SCIENCE & VIE

MAI 2012 N° 1136 MONDADORI FRANCE

MATHS
JUSQU'OÙ IRONT-ELLES ?

PHOTOS TRUQUÉES
LE LOGICIEL ANTI-FRAUDE

Cuivre, or, zinc, uranium, phosphore…

ALERTE À LA PÉNURIE

COMMENT RELEVER LE DÉFI ?

MAGNÉTISME NOUS AVONS BIEN UN SIXIÈME SENS

LA TERRE A DEUX LUNES !

France métro : 4,20 € - DOM surf : 4,80 € - DOM avion 6,90 € - BEL : 4,70 € - CH : 8,50 FS - 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 : 45 DH - MAY : 6,40 € - TOM : S/ 750 A/1 400 CFP - PORT.CONT : 4,90 € - TUN : 6,5 DTU

M 02578 - 1136 - F: 4,20 €

BOSE

Audi
L'avance par la technologie

Un détail peut en cacher un autre.

Nouvelle Audi A1 Sportback. Avec juke-box 20 GB.

Avec deux portes en plus, la nouvelle Audi A1 Sportback offre encore plus d'accès au meilleur de la technologie Audi. Ainsi, un juke-box 20 GB vous permettra de bénéficier en permanence de toute votre bibliothèque musicale restituée par des systèmes audio d'une haute qualité acoustique. Un petit détail, mais un grand progrès pour une voiture compacte.

Audi A1. Le condensé d'Audi.

Modèle présenté : Audi A1 Sportback 1.6 TDI 90 ch manuelle 5 Ambition au prix de 21 800 € TTC avec options arches et pavillon de toit de couleur contrastée (480 € TTC), jantes en aluminium coulé 17" style 5 branches (840 € TTC), peinture métallisée (570 € TTC), Pack Navigation Advanced (2 330 € TTC), Bose Surround Sound System (830 € TTC) et projecteurs Xénon Plus avec feux de jour à LED (1 090 € TTC) non incluses. Tarifs au 08/12/2011. Consommations en cycle urbain/routier/mixte (l/100 km) : 4,4/3,4/3,8. Émissions massiques de CO_2 en cycle mixte (g/km) : 99. **Bose** marque déposée par Bose Corporation. Volkswagen Group France S.A. – RC Soissons B 602 025 538 **Castrol EDGE Professional.**

