	1118	22	Riz (un champignon permet de quintupler la croissance du)	B	1115	34
Pollinisation (le chaos des saisons nuit à la)	B	1118	37	Rizières (le réchauffement menace les)	B	1117	39
Pomme de terre transgénique (Bruxelles autorise la)	B	1112	34	Sécurité alimentaire chinoise (la) et l'acidification des sols	B	1111	40
Poulets (des) ont attrapé une maladie humaine	B	1108	31	Thon rouge (le) reste autorisé à la vente	B	1112	36
Poux (un comprimé fait des miracles contre les)	B	1112	42	Tomate (la) longue conservation	B	1110	14
Prédation (nicher au nord réduit le risque de)	B	1110	32	Ver à soie (du fil d'araignée tissé par un)	B	1119	16
Primates (le fossé entre grands singes et autres) s'atténue	B	1119	26	Vin rouge, on sait pourquoi il est bon pour les artères	A	1111	102
Punaise (la) répond aux SOS du plant de tabac	B	1118	22	Vin rouge, on sait pourquoi il est bon pour les artères - suite	F	1112	11
Punaises de lit (les) ont un secret anti-aphrodisiaque	B	1118	26				
Python (la digestion d'un) a été observée étape par étape	B	1116	8	<b>BIOLOGIE MOLÉC. / GÉNÉT. / SEXUALITÉ / ÉVOLUTION</b>			
Rats (l'homme qui traquait les)	HS	250	60	Adaptation (les épinoches sont des as de l')	B	1117	40
Renne (le) s'est débarrassé de son horloge interne	B	1112	22	ADN (ce nanorobot marche sur les traces de l')	B	1114	48
Requin femelle (le) peut se passer de mâle pour enfanter	ES	1115	16	ADN (des nanoparticules peuvent abîmer l')... à distance	B	1108	32
Scarabées (comment empêcher les) d'infester les arbres	B	1112	32	ADN (l') de Toutankhamon a parlé	A	1111	20
Seiche (la) pourrait voir en couleurs grâce à sa peau	B	1113	24	ADN (l') devient un matériau de construction	A	1113	104
Séquoias (des) retracent l'histoire des feux de forêt	B	1112	15	ADN (les protéines glissent en fait sur l')	B	1109	20
Serpents (les) se raréfient	B	1115	33	ADN (nos états d'âme modifient notre)	A	1110	99
Singe (ce) est doué d'un vrai langage	B	1109	16	ADN (toutes nos cellules contiennent-elles le même)? Q/R	A	1111	112
Singes (des) relancent le débat sur l'origine du langage	A	1114	92	ADN viral très ancien (de l') protégerait des maladies	B	1117	21
Singes (la disparition de la forêt a chassé les grands)	B	1115	22	ADN, il y a peut-être de la faune et de la flore en nous	A	1118	94
Souris (la douleur peut se lire sur le visage d'une)	B	1114	18	Animaux primitifs (des) voyaient comme nous	B	1112	20
Souris (la paternité stimule le cerveau des)	B	1115	17	Bactérie (une banale) semble liée au cancer du côlon	B	1115	36
Souris naine africaine (la) a des chromosomes XY	ES	1115	6	Bactérie se révèle anticancéreuse (une banale)	B	1117	47
Squille multicolore (la) voit l'invisible	ES	1115	20	Bactéries (comment les) survivent-elles au grand froid? Q/R	B	1112	117
Tardigrade (le) arrive à survivre au vide spatial	ES	1115	38	Bactéries (des cafards protègent contre des)	B	1118	41
Taupes au nez étoilé (la) sent ses proies sous l'eau	ES	1115	26	Bactéries (l'intuition des) - suite 1106	F	1108	7
Ténia porcin (la transmission à l'homme du) peut être stoppé	B	1114	41	Bégalements (des mutations sont à l'origine des)	B	1111	47