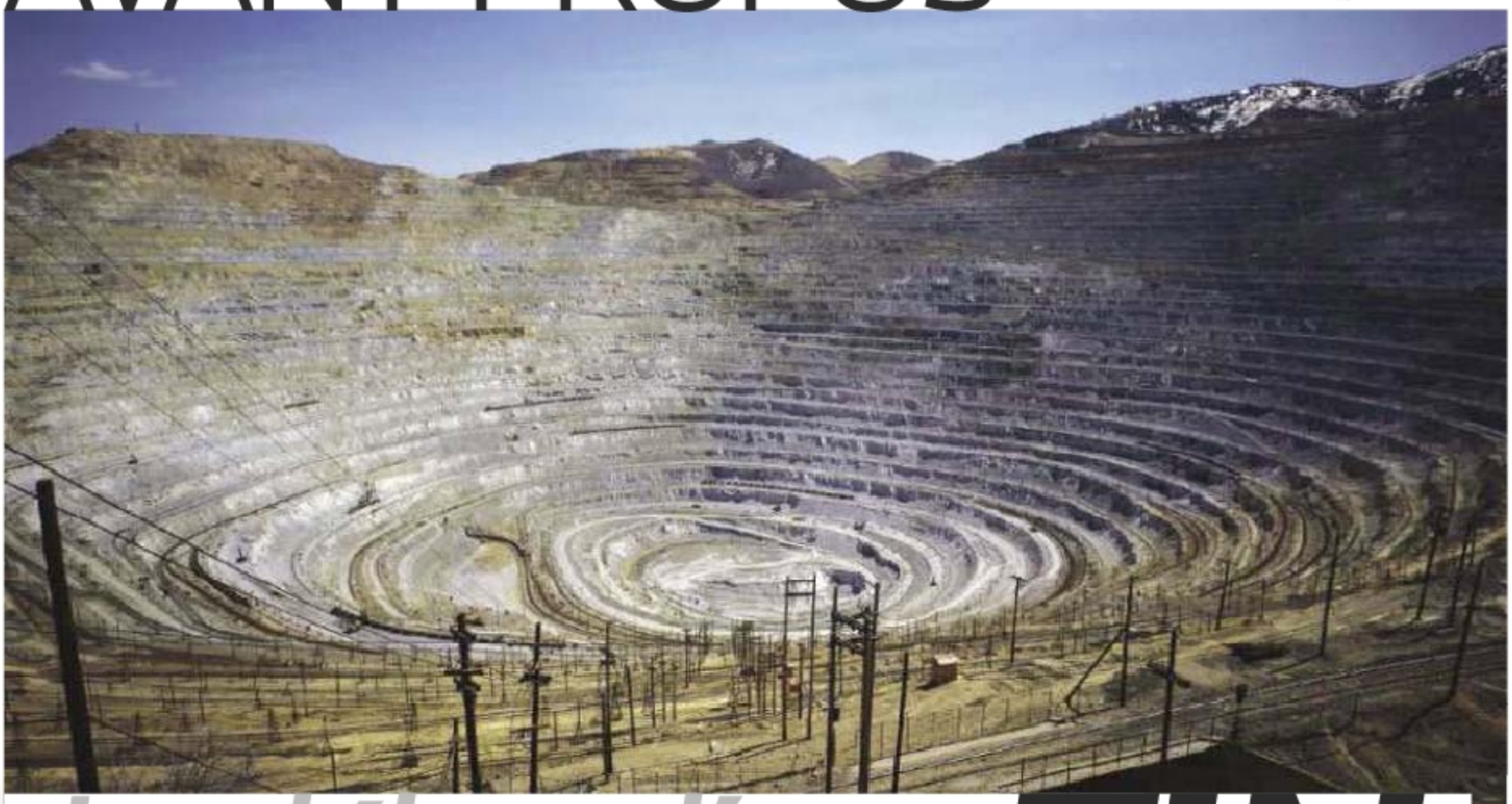
L'ESPRIT PIONNIER

L'Ecosse est une terre de pionniers. Suivant son propre chemin, William Grant changea de vie pour bâtir sa distillerie au cœur du Speyside, dans la vallée des cerfs, Glen Fiddich en gaëlique. C'est dans ce lieu unique que depuis 1887 sont distillés les Single Malts Glenfiddich.

L'ESPRIT PIONNIER

Lixir RCS Bobigny N°B 393 611 561

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



Le début d'une FIN

Il n'est pourtant pas si loin le temps où il suffisait d'infliger une petite piqûre à l'écorce terrestre pour que le pétrole gicle haut et dru. Il y en avait pour tous, à bon prix, pour le plus grand bonheur de chacun. Lorsque Henry Ford lance sa Ford T au début du siècle dernier, le pétrole coule à flot. Il se touche à moins de 20 dollars actuels le baril. Le voici aujourd'hui à plus de 100 dollars. A la pompe, l'essence flirte avec les 2 euros par litre. Des sommets jamais atteints.

Que s'est-il passé? Rien de compliqué ou d'inattendu: les grands gisements de pétrole conventionnel étant désormais en voie d'épuisement – alors que l'on en découvre de moins en moins de nouveaux – les volumes produits ne parviennent plus à satisfaire la demande. D'autant moins que la demande, elle, ne cesse de croître. Aussi ce qui devait arriver arriva: selon l'Agence internationale de l'énergie (AIE), la production a atteint son pic en 2006. Autrement dit, il ne sera plus possible de fournir autant de pétrole à l'avenir. Nous l'avons compris, ou devrions le comprendre: nous sommes entrés en période de pénurie. Et pour de bon. Les compagnies pétrolières vont devoir se tourner vers des gisements nettement moins appétissants, comme les très grandes profondeurs ou les schistes bitumineux. Beaucoup plus compliqué et aussi beaucoup plus cher.