## INDEX THÉMATIQUE 2010

Blackburn (nos 3 questions à Elizabeth H.)	B	1110	136	Acouphènes et psychologie - suite 1111	F	1114	9
Cartilage (un) a été régénéré in vivo	B	1117	18	Acupuncture (on sait comment l') réduit la douleur	B	1115	37
Cellule dévoilée (la)	HS	252	70	Addiction (comment l') s'installe	B	1116	37
Cellules (l'identité des) n'est pas figée	B	1115	16	Allergie au gluten (l') ne vient pas de l'appareil digestif	B	1112	42
Cellules (leur destin dépend aussi de leur sens du toucher)	A	1115	104	Allergie au nickel (l'origine de l') est enfin élucidée	B	1117	50
Cellules de l'audition (recréer les)	B	1115	14	Allergies (des virus se cachent derrière les)	B	1118	42
Cellules souches (vitamine C pour des) éthiquement correctes	B	1110	36	Alzheimer (et si la maladie d') n'existe pas ?	A	1117	86
Cellules souches (ils ont recréé de la peau) à partir de	A	1108	20	Alzheimer (l'électrostimulation apparaît efficace contre l')	B	1117	48
Cellules souches embryonnaires (la première thérapie par)	B	1119	14	Alzheimer (pesticides et) : les agriculteurs en première ligne	B	1116	35
Cellules souches et d'air (du tissu pulmonaire créé à partir de)	B	1108	11	Alzheimer : fiabiliser le diagnostic	B	1119	44
Cellules souches induites et embryonnaires sont proches	B	1117	26	Ame (combien pèse l') ?	ES	30	42
Chromosome (la place des gènes sur le) influence les caractères	B	1119	19	Anémie (Toutankhamon était-il atteint d') ?	B	1117	26
Chromosomes XY (les) de la souris naine africaine	ES	1115	6	Anomalie (se découvrir une) par hasard n'est guère bénéfique	B	1119	48
Chronologie du vivant - suite 1115	F	1117	9	Antibiotique (un) efficace contre les bactéries résistantes	B	1113	47
Code génétique (on a découvert un nouveau)	A	1117	54	Antibiotiques (la résistance aux) se répand	B	1119	46
Cryogénération (un premier pas vers la)	B	1115	14	Antidépresseur (la kétamine pourrait être un bon)	B	1117	50
Digestion des makis (la) : les Japonais sont parés pour	B	1113	32	Antidépresseurs (les) utiles que dans les cas très sévères	B	1110	37
Echolocation (chauves-souris, dauphins, même gènes pour l')	B	1111	33	Antidiabétique (un) livre le secret de son efficacité	B	1116	36
Escargot (une expérience donne le tournis aux)	B	1109	21	Artères (vin rouge, on sait pourquoi il est bon pour les)	A	1111	102
Espèces (l'homme peut-il vraiment créer des) ? - suite 1109	F	1111	9	Artères (vin rouge, on sait pourquoi il est bon pour les) - suite	F	1112	11
Espèces (nourrir les oiseaux crée des)	B	1109	22	Astrocytes (le rôle des) dans le cerveau se confirme	B	1110	18
Evolution (alligator albinos, sa peau a déjoué l')	ES	1115	36	Astrocytes (le rôle des) est-il surestimé ?	A	1114	20
Evolution (la croissance du cerveau est un reflet de l')	B	1117	22	Audition (recréer les cellules de l')	B	1115	14
Evolution (on sait pourquoi elle ne fait pas machine arrière)	A	1108	103	AVC (de simples caresses préviendraient les)	B	1116	36
Evolution, le propre de l'homme - suite 1107	F	1109	9	AVC (un remède chinois contre les) est à l'essai	B	1111	46
Fil d'araignée (du) tissé par un ver à soie	B	1119	16	BCG (le) n'est pas celui qu'on croit - suite 1109	F	1111	9
Flair (on a compris pourquoi le chien a un tel)	B	1110	17	BCG (le) pourrait devenir un traitement de l'asthme	B	1110	36
Fossiles (ces) bousculent la chronologie du vivant	B	1115	20	BCG contre la tuberculose (un vaccin pourrait doper le)	B	1119	42
Gène (le premier souffle) tient à un	B	1118	22	Bégalements (des mutations sont à l'origine des)	B	1111	47
Gène de l'immunité (un) prédispose à la sclérose en plaques	B	1109	39	Ben-Ari (nos 3 questions à Yehezkel)	B	1111	142
Gène de la myopie (le) a été identifié	B	1118	44	Bruit (on sait pourquoi certains dormeurs résistent au)	B	1117	30
Gène du trèfle à quatre feuilles (le) existe bien !	B	1116	14	Bruits (pourquoi entend-on des) qui n'existent pas ? Q/R	B	1110	113
Gènes (ce poisson zèbre réveille ses) pour se régénérer	B	1108	13	Cancer (fruits et légumes réduisent peu le risque de)	B	1113	52
Gènes (certains) aident les Tibétains à vivre en altitude	B	1114	18	Cancer (des soins personnalisés)	HS	251	108
Génome humain (le projet) est une formidable réussite	B	1116	18	Cancer (le) en questions	HS	251	146
Gestation (le secret de la) s'éclaircit	B	1118	18	Cancer (le) peut se détecter dans l'haleine qu'on expire	B	1117	46
Hase (la) peut tomber enceinte alors qu'elle l'est déjà !	B	1119	21	Cancer (les virus à l'origine de) se dévoilent	B	1111	50
Hémoglobine d'un mammouth (l') a pu être reconstitué	B	1114	14	Cancer (pas tous égaux devant les soins)	HS	251	128
Homme (le petit d') ne marche pas tardivement	B	1110	22	Cancer (peut-on parler d'épidémie) ?	HS	251	40
Hormone (l') ne fait pas le coq	B	1112	16	Cancer (plans), bilan et objectif	HS	251	134
Inceste (l'interdit de l') a-t-il un fondement biologique ? Q/R	A	1114	112	Cancer (risques : ce qui nous expose, ce qui nous protège)	HS	251	52
Levures (même les) savent réfléchir	B	1118	24	Cancer (un siècle de progrès)	HS	251	84
Marathon (courir le) ralentit la mort de nos cellules	B	1114	22	Cancer (une maladie aux visages multiples)	HS	251	22
Marseillevirus, un nouveau virus géant	B	1109	20	Cancer (une maladie pas comme les autres)	HS	251	140
Monde microscopique (le) : des intrus démasqués	HS	252	94	Cancer colorectal (les lymphocytes prédisent la récidive du)	B	1108	34
Muscle (un) de 18 millions d'années	B	1109	19	Cancer de la prostate (contre le) un virus bénin s'avère efficace	B	1112	38
Neandertal (ils ont trouvé du) en nous !	A	1114	26	Cancer du côlon (une banale bactérie semble liée au)	B	1115	36
OGM (un coton) favorise l'invasion de punaises	B	1114	34	Cancer du sein : la chute s'explique	B	1109	36
Origines (l'histoire de nos) bousculée	A	1113	58	Cancer en chiffres (le)	HS	251	36
Pomme (la) révèle sa capacité d'adaptation	B	1118	24	Cancer et dépression (un lien entre) vient d'être identifié	B	1113	48
Requin femelle (le) peut se passer de mâle pour enfanter	ES	1115	16	Cancer, une maladie connue des Anciens	HS	251	46
Spermatozoïdes (les) sont capables d'incroyables stratégies	A	1112	88	Cancéreuse (une banale bactérie se révèle anti)	B	1117	47
Symétrie (la) des êtres vivants se dévoile	B	1111	30	Cancérigène (la cuisine au gaz plus) que l'électrique	B	1111	49
Thérapie génique (enfin un nouveau succès de)	A	1118	29	Cancers (de petits) peuvent disparaître tout seuls	B	1108	33
Thérapie génique (le virus du sida aura bientôt sa)	B	1115	40	Cancers (les) sont les plus meurtriers dans les pays pauvres	A	1115	30
Thérapie génique (pourquoi la) marche aujourd'hui	A	1109	76	Cancers de la peau (un implant dermique contre)	B	1109	35
Thérapie génique (une) traite les mélanomes avancés	B	1118	41	Cannabis (le) rend-il les sportifs plus performants ? Q/R	B	1108	112
Trisomie 21 (une piste s'ouvre contre la)	B	1108	32	Caractères (la place des gènes influence la variation des)	B	1119	19
Vie (comment la vie reprend le dessus)	A	1114	50	Cartilage (un) a été régénéré in vivo	B	1117	18
Vie artificielle (la toute première)	B	1114	10	Cellules (des) qui échappent à tout contrôle	HS	251	8
Vue (ils ont trouvé un moyen pour rendre la)	A	1115	26	Cerveau (le) produit des neurones et consolide notre mémoire	B	1118	19
<b>SANTÉ / MÉDECINE / PHYSIOLOGIE / CERVEAU</b>							
Acouphènes, enfin un espoir de traitement	A	1111	106	Cerveau (des médicaments ressuscitent le) par hasard !	A	1118	86
				Cerveau (la croissance du) est un reflet de l'évolution	B	1117	22
				Cerveau (le) a du mal à effectuer plus de deux tâches à la fois	B	1113	23

Cerveau (le) écoute les émotions négatives	B	1112	17	Inconscient collectif (l') peut-il influencer le hasard ?	ES	30	52
Cerveau (le) en action	HS	252	86	Infarctus (plus il fait froid et plus le risque d') augmente	B	1117	50
Cerveau (le) ne s'endort pas tout d'un coup	B	1112	38	Infections (ce moustique transmet deux) en une fois	B	1115	40
Cerveau (le) regarde devant quand on détourne les yeux	B	1113	28	Insuline (le bras qui sécrète de l')	B	1119	43
Cerveau (le) tel qu'on ne l'avait jamais vu	B	1113	49	Intestin (le bisphénol A attaque l')	B	1109	34
Cerveau (l'effet Eurêka a bien une réalité physique dans le)	B	1114	19	Japonais (les) sont parés pour digérer les makis	B	1113	32
Cerveau (nettoyer le) des grands prématuress peut les sauver	B	1112	40	Jeu vidéo (comment un) peut-il rendre accro ? Q/R	B	1110	110
Cerveau (on sait comment les bébés voient le monde)	A	1119	94	Langue (l'apprentissage de la) commence avant la naissance	B	1108	16
Cerveau (quand un joueur perd de peu, son) croit gagner	B	1114	24	Lésions (guérir des) avec du sucre	B	1113	13
Cerveau (son développement est d'abord lié à la mère)	B	1116	13	Lignes à haute tension (la prudence s'impose sous les)	B	1113	52
Cerveau des seniors (mal irrigué, le) peut les faire tomber	B	1114	46	Lipides (les) reprennent du galon	B	1113	49
Chaud (pourquoi boire) quand il fait chaud ? Q/R	B	1115	115	Mâchoire (notre) est aussi puissante que celle de nos cousins	B	1116	16
Cheveux (les saisons influencent-elles la chute des) ? Q/R	B	1108	113	Main artificielle (cette) est pilotée par des nerfs humains	B	1109	40
Chlordécone (les Antilles sont bien malades du)	A	1115	38	Maladie d'Alzheimer (freiner la progression de la)	B	1110	35
Chocolat (pourquoi manger du) quand on n'a pas le moral ? Q/R	B	1117	125	Maladie de Chagas (la) sera peut-être mieux diagnostiquée	B	1114	44
Cholestérol (la noix aide à combattre le)	B	1114	46	Maladie de Charcot (une protéine ralentirait la)	B	1108	32
Cigarette (même éteinte la) est toujours toxique	B	1111	47	Maladie de Gilles de la Tourette (une voie s'ouvre contre la)	B	1114	41
Circoncision (la) protège-t-elle vraiment du sida ? Q/R	B	1111	117	Maladie de la vache folle : la fin de l'histoire se profile	B	1116	38
Clinicien (le) et l'exorciste	CS	116	74	Maladie de Ménétrier (la) a enfin son traitement	B	1109	36
Cœur (le bruit au travail est mauvais pour le)	B	1119	43	Maladie de Parkinson (la) se voit dans l'intestin	B	1118	40
Comportement maternel (le) augment les neurones	B	1111	31	Maladie humaine (des poulets ont attrapé une)	B	1108	31
Conscience d'eux (les cochons ont aussi une)	B	1108	15	Maladies (de l'ADN viral très ancien protégerait des)	B	1117	21
Corps humain (un transistor capable de se dissoudre dans le)	B	1108	36	Marche ralentie (une) indique un risque cardiovasculaire	B	1108	33
Cortex frontal (l'introspection se niche dans le)	B	1119	21	Médecine (la) et les nanotechnologies	HS	253	96
Couvreur (nos 3 questions à Patrick)	B	1112	140	Médecine, esquisse d'une politique de santé	CS	119	54
Crise cardiaque (une) peut se lire dans les cheveux	B	1118	42	Médicament (pourquoi prendre un) à certaines heures ? Q/R	B	1118	118
Crise cardiaque (quand crise économique rime avec)	B	1112	40	Mémoire (il est possible de la re-programmer artificiellement)	A	1114	106
Danger (face au), réaction sensorielle ou émotionnelle	B	1109	17	Mémoire (rêvasser est bon pour la)	B	1111	34
Défenses immunitaires (sans soleil nos) demeurent inactives	B	1112	39	Migraine (la) augmente le risque d'attaque cardiaque	B	1111	49
Dengue (on sait pourquoi la) sévit plus fort la seconde fois	B	1111	48	Migraine (la lumière est bien source de douleur pour la)	A	1112	111
Dépistage mode d'emploi	HS	251	66	Moi (pourquoi) Docteur ?	HS	251	30
Dépression (la) un facteur de risque ?	HS	251	78	Mort imminente (un excès de CO <sub>2</sub> expliquerait la)	B	1113	46
Diabète (grâce aux infrarouges, le contrôle du) devient indolore	B	1117	46	Muscles (les ions calcium renseignent sur l'état des)	B	1109	38
Diabétiques (le nombre de) va doubler d'ici à 2030	A	1109	28	Musique (dans l'Alzheimer, la) aide à retrouver les mots	B	1114	42
Diagnostic (le) instant crucial	HS	251	90	Naissance (le lait de vache à la) peut avoir du bon	B	1116	37
Digestion (la) d'un python a été observée étape par étape	B	1116	8	Naissances prématuress (un anneau préviendrait les)	B	1117	48
Douleur (quand la) résiste	HS	251	118	Neurones créés directement à partir de la peau	B	1110	12
Eau potable (l'accès à l') progresse globalement	A	1112	30	Nez (le) est la voie royale pour soigner le cerveau	B	1119	44
Ebola (il est possible de s'immuniser contre le virus)	B	1111	50	Noétique (la) est-elle une science ?	ES	30	34
Emotion (l') reste même si les souvenirs s'effacent	B	1113	47	Nouveau-nés (pourquoi les) clignent-ils si peu des yeux ? Q/R	B	1115	113
Emphysème du fumeur (on a compris le mécanisme de l')	B	1114	44	Nuits (le secret de nos) sans boire ni uriner est percé	B	1112	20
Entraînement (l') cérébral peut avoir un effet contraire	B	1119	48	Obésité (l') passe par la flore intestinale	B	1108	30
Etats d'âme (nos) modifient notre ADN	A	1110	99	Obésité (corrélation entre) et risque de cancer du rein	B	1110	34
Fécondation (une nouvelle méthode de) à trois parents	B	1113	12	Obésité héréditaire (l'excès d'Oméga 6) entraîne une	B	1116	36
Fécondation à trois parents - suite 1113	F	1115	11	Ocytocine (l') améliore l'interaction sociale de certains autistes	B	1111	46
Fin de vie (la) est mieux accompagnée	B	1113	49	Œdèmes cérébraux (ce casque prévient les)	B	1110	36
FIV (la) augmente le risque de malformations	B	1115	37	Oméga 3 (des dérivés d') sont des antidouleurs efficaces	B	1113	48
Fonction médicale (le fard des Egyptiens avait une)	B	1110	18	Ondes, les dessous d'une interminable polémique	A	1110	74
Fourmis dans les membres, que se passe-t-il ? Q/R	B	1112	119	Opium (plus besoin d') pour produire morphine et codéine	B	1112	41
Gaz intestinaux (analyser les) renseigne sur l'état de santé	B	1108	31	Oreille absolue (l') ça s'acquiert ? Q/R	B	1117	127
Gel vaginal (un) protège partiellement contre le VIH	B	1116	34	Ovaire artificiel (le premier) qui défie la stérilité	B	1118	17
Globules rouges (des) pour optimiser le flux sanguin	B	1108	34	Pacemaker (le) devient compatible avec l'IRM	B	1110	35
Greffé du visage (la) la plus complète	B	1113	12	Paludisme (un gène mutant protège contre le)	B	1109	37
Greffes (les cultures d'organes révolutionnent les)	A	1116	88	Paludisme (une protéine du vecteur du) permettrait de le piéger	B	1114	42
Greffes: cellules souches - précision 1116	F	1117	9	Paralysés (des) communiquent et se déplacent grâce à leur nez	B	1117	47
Grippe A(H1N1) faut-il craindre le retour de la ? Q/R	B	1119	116	Parole (c'est en chantant que des muets ont retrouvé la)	B	1112	40
Grippe A(H1N1) la catastrophe n'a pas eu lieu	A	1112	80	Parole (libérer la) des malades	HS	251	122
Hémorragie (en cas d'), un médicament évite le pire	B	1115	36	Patch (un) pour une vaccination antigrippe plus efficace	B	1116	34
Hémorragies (les nanotechnologies efficaces contre les)	B	1109	13	Pensée (la) peut-elle agir sur le corps ?	ES	30	44
Hépatite C (de l'ARN pourrait bloquer le virus de l')	B	1109	36	Penser (peut-on être éveillé et ne pas) ? Q/R	B	1113	124
Hépatite E (une parade au virus de l') a enfin vu le jour	B	1119	44	Pilule contraceptive (une) pour les hommes	B	1109	35
Imagerie (l') une révolution médicale	HS	252	64	Portable et cancer: 12 ans d'études pour pas grand-chose	B	1113	50
Imagerie médicale: le corps transparent	HS	252	52	Pré-éclampsie (un test promet de dépister le risque de)	B	1118	42
Imagerie médicale, voir le mal avant qu'il ne se déclare	A	1117	108	Prématurés hypersensibles (les soins douloureux rendent les)	B	1114	40