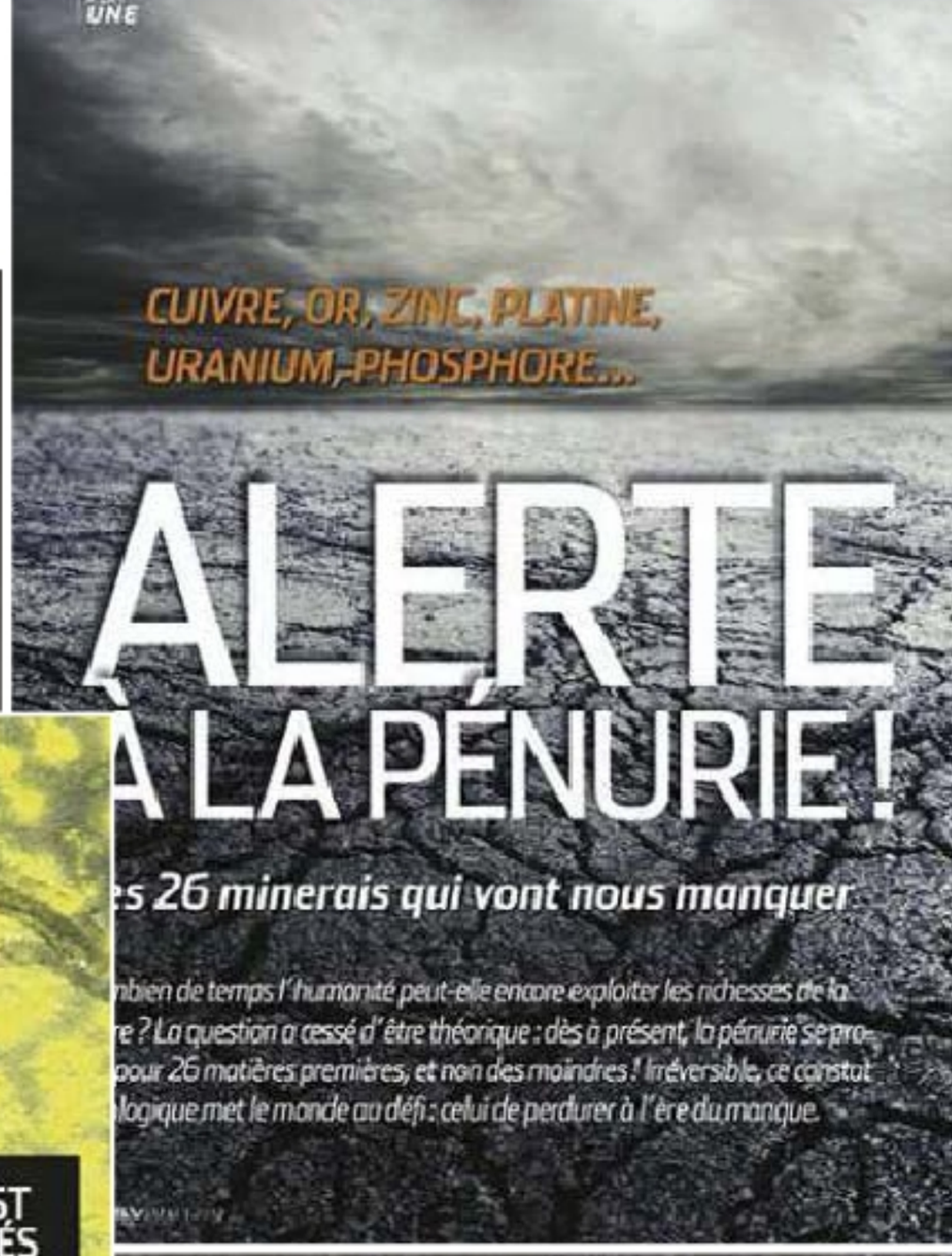
Ce que l'on sait moins, c'est que d'autres "pics" se dressent devant nous. Celui du cuivre, notamment, dont les plus belles pépites ont presque toutes été exploitées (par les hommes préhistoriques, déjà…). Avides de ce métal, nos sociétés modernes et connectées doivent désormais le traquer dans des roches qui en contiennent moins de 1 %. Les tensions sont également palpables sur le front du rhodium et du platine, catalyseurs hors pair dans les pots d'échappement, ou de l'argent, excellent conducteur, du gallium, dont les panneaux solaires espèrent beaucoup, du si précieux phosphore…

Au total, à l'issue de notre enquête, nous en avons listé 26. Vingt-six minerais pour lesquels le manque se profile, quand il n'est pas déjà sensible. Que sera-t-il possible de faire à l'avenir pour desserrer l'étau de la rareté? Substituer des matériaux plus courants à ceux devenus introuvables? Chasser les précieuses pépites jusqu'au fond des mers? Recycler davantage? D'une manière ou d'une autre, l'humanité va devoir tourner la page d'une époque. Celle de l'abondance. **S&V**

SIPA

SOMMAIRE > MAI 2012

42



12

52

ACTUS

12 **LABOS**
Le pouls de l'étoile Polaire se ralentit ; les doigts des garçons en disent long sur leur visage ; briller permet à une bactérie de voyager, etc.

22 IDÉE NEUVE
"J'anticipe des réactions chimiques en utilisant l'algorithme de Google"

24 **TERRE**
Voici le relief du manteau terrestre ; au Groenland, le point de bascule est proche, etc.

32 LES CLÉS POUR COMPRENDRE
Pourquoi la pollution intérieure est désormais sous haute surveillance

34 **MÉDECINE**
On peut inhiber les microbes résistants ; la tumeur du pancréas perd son bouclier ; de nouveaux antigrippaux sont à l'essai, etc.