## INDEX THÉMATIQUE 2010

Prévention (la), un exercice d'équilibriste	HS	251	62	Camelot, un château hors de son temps	CS	117	68
Prothèse auditive (la) - le point sur	A	1113	126	Cartographie, le monument des Cassini	CS	119	48
Prozac (le) livre ses secrets	B	1118	44	Chevalerie (la) entre rêve et réalité	CS	117	74
Pubertés précoces (des polluants mis en accusation dans des)	B	1113	48	Ciel (lectures du) sur mesures	CS	116	86
Pulsations cardiaques (une bague qui mesure les)	B	1113	140	Citoyenneté (une) à géométrie variable	CS	115	97
QI des enfants (l'eau riche en manganèse altère le)	B	1118	40	Code de Hammurabi (le)	CS	116	68
Regard (pourquoi se retourne-t-on quand un) nous pèse ? Q/R	B	1117	126	Commerce (le) et les villes au Moyen Age	CS	120	88
Régimes (que penser des) adaptés au groupe sanguin ? Q/R	A	1109	100	Commerce en Mésopotamie, libre-échange sous surveillance	CS	116	44
Sable dans notre corps (y a-t-il du) ? Q/R	B	1119	120	Créoles (les linguistes font parler les)	CS	118	94
Santé (80 vérités de science : la)	A	1115	54	Culture (la) grecque	CS	115	56
Santé et médecine (les innovations 2010)	A	1108	56	Démocratie à la romaine	CS	115	70
Sclérose en plaques (la) est liée au virus Epstein-Barr	B	1112	41	Dieux (le foisonnement des)	CS	116	96
Sexe (pourquoi est-il parfois difficile de définir le) ? Q/R	A	1108	108	Disparition ou diffusion massive des langues	CS	118	112
Sida (le virus du) aura bientôt sa thérapie génique	B	1115	40	Droit des Romains (que reste-t-il du) ?	CS	115	108
Sida (on sait pourquoi des porteurs ne développent jamais le)	B	1114	42	Eau et énergie dans la ville médiévale	CS	120	59
Sida, l'épidémie peut être vaincue d'ici 20 ans	A	1119	72	Eglise (comment l') enrôle Arthur	CS	117	38
Souffle (le premier) tient à un gène	B	1118	22	Elevage et Mésopotamie, sélection et têtes de séries	CS	116	29
Souvenirs (on sait désormais lire dans les)	B	1112	14	Enseignement et recherche, innovation à Versailles	CS	119	28
Stress (la sensibilité des femmes au) serait biologique	B	1116	22	Epopée de Gilgamesh (l')	CS	116	99
Stress du premier jour (le) procure un stress durable	B	1108	30	Etrusques (la cité sous ses atours)	CS	115	40
Tabagisme passif (le) est-il aussi nocif qu'on le dit ? Q/R	A	1116	110	Etrusques, la culture du raffinement	CS	115	50
Talon haut rime avec muscle court et tendon rigide	B	1116	35	Excalibur, l'acier de la légende	CS	117	81
Tassin (nos 3 questions à Jean-Pol)	B	1108	134	Expéditions, quand l'Europe explorait le monde	CS	119	90
Temps (pourquoi le) passe de plus en plus vite	A	1109	44	Fondation de Rome, du mythe à l'histoire	CS	115	22
Ténia porcin (la transmission à l'homme du) peut être stoppée	B	1114	41	Fontaines de Versailles (les), grands travaux en cascade	CS	119	68
Thalidomide (le mode d'action de la) est éclairci	B	1112	39	Franc-maçonnerie (d'où vient la) ?	ES	30	15
Thérapie (la première) par cellules souches embryonnaires	B	1119	14	Grandes villes (les) au Moyen Age	CS	120	32
THS et cancer du sein (un lien a été trouvé entre)	B	1119	42	Haut Moyen Age et trame urbaine	CS	120	12
Tissu pulmonaire (du) créé à partir de cellules souches et d'air	B	1108	11	Hauts lieux (les) de la cité romaine	CS	115	87
Toxique (le plomb) même à faible dose	B	1109	34	Hommes (et la parole vint aux)	CS	118	20
Traitements : un arsenal diversifié	HS	251	96	Île de Bretagne (l')	CS	117	20
Tuberculose (un médicament promet de vaincre la)	B	1109	38	Indépendance américaine (l')œuvre des francs-maçons ?	ES	30	24
Tuberculose (un test sanguin pour prédire la gravité de la)	B	1117	17	Instruments de science (les plus beaux)	CS	119	84
Vaccin thérapeutique (le) contre certains cancers prostatiques	B	1114	40	Instruments mésopotamiens de la conquête (les)	CS	116	56
Vaccination, la fin de l'exception française	A	1109	60	Invention des nanotechnologies (l')	HS	253	30
Vaccins - précisions 1109	F	1110	11	Irak, menaces sur le patrimoine	CS	116	6
Vaccins (les) pourront être conservés à température ambiante	B	1111	48	Irrigation (l') et l'agriculture en Mésopotamie	CS	116	22
Vie (80 vérités de science : la)	A	1115	80	Langage (et si le) avait une racine sociale ?	CS	118	98
VIH (60 secondes pour un dépistage ultrarapide)	B	1109	38	Langue grecque (la)	CS	118	47
Virus (les jouets de salle d'attente propices à la transmission de)	B	1111	50	Langue mère (sur la piste de la)	CS	118	28
Virus (un) force les cellules qu'il infecte à le protéger	B	1110	34	Langue nipponne (la)	CS	118	79
Virus de plante (qu'un) puisse nous infecter n'est plus exclu	B	1113	46	Langues d'Afrique noire (les)	CS	118	88
Vision - précision 1106	F	1108	7	Langues afro-asiatiques (les)	CS	118	82
Vue (ils ont trouvé un moyen pour rendre la)	A	1115	26	Langues austronésiennes (les)	CS	118	35
				Langues chinoises (les)	CS	118	74
				Langues de l'Antiquité (les)	CS	118	40
				Langues et diversité	CS	118	10
				Langues germaniques (les)	CS	118	64
				Langues romanes (les)	CS	118	58
				Langues slaves (les)	CS	118	69
				Latin (le)	CS	118	52
				Légion (et Rome créa la)	CS	115	59
				Livre (la culture du) prend son essor, les manuscrits arthuriens	CS	117	32
				Livre encyclopédique (le) miroir du monde	CS	117	84
				Longitude (la) remet les pendules à l'heure	CS	119	102
				Lupercal, grotte mystérieuse sous le Palatin	CS	115	29
				Marine, les escadres de la reconquête	CS	119	98
				Médecine en Mésopotamie: l'exorciste et le clinicien	CS	116	74
				Médecine, esquisse d'une politique de santé	CS	119	54
				Ménagerie royale, les anatomistes se font les griffes	CS	119	45
				Merlin, une figure inédite de la science	CS	117	98
				Mésopotamie, le pays entre deux fleuves	CS	116	14
				Métiers en Mésopotamie (les) prennent leurs quartiers	CS	116	42
				Métissage des hommes et des cultures	CS	116	18

## HISTOIRE, SOCIÉTÉ, ESPRIT

### HISTOIRE / HISTOIRE DES SCIENCES

Académie des sciences, une science d'Etat est née	CS	119	18	Langues slaves (les)	CS	118	69
Alchimie (l') perpétuée au travers de la franc-maçonnerie ?	ES	30	108	Latin (le)	CS	118	52
Anciens (cancer, une maladie déjà connue des)	HS	251	46	Légion (et Rome créa la)	CS	115	59
Anciens (les) savaient-ils tout ?	ES	30	96	Livre (la culture du) prend son essor, les manuscrits arthuriens	CS	117	32
Argent (l') et le commerce dans la ville médiévale	CS	120	94	Livre encyclopédique (le) miroir du monde	CS	117	84
Arthur (chaque époque s'empare de ce mythe)	CS	117	14	Longitude (la) remet les pendules à l'heure	CS	119	102
Arthur (les histoires d')	CS	117	6	Lupercal, grotte mystérieuse sous le Palatin	CS	115	29
Arthur, la geste des temps modernes	CS	117	106	Marine, les escadres de la reconquête	CS	119	98
Arthur, la portée d'une légende	CS	117	31	Médecine en Mésopotamie: l'exorciste et le clinicien	CS	116	74
Artisanat (l') dans la ville médiévale	CS	120	82	Médecine, esquisse d'une politique de santé	CS	119	54
Astronomie (l') ou la nouvelle cohésion du monde	CS	119	108	Ménagerie royale, les anatomistes se font les griffes	CS	119	45
Bible (la Mésopotamie éclaire-t-elle la) ?	CS	116	103	Merlin, une figure inédite de la science	CS	117	98
Bibliothèque (les) temples des savants	CS	116	66	Mésopotamie, le pays entre deux fleuves	CS	116	14
Cabinet de curiosités (le plus grand) du monde	ES	30	78	Métiers en Mésopotamie (les) prennent leurs quartiers	CS	116	42
Calendrier mésopotamien (le)	CS	116	92	Métissage des hommes et des cultures	CS	116	18

Monstres et merveilles (au pays des)	CS	117	90	Exploration (les coulisses de l')	HS	250	145
Moyen Age (l'histoire du) et la légende arthurienne	CS	117	45	Explorations maritimes (250 ans d')	HS	250	52
Mythe arthurien (le) hante toujours la culture occidentale	CS	117	112	Fraude à Harvard: l'institution confirme!	B	1118	20
Nature (le langage résonne des sons de la)	CS	118	106	Hommes (et la parole vint aux)	CS	118	20
Nombres (jongleurs de)	CS	116	80	Langage (ce singe est doué d'un vrai)	B	1109	16
Nourrir une ville médiévale	CS	120	63	Langage (des singes relancent le débat sur son origine)	A	1114	92
Observatoire de Paris, l'instrument des visées royales	CS	119	24	Langage (et si le) avait une racine sociale?	CS	118	98
Occident s'urbanise (l')	CS	120	22	Langage moderne (l'apparition du)	CS	118	16
Occultisme (les sciences modernes sont-elles nées de l')?	ES	30	702	Langue disparue (une) refait surface	B	1118	24
Oral (de l') à l'écrit	CS	117	24	Langue grecque (la)	CS	118	47
Origines (la longue quête des)	CS	118	6	Langue mère (sur la piste de la)	CS	118	28
Origines de Rome	CS	115	12	Langue nipponne (la)	CS	118	79
Paris (une nuit à)	CS	120	96	Langues (d'Afrique noire (les)	CS	118	88
Paris, ville maçonnique ?	ES	30	70	Langues afro-asiatiques (les)	CS	118	82
Petite écurie, la médecine vétérinaire	CS	119	42	Langues austroasiennes (les)	CS	118	35
Potager du roi, au laboratoire des saveurs royales	CS	119	34	Langues chinoises (les)	CS	118	74
Pouvoir (l'organisation du) dans la ville médiévale	CS	120	38	Langues de l'Antiquité (les)	CS	118	40
Religion (la) dans la ville médiévale	CS	120	102	Langues et diversité	CS	118	10
République (la leçon de Rome)	CS	115	112	Langues germaniques (les)	CS	118	64
République conquérante (la)	CS	115	65	Langues romanes (les)	CS	118	58
Révolution française (les francs-maçons ont-ils fait la) ?	ES	30	30	Langues slaves (les)	CS	118	69
Rois (les) du monde	CS	116	48	Latin (le)	CS	118	52
Rois de l'imaginaire (Arthur et Charlemagne)	CS	117	50	Légende (Arthur, la portée d'une)	CS	117	31
Rome (une journée à)	CS	115	75	Légende (chaque époque s'empare de cette)	CS	117	14
Rome avant Rome	CS	115	6	Mythe et légende du roi Arthur	CS	117	6
Rome, acte de naissance	CS	115	16	Nature (le langage résonne des sons de la)	CS	118	106
Rome, adversaires passés et à venir	CS	115	100	Origines (80 vérités de science: les)	A	1115	68
Rome, une ville si peu romaine	CS	115	80	Origines (la longue quête des)	CS	118	6
Royauté romaine (le temps de la)	CS	115	34	Recherche high-tech (la) dépend du travail de terrain	HS	250	40
Savants (deux figures de) à Versailles	CS	119	112	Science (la) repart à l'aventure	HS	250	6
Science (la) derrière le roman	ES	30	6	Science-fiction (la) obtient droit de cité	N	1118	134
Science (le mythe à l'épreuve de la science)	CS	117	58	Spécial Vie quotidienne	QR	5	1
Science (une nouvelle vision de la), les nanotechnologies	HS	253	144	Traversées (premières) un projet qui fait parler	CS	118	26
Science réinventée (la), révolution du XVII <sup>e</sup>	CS	119	6				
Sciences au Château de Versailles	CSS	4	1				
Sel (le), richesse de Rome	CS	115	46	<b>MATHÉMATIQUES / JEUX / CURIOSITÉS</b>			
Sociétés humaines (les) entre permissivité et exclusivité	CS	116	112	Chaos (le) est finalement partout!	A	1111	88
Stonehenge, le prodige du cercle de pierres	CS	117	52	Fractales - suite 1109	F	1111	11
Style et architecture dans la ville médiévale	CS	120	52	Fractales, elles entrent dans la troisième dimension	A	1109	86
Sumer signe l'histoire	CS	116	60	Hasard (peut-on vraiment produire des nombres au)? Q/R	A	1117	122
Traversées (premières) un projet qui fait parler	CS	118	26	Hypothèse de 1968 (une) vient seulement d'être démontrée!	B	1114	17
Traversées maritimes et langage	CS	118	16	Jongleurs de nombres	CS	116	80
Troyes (la ville à travers l'exemple de Troyes)	CS	120	6	Loi mathématique (les cyclones obéissent à une)	B	1116	30
Université (l') dans les villes du Moyen Age	CS	120	108	Maths (certains enfants sont-ils malades des)?	A	1110	66
Urbanisme et paysage urbain	CS	120	46	Morpion solitaire (le record est enfin battu!)	A	1118	144
Versailles et l'innovation scientifique	CS	119	14	Nombres (80 vérités de science: les)	A	1115	58
Versailles, la science portée au pinacle	CS	119	78	Rubik's Cube (le) peut être résolu en 20 coups!	B	1117	30
Versailles, les étapes de la construction	CS	119	58	Villani (nos 3 questions à Cédric)	B	1118	148
Vie au quotidien dans une ville médiévale (la)	CS	120	74				
Ville médiévale (la) se différencie de la campagne	CS	120	18				
Ville médiévale et ville d'aujourd'hui	CS	120	112				
Ville médiévale, ville nouvelle	CS	120	26				
Villes (et les) surgissent de terre	CS	116	32				
Villes fortifiées (les) du Moyen Age	CS	120	66				
Washington (capitale de la franc-maçonnerie)?	ES	30	58				

**ÉDUCATION / RECHERCHE / COMMUNIC. / SOCIÉTÉ**

Académie des sciences, une science d'Etat est née	CS	119	18
Créoles (les linguistes font parler les)	CS	118	94
Démographie (les vrais chiffres de la croissance)	A	1108	74
Démographie mondiale - suite 1109	F	1110	11
Disparition ou diffusion massive des langues	CS	118	112
Enseignement et recherche, la voie royale de l'innovation	CS	119	28
Etienne (Jean-Louis), le savanturier	HS	250	115

**PHYSIQUE, CHIMIE, TECHNOLOGIE****PHYSIQUE / CHIMIE**

Accélérateur du CERN (l') bat un premier record	B	1109	12
ADN (les physiciens en font un matériau de construction)	A	1113	104
Aimant permanent (comment fabrique-t-on un)? Q/R	B	1116	116
Aimants, on tient enfin le monopôle magnétique	A	1108	98
Alliage (un nouvel) va rendre les frigos moins polluants	B	1113	40
Antimatière (les éclairs créent de l')	B	1108	12
Atomes (ce transistor ne mesure que sept) de long	B	1115	42
Atomes (les) ne gèlent pas lorsqu'ils sont pentagonaux	B	1114	22
Atomes de bore et d'azote (des) ont été enfin visualisés	B	1113	13
Avalanche (risque-t-on de déclencher une) en criant? Q/R	B	1119	119
Ballon (pourquoi un) est plus dur à gonfler au début? Q/R	B	1118	119
Bleus (voici l'un des plus beaux) jamais découvert	B	1108	14