38 FOCUS
Fertilité : les femmes cachent un potentiel inespéré

44 ON EN REPARLE
"Pilules de Lazare" : leur efficacité se confirme

46 **TECHNOS**
Des capteurs de chaleur s'inspirent des papillons, etc.

50 ON TENAIT À VOUS DIRE
Quand la science joue les apprentis sorciers

FONDAMENTAL

À LA UNE

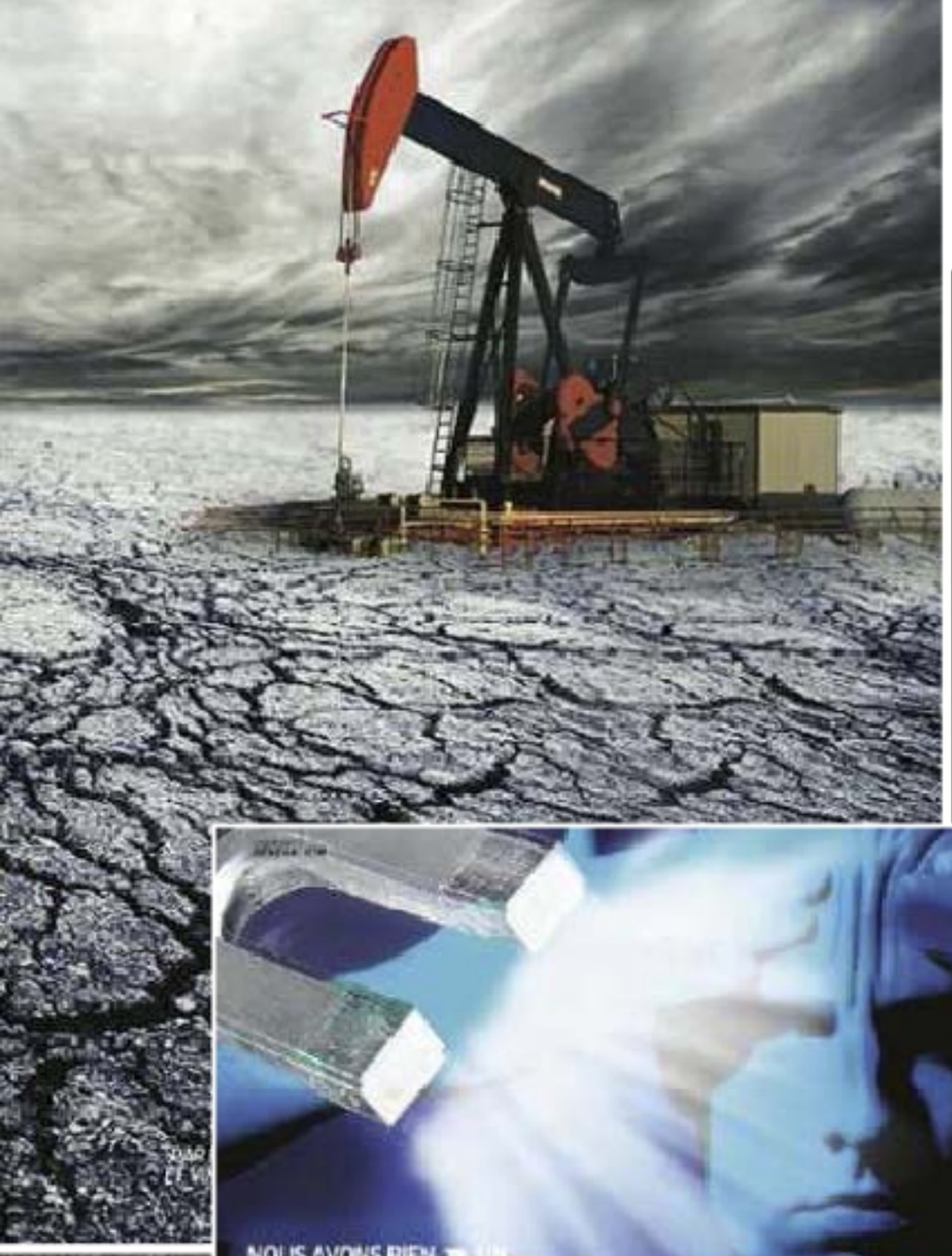
52 **ALERTE À LA PÉNURIE !**
LES 26 MINERAIS QUI VONT NOUS MANQUER

74 **RÉVÉLATION**
NOUS AVONS BIEN UN SIXIÈME SENS MAGNÉTIQUE !