## INDEX THÉMATIQUE 2010

INVENTIONS / TECHNIQUES / INDUSTRIE / BÂTIMENT				
Bulle (de la mort d'une) naissent d'autres bulles	B	1115	18	3D (la carte) du massif qui se cache sous l'Antarctique
Champagne, servi penché il est meilleur	B	1118	19	Cellule dévoilée (la)
Chant des dunes (d'où vient l'étrange) ? Q/R	B	1114	116	Cerveau (le) en action
Condensat de Bose-Einstein (un type de) vient d'être produit	B	1108	10	CO <sub>2</sub> (un moyen économique pour capturer le)
Courant (ils apportent le) au monde microscopique	A	1117	33	Cœur (une bague qui mesure les pulsations du)
Décodage (l'art du) explose son record	B	1110	15	Equipements (les) ne pèsent-ils pas trop lourd ?
Défi industriel (le) des nanotechnologies	HS	253	112	Feux d'artifice (les) - point sur
Détecteur de nanoparticules (le premier)	B	1110	15	Gratte-ciel (un) défie les lois de la gravité
Diapason (d'où vient la forme en U du) ? Q/R	B	1118	118	Imagerie (l') une révolution médicale
Dolgs (pourquoi les) collent-ils au contact d'un objet gelé ? Q/R	B	1119	121	Imagerie médicale: le corps transparent
DVD (le) s'inspire de la vision d'une crevette	B	1108	37	Immeuble (cet) est isolé par une membrane gonflable
Eau (il est possible de geler de l') en la chauffant !	B	1111	32	Lithium (l'avenir de la voiture électrique se joue ici)
Electrons (pourquoi les) ne s'écrasent pas sur le noyau ? Q/R	B	1111	116	Lumière: voir d'autres longueurs d'ondes
Electrons autour d'une molécule (la première image d')	B	1112	15	Elément 117 (l') a été détecté
Elément 117 (l') a été détecté	B	1113	30	Énergie (un composant recycle l') des systèmes électroniques
Énergie (un composant recycle l') des systèmes électroniques	B	1119	50	Film (pourquoi ne voit-on pas un) projeté sur un miroir ? Q/R
Film (pourquoi ne voit-on pas un) projeté sur un miroir ? Q/R	B	1108	111	Matériaux (les) et les nanotechnologies
Fontecave (nos 3 questions à Marc)	B	1114	138	Matière (la) mise à nu
Force gravitationnelle agit-elle instantanément (la) ? Q/R	B	1112	118	Force gravitationnelle agit-elle instantanément (la) ? Q/R
Gaz (un) peut-il se solidifier ? Q/R	B	1113	125	Gaz (un) peut-il se solidifier ? Q/R
Gouttes d'eau (on a compris comment les) grossissent	B	1112	22	Gouttes d'eau (on a compris comment les) grossissent
Graphène (le) met le cap sur la production de masse	B	1111	53	Graphène (le) met le cap sur la production de masse
Graphène (un record obtenu dans une bosse de)	B	1117	16	Graphène (un record obtenu dans une bosse de)
Gravitation (elle ne serait qu'une illusion)	A	1116	42	Gravitation (elle ne serait qu'une illusion)
Gravitation (la) en cause - suite 1116	F	1118	11	Gravitation (la) en cause - suite 1116
Hélium (pourquoi respirer de l') modifie la voix ? Q/R	B	1113	124	Hélium (pourquoi respirer de l') modifie la voix ? Q/R
Horloge (voici l') la plus précise du monde	B	1111	16	Horloge (voici l') la plus précise du monde
Intelligence de la nature (l') intéressera enfin les ingénieurs	A	1112	47	Intelligence de la nature (l') intéressera enfin les ingénieurs
Joconde (la douceur de la) dévoilée aux rayons X	A	1116	24	Joconde (la douceur de la) dévoilée aux rayons X
Laser (le plus petit) du monde vient de voir le jour	B	1113	54	Laser (le plus petit) du monde vient de voir le jour
Lignes à haute tension (la prudence s'impose sous les)	B	1113	52	Lignes à haute tension (la prudence s'impose sous les)
Livre (l'odeur d'un) suffit pour dire s'il est abîmé	B	1108	36	Livre (l'odeur d'un) suffit pour dire s'il est abîmé
Matière (80 vérités de science: la)	A	1115	46	Matière (80 vérités de science: la)
Matière (la) mise à nu	HS	252	133	Matière (la) mise à nu
Miel (qu'est-ce qui fait que le) est solide ou liquide ? Q/R	B	1118	117	Miel (qu'est-ce qui fait que le) est solide ou liquide ? Q/R
Miniaturisation et électronique, le nanomonde	HS	253	84	Miniaturisation et électronique, le nanomonde
Mirasol - précision 1112	F	1113	9	Mirasol - précision 1112
Modèle standard (le) enfin pris en défaut	B	1114	15	Modèle standard (le) enfin pris en défaut
Nano naturellement	HS	253	26	Nano naturellement
Nano-ingénieur (la boîte à outils du)	HS	253	46	Nano-ingénieur (la boîte à outils du)
Nanotechnologie, une autre dimension	HS	253	8	Nanotechnologie, une autre dimension
Nanotechnologies (l'invention des)	HS	253	34	Nanotechnologies (l'invention des)
Nanotechnologies (questions sur les)	HS	253	119	Nanotechnologies (questions sur les)
Nanotubes à la chaîne (des)	HS	253	72	Nanotubes à la chaîne (des)
Neutrino (un) a été observé en pleine transformation	B	1116	16	Neutrino (un) a été observé en pleine transformation
Particules (peut-on vraiment voir les)	HS	252	143	Particules (peut-on vraiment voir les)
Particules élémentaires (quelle est la forme des) ? Q/R	B	1110	114	Particules élémentaires (quelle est la forme des) ? Q/R
Peinture fluorescente (qu'est-ce qui rend la) ? Q/R	B	1109	103	Peinture fluorescente (qu'est-ce qui rend la) ? Q/R
Plasma (un) a battu tous les records de température	B	1111	14	Plasma (un) a battu tous les records de température
Procédé (un nouveau) pour créer de la pluie	B	1114	14	Procédé (un nouveau) pour créer de la pluie
Proton (le) est trop petit pour la théorie	B	1116	12	Proton (le) est trop petit pour la théorie
Science (nanotechnologie, une nouvelle vision de la)	HS	253	144	Science (nanotechnologie, une nouvelle vision de la)
Stalactites (les) livrent le secret de leur forme	B	1117	21	Stalactites (les) livrent le secret de leur forme
Superlaser (un) a recréé les abords d'un trou noir	B	1108	10	Superlaser (un) a recréé les abords d'un trou noir
Supraconducteurs (performance des) et structure fractale	B	1117	24	Supraconducteurs (performance des) et structure fractale
Tartine beurrée (pourquoi la) tombe-t-elle du mauvais côté ? Q/R	B	1114	117	Tartine beurrée (pourquoi la) tombe-t-elle du mauvais côté ? Q/R
Téléportation quantique - suite 1115	F	1117	11	Téléportation quantique - suite 1115
Théorie du tout (la) contestée	B	1113	26	Théorie du tout (la) contestée
Tonnerre (qu'est-ce qui provoque le) ? Q/R	B	1110	114	Tonnerre (qu'est-ce qui provoque le) ? Q/R
Trous noirs (les) recréés en laboratoire	A	1114	98	Trous noirs (les) recréés en laboratoire
Vie (les bases de la) ont bel et bien pu tomber du ciel	B	1108	14	Vie (les bases de la) ont bel et bien pu tomber du ciel
Vitres teintées (pourquoi ne voit-on que d'un côté des) ? Q/R	B	1113	123	Vitres teintées (pourquoi ne voit-on que d'un côté des) ? Q/R
Voix (pourquoi trouve-t-on sa) enregistrée différente ? Q/R	B	1109	104	Voix (pourquoi trouve-t-on sa) enregistrée différente ? Q/R
Zéro absolu - précision 1106	F	1109	9	Zéro absolu - précision 1106
AVIATION / ARMEMENT / DÉFENSE				
Avion (des algues font voler cet)	B	1115	34	Avion (des algues font voler cet)
Avion hybride (cet) combinera batteries et turbines à gaz	B	1117	52	Avion hybride (cet) combinera batteries et turbines à gaz
Avion solaire (un) a volé un jour et toute une nuit	B	1116	10	Avion solaire (un) a volé un jour et toute une nuit
Avion zéro carburant (l') réussit son premier vol	B	1113	54	Avion zéro carburant (l') réussit son premier vol
Avion-hélico individuel (l') va être testé	B	1110	38	Avion-hélico individuel (l') va être testé
Billet d'avion (pourquoi existe-t-il autant de tarifs pour un) ? Q/R	R	1115	112	Billet d'avion (pourquoi existe-t-il autant de tarifs pour un) ? Q/R
Canon à ondes sonores (le) se veut anti-émeute	B	1110	39	Canon à ondes sonores (le) se veut anti-émeute
Défense (la) et les nanotechnologies	HS	253	108	Défense (la) et les nanotechnologies
Désarmement nucléaire (le) est-il réalisable ?	A	1112	68	Désarmement nucléaire (le) est-il réalisable ?
Dirigeables (le grand retour)	A	1118	100	Dirigeables (le grand retour)
Dreamliner (le Boeing 787) a enfin décollé	B	1109	12	Dreamliner (le Boeing 787) a enfin décollé
Drone (un) télécommandé par téléphone	B	1116	124	Drone (un) télécommandé par téléphone
Hélicoptère (un) pulvérise le record du monde de vitesse	B	1118	17	Hélicoptère (un) pulvérise le record du monde de vitesse
Hélicoptères (de nouvelles pales rendent les) plus silencieux	B	1114	49	Hélicoptères (de nouvelles pales rendent les) plus silencieux
Marine, les escadres de la reconquête	CS	119	98	Marine, les escadres de la reconquête
Robots (les armées de terre parlent sur les)	A	1110	84	Robots (les armées de terre parlent sur les)