84 **ANALYSE**
ON PEUT ENFIN SAVOIR SI UNE PHOTO EST TRUQUÉE

SCIENCE & VIE 8, rue François-Ory 92543 Montrouge Cedex - Tél. : 01 46 48 48 48 - Fax : 01 46 48 48 67 E-mail : svmens@mondadori.fr
Recevez Science & Vie chez vous. Votre bulletin d'abonnement se trouve p. 51. Vous pouvez aussi vous abonner par téléphone au 01 46 48 47 08, ou par Internet sur www.kiosquemag.com. Un encart abonnement est jeté sur les exemplaires de la vente au numéro : diffusion France métropolitaine. Un encart abonnement est jeté sur les exemplaires de la vente au numéro : diffusion Suisse et Belgique.

SCIENCE & VIE *ouvre sa boutique en ligne :*
www.laboutiquescienceetvie.com
(voir page 43)



74

126

144

EN PRATIQUE

92 DÉCOUVERTE
LA TERRE A DEUX LUNES !

98 ENQUÊTE
CANCER DU COL DE L'UTÉRUS : LE FIASCO DU VACCIN

106 PORTFOLIO
IL Y A 300 MILLIONS D'ANNÉES... LA POMPÉI DES PLANTES

112 LE POINT SUR...
Il y a 180 ans, Evariste Galois révolutionnait l'algèbre
OÙ EN SONT LES MATHS MODERNES ?
Fini les robinets qui fuient ! A l'aube du XIXe siècle, un impétueux génie de 20 ans a réinventé l'algèbre : une entrée décisive dans l'abstraction.

124 BON À SAVOIR

126 ZOOM DU MOIS
Allergies : 8 bonnes questions pour y voir plus clair

132 QUESTIONS / RÉPONSES

138 TECHNOFOLIES
L'ultraportable à transistors 3D ; l'appareil à déguster la quintessence des mets ; le parapluie qui défie la force du vent ; le tout premier pédalo assisté électriquement, etc.

146 LE CIEL DU MOIS

148 *Contre-sommaire*

Un encart "La Boutique de Science & Vie, catalogue des nouveautés" est jeté sur les exemplaires de toute la diffusion abonnée France métropolitaine. Un encart "Robert Four Tapisseries d'Aubusson" est jeté sur les exemplaires d'une partie de la diffusion abonnée France métropolitaine. Un encart "Guerres et Histoire Collection DVD" est jeté sur les exemplaires de toute la diffusion abonnée France métropolitaine.

CORBIS - DR - COUVERTURE: J.MARIOTT/ALL CANADA PHOTOS/CORBIS - FOTOLIA - CORBIS

Jeep.fr

L'AVENTURE AU QUOTIDIEN.

Jeep® Wrangler : une liberté d'esprit légendaire.

Existe en 3 ou 5 portes - Moteur 2.8 CRD de 200 ch[1] avec filtre à particules - Système Stop & Start™ (versions BVM diesel) - Transmission 4x4 non permanente avec boîte courte - ABS, ESP, antipatinage, système préventif antiretournement - Climatisation automatique - Régulateur de vitesse. Gamme Jeep Wrangler à partir de 28 500 €[2]. Refusez les conventions et découvrez l'esprit de la liberté chez votre distributeur Jeep®.

Jeep® partenaire Premium des WINTER X GAMES TIGNES

Modèle présenté Jeep Wrangler Sahara 2,8 l CRD BVM6 : **33 550 €** TTC clés en main selon tarif du 02/01/2012. (1) Consommations mini-maxi (l/100 km) cycle urbain/extra-urbain/mixte Wrangler (2,8 l CRD BVM6) : 8,3/6,5/7,1 - Wrangler Unlimited (3,6 l V6 Pentastar™ BVA5) : 16,1/9,2/11,7. Émissions de CO_2 : 187 g/km (Wrangler 2,8 l CRD BVM6) - 273 g/km (Wrangler Unlimited 3,6 l V6 Pentastar™ BVA5). Homologué en France sous le numéro de réception CEE e4*2001/116*0116*13 du 30/11/2011. (2) Prix clés en main conseillé du Wrangler Sport 2,8 l CRD selon tarif du 02/01/2012. I am Jeep® : « Je suis Jeep® ». Jeep® est une marque déposée de Chrysler Group LLC.

Jeep®

iam Jeep 00 800 0 426 5337 00 800 0 IAM JEEP

Suivez Jeep® sur la page facebook.com/jeepfrance.

FORUM

Notre Univers subit-il l'attraction de l'au-delà ?

Les univers multiples évoqués dans l'article "Les premiers signes de l'au-delà" (*S&V* n° 1134) ne pourraient-ils pas expliquer l'accélération de l'expansion de notre Univers ? Pourrait-elle être due à l'attraction "newtonienne" d'autres univers en train de se rapprocher de nous ?