Voiture volante française (la) - suite	F	1119	9	Chaussures (des) qui allègent la randonnée	B	1110	125
Voitures volantes (les) ne sont plus un rêve	A	1116	74	Compacts (les) - technofolies spécial photo -	B	1118	130
Vol hypersonique (un avion sans pilote bat le record de)	B	1115	42	Générateur solaire nomade (le premier)	B	1114	126
<b>VÉHICULES / TRANSPORT</b>							
Accidents (sommes-nous tous égaux face aux) ?	ES	31	102	Gourde (une) à triple filtre qui purifie l'eau à 100 %	B	1114	125
Ailmants (les) font la différence de rendement	ES	31	42	Grille-pain transparent (le premier)	B	1109	114
Airbag (l') - le point sur	A	1117	128	Guitare (la) totalement synthétique	B	1113	140
Airbag et ceintures (jusqu'où) sont-ils vraiment efficaces ?	ES	31	100	Jeux solaires (six) en un	B	1110	124
Autoradio à écran tactile (l') discrètement sécurisé	B	1117	138	Lave-linge (un mini) de capacité record	B	1109	113
Baladeur (le système audio adopte le)	B	1117	139	Loisirs et technos (les innovations 2010)	A	1108	64
Batterie (les 6 défis de la)	ES	31	28	Loisirs spécial Noël	B	1119	134
Biocarburants (les nouvelles promesses des)	ES	31	96	Luge (la) pour glisser debout	B	1110	122
Casque (ce) prévient les œdèmes cérébraux	B	1110	36	Lunettes de soleil (des) qui font aussi masque	B	1109	114
Ceinture de sécurité gonflable (une)	B	1117	140	Montres de plongée (le fin du fin des)	B	1112	130
Citadine (la première) 100 % électrique	B	1117	136	Objectifs (les) - technofolies spécial photo -	B	1118	131
Deux-roues (un) mutant pour la ville	B	1111	126	Palmes (des) qui n'empêchent pas de marcher	B	1114	127
Energies (le regain d')	ES	31	8	Panneaux solaires colorés à haut rendement (les premiers)	B	1114	124
Energies vertes (les) au secours de l'autonomie	ES	31	44	Patins à roue (voici les)	B	1115	125
Equipements (les) ne pèsent-ils pas trop lourd ?	ES	31	112	Photo & vidéo spécial Noël	B	1119	136
Formule 1 (la) - le point sur	A	1111	119	Piscine (l'assistant qui gère la)	B	1115	125
GPS (le) le plus fin et le plus léger du monde	B	1117	138	Poussette légère et contorsionniste (une)	B	1115	124
Habitacle (l') conçu comme un havre de sérénité	B	1117	137	Prise (une) pour rester au courant	B	1109	115
Induction (les voitures se rechargeront bientôt par)	B	1117	53	Punching-ball (un) qui joue les coachs	B	1116	126
Internet (l') dans sa voiture, c'est possible	ES	31	110	Purificateur d'air qui élimine les virus (le)	B	1110	123
Internet (la première voiture à 8 connexions)	B	1117	139	Reflex (les) - technofolies spécial photo -	B	1118	128
Lithium (la ruée vers l'or des batteries)	ES	31	34	Réveil (le) qui dit l'heure dès qu'on la lui demande	B	1115	124
Location (les constructeurs parlent sur la)	ES	31	52	Rollers (des) qui freinent en toute sécurité	B	1112	126
Low cost (et si la voiture électrique était la voie royale pour le)	ES	31	60	Sac toupie (le) pour la neige	B	1109	113
Marché mondial, l'Asie passe en tête	ES	31	80	Skis experts (des) flexibles et stables	B	1109	114
Moteur révolutionnaire (une berline écolo au)	B	1109	112	Tente sur pilotis (la première)	B	1112	129
Moteurs thermiques (les) se mettent au vert	ES	31	70	Thé (une machine à) de gourmet	B	1116	125
Plétons (peut-on mieux protéger les) ?	ES	31	103	Velux (des) commandés à distance	B	1108	121
Pneu (le) qui freine plus court sur la neige	B	1117	140	Ventilateur (un) sans pale	B	1108	122
Pot catalytique (le) traque les gaz nocifs	ES	31	94	Vêtements anti-sueur (des)	B	1115	126
Réseau électrique (le) est-il prêt ?	ES	31	46	Wii (des manettes plus précises que celles de la)	B	1116	128
Scooter (un) qui tire profit de chaque arrêt	B	1112	125	Wii (la) - le point sur	A	1108	114
Scooter à trois roues (le) - point sur	A	1116	118	Zoom (le) qui détient le record d'amplitude	B	1113	138
Scooter écolo (un) à hautes performances	B	1111	127				
Stockage de l'énergie (les supercondensateurs)	ES	31	40	<b>ÉLECTRONIQUE / INFORMATIQUE / VIRTUEL</b>			
Stop&start (le) gagnant en rapidité	B	1117	137	3D (l'ordinateur-téléviseur à écran)	B	1113	135
Transports et énergie (les innovations 2010)	A	1108	40	3D (le premier portable)	B	1109	116
Vélo (la roue qui facilite l'apprentissage du)	B	1108	121	3D (reconstituer une scène de crime en) à partir d'une photo	B	1109	41
Vélo (le) qui se prend pour un scooter	B	1109	116	Courts-circuits électroniques (alerte à l'épidémie de)	A	1117	80
Vélo électrique (le dernier cri du)	B	1115	122	Cristal (un) bat des records de durée de stockage	B	1116	40
Vélo électrique (un) bien gardé	B	1116	126	Distributeur automatique de billets (le) - le point sur	A	1112	120
Vélo électrique (un) contorsionniste	B	1110	122	E-book (un) avec écran couleur tactile	B	1109	115
Voile (le seuil mythique des 100 km/h à la) enfin franchi !	B	1119	17	Electronique et miniaturisation	HS	253	84
Voilier (ce) va trois fois plus vite que le vent	B	1111	19	E-tablette (une) pour cuisiner comme un chef	B	1108	122
Voiture électrique (l'an 1 de la)	ES	31	22	Haut-parleurs (pourquoi les) crépitent à côté d'un portable ? Q/R	B	1117	126
Voiture électrique (l'avenir de la) est liée au lithium	A	1114	74	Horloge solaire (une) en kit	B	1108	124
Voitures de sport (les chevaux électriques)	ES	31	62	Informatique spécial Noël	B	1119	138
Voitures hybrides le beau mariage de raison	ES	31	86	Mini-serveur sans fil (un) domestique et nomade	B	1113	136
Voitures volantes (les) ne sont plus un rêve	A	1116	74	Musique (comment Shazam reconnaît-il un titre de) ? Q/R	B	1116	113
<b>LOISIRS / PHOTO / SPORT / MAISON / BUREAU</b>							
Accessoires (les) - technofolies spécial photo -	B	1118	132	Netbook basse conso (un) en plastiques recyclés	B	1111	128
Anorak (l') à tout faire pour la rando	B	1114	128	Notebook (le) qui inaugure l'USB 3.0	B	1113	137
Appareil photo à capteur amovible (le premier)	B	1110	124	Notebook (un) à double écran coulissant	B	1110	124
Aspirateur laser (le robot) qui scanne les obstacles	B	1115	126	Objets nomades spécial Noël	B	1119	132
Aspirateur sans fil (l') grâce à sa batterie	B	1112	127	Ordinateur portable (un) à double écran tactile	B	1116	127
Céréales (un appareil pour faire ses barres de)	B	1114	125	Prise intelligente (la)	B	1112	128
Chargeur dopé par le pédalage	B	1111	127	Puce (une) dissimule 48 coeurs	B	1109	41
Chaussure (la) qui amortit les chocs	B	1108	122	Souris (une) totalement dédiée à la 3D	B	1114	126

## INDEX THÉMATIQUE 2010

Vidéosurveillance (le bluff de la)  
Yo-yo (un) pour recharger ses appareils nomades

A 1111 82  
B 1111 130

Lunettes "actives" (des) quasi universelles  
Mini-écouteurs (des) imperméables aux bruits extérieurs  
Photo & vidéo spécial Noël  
Radio (la) qui se recharge d'un tour de manivelle  
Télé 3D (la) - le point sur  
Télécommande (une) magique  
Télévision & son spécial Noël  
Vidéoprojecteur (le) qui la joue en relief  
Vidéoprojecteurs lumineux (des) sans mercure