Francis Gras, par Internet

S&V Désolé de vous décevoir : les univers au-delà du nôtre ne peuvent pas être responsables de l'accélération de la course de nos étoiles, ce phénomène observé en 1998 et qui reste depuis l'une des grandes énigmes de la cosmologie. Et ce, pour la simple raison que deux univers ne peuvent interagir. La question touche le cœur de la définition de ce qu'est un univers : tout ce qui agit sur notre Univers… en fait partie ! Et si l'au-delà est "au-delà", c'est justement parce qu'il est totalement indépendant de notre monde. Lorsque deux univers se rencontrent ou, comme vous le proposez, s'attirent, alors, de fait, ils n'en forment plus qu'un. En laissant des traces dans notre monde, cet au-delà en devient une partie intégrante. Voilà pourquoi on ne pourra jamais voir directement l'au-delà et il faudra se cantonner à chercher les traces d'un monde qui était autrefois séparé du nôtre, mais qui ne l'est plus maintenant. Ce sont ces signes que nous avons présentés dans le dossier. A noter que la théorie des cordes, dont découle cette idée d'univers multiples, n'a pas besoin de ces autres univers pour résoudre le problème de l'expansion de l'Univers : de ses équations résulte l'existence d'une énergie du vide qui suffit à accélérer la course des étoiles. Ceci dit, votre idée d'expliquer cette accélération par une simple attraction "externe" est explorée sérieusement… mais à l'intérieur même de notre Univers ! Selon cette théorie, baptisée "cosmologie hétérogène", nous serions situés dans une région vide et donc en expansion plus rapide qu'ailleurs. Et nous aurions donc l'impression, en regardant au loin, que cette expansion s'accélère.

Choisir son hôpital : et le facteur humain ?

Je suis offusquée par votre article sur les hôpitaux (*S&V* n° 1135). La marchandisation avance à pas de géant dans le domaine de la santé, menant au démantèlement de notre service public de santé. Vous vous prêtez au jeu en présentant une évaluation tronquée, basée uniquement sur les résultats de soins, sans tenir compte des facteurs humains. Un tel article peut conduire à la fermeture de petites unités de soins, pourtant absolument nécessaires pour assurer un maillage du territoire, comme on aime en trouver pour un accouchement, un AVC ou de la radiothérapie.

Henriette Puzenat, Perreux (42)

S&V Notre objectif n'était nullement d'appeler à la fermeture de petites unités ! L'ambition de ce dossier était de donner des informations pertinentes pour aiguiller un choix vers tel ou tel hôpital. Ce n'est pas forcément la taille ou le niveau d'activité qui est montré du doigt : des critères basés sur l'organisation de la lutte contre les infections nosocomiales, l'identification des patients ou le bon traitement de la douleur n'ont rien à voir avec le nombre de patients. Il n'empêche : le nombre d'opérations effectuées pour les pathologies courantes est une donnée importante à connaître avant de remettre sa santé entre les mains d'une équipe médicale.

Veuillez adresser votre courrier à : sev.lecteurs@mondadori.fr

Volkswagen Group France s.a. - R.C. Soissons B 602 025 538

Le cabriolet dont vous avez toujours rêvé.

Retrouvez le plaisir de conduire à l'air libre avec la Nouvelle Golf Cabriolet, dotée d'un toit souple ouvrable en 9 secondes seulement et ce, en roulant jusqu'à 30 km/h. Elle vous séduira aussi par ses 4 vraies places, son niveau de performance, de qualité et de finition. En bref, retrouvez tout l'esprit du cabriolet dans une Golf, pour partir sillonner les routes ensoleillées…

A partir de **20 890 €***
SOUS CONDITION DE REPRISE

Volkswagen recommande **Castrol EDGE Professional**

Cycles mixtes gamme Golf Cabriolet (l/100 km) : 4,8 à 7,7. Rejets de CO_2 (g/km) : 125 à 180. *Prix TTC conseillé au 01/03/12 de Golf Cabriolet 1.2 105, prime à la casse VW Think Blue. de 1 500 € TTC (sur Golf Cabriolet neuve) pour mise au rebut dans la filière de valorisation agréée Volkswagen Group France d'un véhicule plus de 10 ans et remise exceptionnelle VW de 2 000 € TTC déduites.

www.volkswagen.fr

Nouvelle Golf Cabriolet.
La Golf parmi les cabriolets.

Das Auto.

Offre réservée aux particuliers non cumulable avec toute autre offre en cours en France métropolitaine valable pour toute commande du 01/03/12 au 31/05/12 dans réseau participant. Modèle présenté : Golf Cabriolet 'Carat' 1.2 TSI 105 avec options peinture métallisée (570 € TTC) et sellerie cuir (2 195 € TTC) au prix TTC conseillé au 01/03/12 de 25 605 € TTC, prime à la casse et remise déduites. **Cycle mixte (l/100 km) : 5,9. Rejets de CO_2 (g/km) : 139. Think Blue. : Pensez en Bleu. Das Auto. : La Voiture.**

actus labos

< *Pikaia gracilens* appartient au groupe des chordés, dotés d'une "chorde" cartilagineuse, dont sont issus tous les vertébrés. Les tentacules de sa tête devaient servir à palper le terrain et ses appendices, visibles en dessous, auraient pu avoir un rôle respiratoire.

PALÉONTOLOGIE

CE PETIT "VER" MARIN EST L'ANCÊTRE DES VERTÉBRÉS

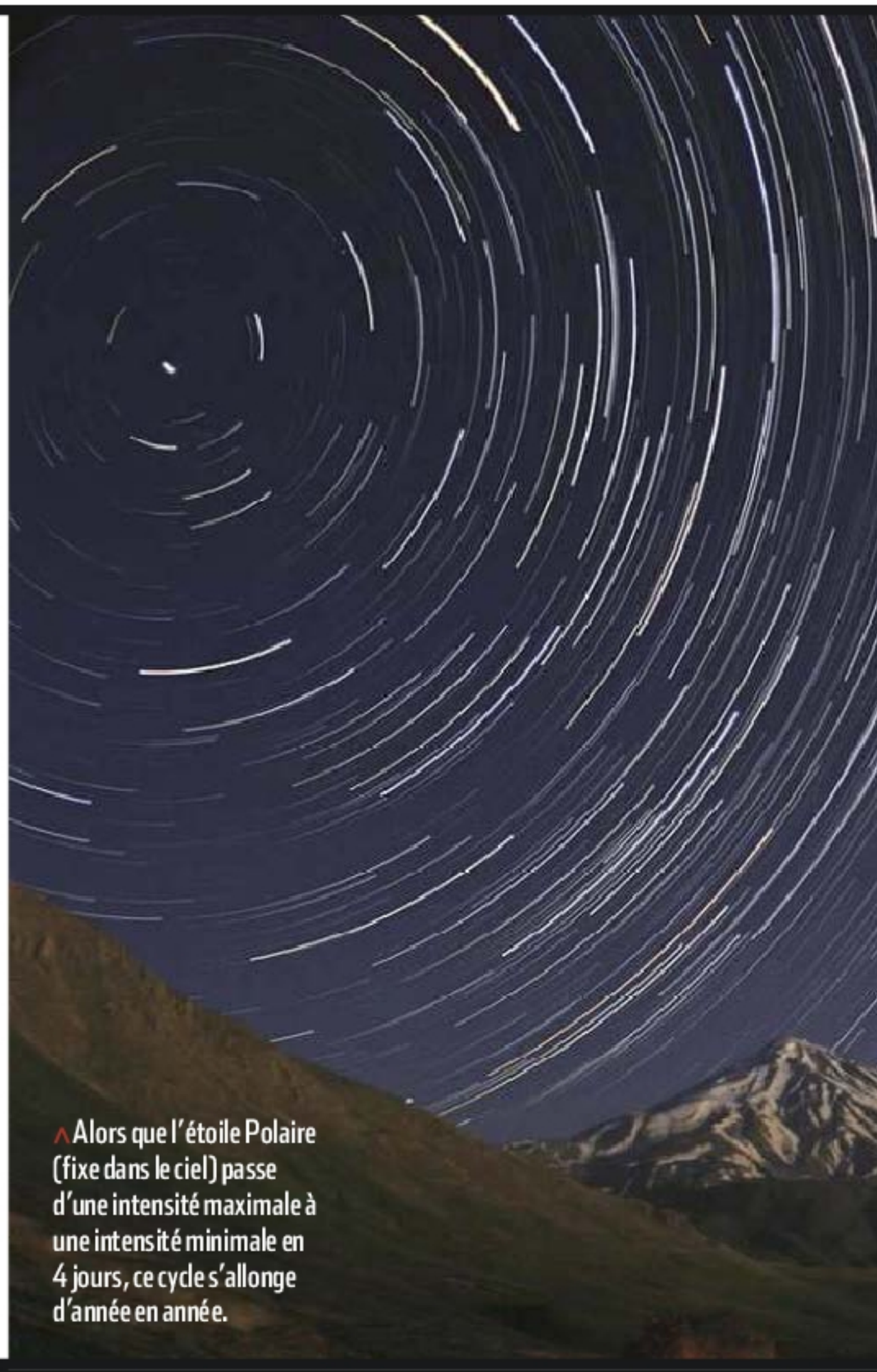
C'est un petit animal fossile de 5 cm, anodin de prime abord, qui rappelle le ver ou l'anguille… *Pikaia gracilens*, disparu depuis plus de 500 millions d'années, a pourtant une longue histoire et une grande postérité. Car en le décrivant pour la première fois, l'équipe des paléontologues canadiens Simon Conway Morris et Jean-Bernard Caron a prouvé qu'il était le plus primitif chordé connu : soit un membre du groupe dont sont issus tous les vertébrés, et donc… les mammifères ! Sa découverte remonte à 1911, dans les schistes de Burgess (Canada). Sommairement étudié, *Pikaia* est alors classé avec les vers. L'hypothèse de son appartenance aux chordés n'est lancée que dans les années 1970, sans réelle preuve. C'est désormais chose faite grâce au méticuleux travail de description effectué par les paléontologues canadiens. Ils ont mis en évidence sa bouche entourée de deux petits tentacules, entre 4 et 9 paires d'appendices un peu en dessous de sa tête, ainsi que l'existence de vaisseaux sanguins et de myomères – des faisceaux de muscles. Mais surtout, ils ont pointé la présence d'un tube neural et d'une "chorde", la structure cartilagineuse qui définit l'appartenance aux chordés. Des découvertes qui ouvrent de nouvelles pistes de réflexion sur le mode de vie et surtout l'origine de ce groupe fondamental pour comprendre les animaux actuels. **E.R.**