B 1113 135  
B 1116 125  
B 1119 136  
B 1111 128  
A 1119 122  
B 1108 123  
B 1119 130  
B 1113 134  
B 1111 128

### TÉLÉVISION / VIDÉO / SON / MULTIMÉDIA

3D (ce téléviseur à plasma offre la) chez soi  
3D (l'ordinateur-téléviseur à écran)  
Baffle (la) ultraplate et légère  
Caisson de basses (le) qui ne vibre pas  
Caméra (une) pour immortaliser ses exploits  
Caméscope (un mini) haute définition avec projecteur intégré  
Embouteillages (l'application qui dit où sont les)  
GPS (le) qui coupe la télé au démarrage  
Jukebox (le premier) qui obéit aux seuls gestes  
Lampe LED à musique (la toute première)  
Laser (le) prochaine révolution dans le monde des écrans  
Lecteur blu-ray (un) paré pour les DVD en relief

B 1112 126  
B 1113 135  
B 1113 138  
B 1114 126  
B 1114 128  
B 1113 138  
B 1115 123  
B 1113 136  
B 1108 120  
B 1111 130  
B 1111 53  
B 1112 129

### TÉLÉPHONE / TÉLÉCOM / RÉSEAUX / INTERNET

Antenne radio flexible (une) et incassable a été conçue  
Antennes-relais (grâce aux) on mesure l'intensité de la pluie  
Téléphone (un) à l'affichage d'écran sans pareil  
Téléphone mobile (le) qui se divise  
Téléphones (demain, les interférences disparaîtront sur les)

B 1109 40  
B 1111 44  
B 1113 137  
B 1110 126  
B 1118 47

## VOTRE BON DE COMMANDE POUR VOS ANCIENS N°S ET RELIURES

À découper ou recopier et à retourner paiement joint à SCIENCE & VIE, Service VPC, 1 rue du Colonel-Pierre-Avia, 75503 Paris Cedex 15

- Veuillez m'adresser

prix      nombre      total

- Les numéros mensuels de Science & Vie: n° \_\_\_\_\_  
au prix unitaire franco de port de: 5,20€ (étranger 6,20€)      soit \_\_\_\_\_ X \_\_\_\_\_ = \_\_\_\_\_
- Les numéros hors-série de Science & Vie: n° \_\_\_\_\_  
au prix unitaire franco de port de: 5,90€ (étranger 6,90€)      soit \_\_\_\_\_ X \_\_\_\_\_ = \_\_\_\_\_
- La reliure pour 12 n° de Science & Vie \_\_\_\_\_  
au prix unitaire franco de port de: 10€ (étranger 12€)      soit \_\_\_\_\_ X \_\_\_\_\_ = \_\_\_\_\_
- La reliure pour 12 n° des Cahiers de Science & Vie \_\_\_\_\_  
au prix unitaire franco de port de: 15€ (étranger 17€)      soit \_\_\_\_\_ X \_\_\_\_\_ = \_\_\_\_\_

> Ci-joint mon règlement de: \_\_\_\_\_ €

- Mes coordonnées

Nom \_\_\_\_\_ Prénom \_\_\_\_\_

Adresse \_\_\_\_\_

Pays \_\_\_\_\_

Tél.: \_\_\_\_\_ E-mail: \_\_\_\_\_

- Je choisis de régler par :

- Chèque bancaire, postal ou mandat international (étranger) à l'ordre de Science & Vie
- Carte bancaire

N° \_\_\_\_\_

expire à fin \_\_\_\_\_  
mos \_\_\_\_\_ année \_\_\_\_\_

Code crypto \_\_\_\_\_

Les 3 chiffres au dos de votre CB

Date et signature obligatoires



\*Offres valables en France métropolitaine jusqu'au 30.06.2011 et dans la limite des stocks disponibles.

Conformément à la loi « informatique et libertés » du 6 janvier 1978, cette opération donne lieu à la collecte de données personnelles pour les besoins de l'opération ainsi qu'à des fins de marketing direct. Ces informations sont nécessaires pour le traitement de votre commande. Vous disposez d'un droit d'accès et de rectification des informations vous concernant ainsi que votre droit d'opposition, en écrivant à l'adresse ci-après. Vous êtes susceptible de recevoir des prospections commerciales de notre société pour des produits et services analogues à ceux objet de l'opération. Si vous ne le souhaitez pas, veuillez cocher la case ci-contre. Mondadori Magazines France B, rue François 0-92543 Montrouge Cedex. Excelsior Publications SA RCS B 572 134 773 - Capital : 1 717 360 €.



CHÂTEAU DE VERSAILLES

LE CHÂTEAU DE VERSAILLES PRÉSENTE

# SCIENCES & CURIOSITÉS À LA COUR DE VERSAILLES

EXPOSITION JUSQU'AU 27 FÉVRIER 2011

VOS BILLETS SUR [WWW.CHATEAUVERSAILLES.FR](http://WWW.CHATEAUVERSAILLES.FR)

Grâce au  
mécénat de  
 SAINT-GOBAIN

En partenariat média avec

**CAHIERS**  
SCIENCE

**JUNIOR**

**Sciences**

**YOUPI.COM**

**Direct Matin**

**Doctissimo**

**LE FIGARO**

**LE FIGARO MAGAZINE**

**SCOPE**

**2**

**info**

TOUS LES JOURS, SAUF LE LUNDI, DE 9H À 17H30, DERNIÈRE ADMISSION À 17H - INFORMATIONS ET RÉSERVATIONS AU 01 30 83 78 00

KIA, LE SEUL CONSTRUCTEUR À GARANTIR TOUS SES MODÈLES 7 ANS



## NOUVEAU KIA SPORTAGE

IL FAIT TOURNER LES TÊTES

DESIGN  
QUALITÉ  
GARANTIE  
7 ANS



À PARTIR DE 18 390 €

<sup>(1)</sup> Nouveau Sportage Style 1,6 L essence GDi  
avec système Stop & Go (ISG) de série



Garanti 7 ans, le nouveau Kia Sportage allie design, qualité et dynamisme. C'est donc sans surprise que ce crossover fait se retourner toutes les têtes sur son passage. Non content de plaire aux yeux, il séduit les utilisateurs par ses équipements de haute technologie<sup>(2)</sup> : toit panoramique, climatisation automatique bi-zone, démarrage sans clé, navigation couleur avec caméra de recul, système audio CD/MP3 avec connexion Bluetooth®. Et grâce à son système Stop & Go (ISG) le nouveau Kia Sportage 1,7 L CRDi réduit sa consommation à 5,2 L/100km et ses émissions de CO<sub>2</sub> à 135 g/km.

[www.kia.fr](http://www.kia.fr)



\* Garantie 7 ans ou 150 000 km (1<sup>er</sup> des deux termes échu) valable pour tous les modèles KIA en France métropolitaine et Corse (hors DOM-TOM) et dans tous les Etats membres de l'UE ainsi qu'en Norvège, Suisse, Islande et à Gibraltar. Hors véhicules utilitaires et véhicules à usage commercial. (1) Prix du nouveau Kia Sportage Style 1,6 L essence GDi, sous condition de reprise (20 890 € - 2 500 € de reprise). **Modèle présenté :** nouveau Kia Sportage Active 1,6 L essence GDi à 21 240 €, sous condition de reprise (23 290 € - 2 500 € de reprise + 450 € de peinture métallisée). Le montant de l'offre de reprise est égal à 2 500 € venant s'ajouter à la valeur de reprise de votre ancien véhicule s'il a moins de 8 ans, d'une puissance réelle inférieure ou égale à celle du modèle neuf acheté, pour l'achat d'un nouveau Kia Sportage. La valeur de reprise est calculée en fonction du cours de l'Argus™ du jour de reprise applicable à la version du véhicule repris ou, le cas échéant, à la moyenne des cours des versions les plus proches de celui-ci, ce cours ou ladite moyenne étant ajustés en fonction du kilométrage, des éventuels frais de remise en l'état standard et déduction faite d'un abattement de 15% pour frais et charges professionnels. (2) Équipements listés disponibles de série ou en option selon finition. Consommations mixtes du nouveau Kia Sportage : de 5,2 à 7,0 L/100 km. Émissions de CO<sub>2</sub> de 135 à 183 g/km. Offre valable jusqu'au 30/04/2011 dans la limite des stocks disponibles. **MOTUL**

INNOVATION. VITÉ. VILLE. FRANCE. KIA MOTORS FRANCE - 38391529500067 RCS Nanterre