CONWAY MORRIS & CARON, WWW.BURGESS-SHALE.ROM.ON.CA

ASTRONOMIE

LE POULS DE L'ÉTOILE POLAIRE SE RALENTIT

Serions-nous en train de perdre le nord ? L'étoile Polaire serait en tout cas en train de faiblir. Hilding Neilson, astronome à l'université de Bonn, vient de prendre son pouls et de découvrir… qu'il ralentit ! "*Nous avons compilé les mesures des pulsations lumineuses de l'étoile depuis 160 ans,* relate le chercheur. *Et nous nous sommes rendu compte que le cycle de quatre jours durant lequel l'étoile passe d'une luminosité maximale à minimale s'allonge de 4 secondes et demie chaque année. En 1844, il était plus long de 12 minutes qu'aujourd'hui!*" Problème : cette variation est en désaccord avec les modèles d'évolution stellaire qui prédisent que ce cycle reste stable. Certains chercheurs pensent que ce pourrait être le signe que l'étoile est plus jeune qu'on ne croyait : elle ne serait pas encore arrivée à court d'hydrogène et son pouls se détraquerait parce qu'elle s'apprête à devenir une géante rouge… Mais Hilding Neilson et son équipe penchent pour une autre hypothèse : l'étoile du Nord serait tout simplement en train de se déliter. De gigantesques vagues de gaz brûlant se détacheraient de sa surface, ralentiraient les processus de convections qui animent son cœur, enrayant ses battements. Ainsi, l'étoile Polaire perdrait chaque année un millionième de sa matière, soit l'équivalent de la masse de la Terre ! Une mesure précise du rayon de l'étoile devrait permettre de trancher entre les deux hypothèses… **M.F.**



^Alors que l'étoile Polaire (fixe dans le ciel) passe d'une intensité maximale à une intensité minimale en 4 jours, ce cycle s'allonge d'année en année.

PALÉONTOLOGIE

Des puces géantes parasitaient les dinosaures

En Chine, l'équipe d'André Nel, du Muséum d'histoire naturelle de Paris, a découvert des fossiles de puces vieux de 165 millions d'années. Dépourvues de pattes sauteuses, ces puces devaient ramper. "*Leur taille, dix fois celle des puces actuelles, ainsi que leur appareil de succion très développé suggèrent qu'elles s'attaquaient à de gros animaux à la peau dure, peut-être des dinosaures à plumes, plutôt qu'aux petits mammifères*", avance André Nel. **C.H.**

B.A TAFRESHI/NOVAPIX - D.HUANG ET AL. NATURE - CORBIS

PHYSIOLOGIE

LES DOIGTS DES GARÇONS EN DISENT LONG SUR LEUR VISAGE

Impatient de savoir à quoi ressemblera le fiston ? Des indications se cachent, non pas dans ses lignes de la main… mais dans la taille de ses doigts ! Des chercheurs de l'université de Vienne ont ainsi montré, chez des garçons de 4 ans, que la forme du visage était liée au rapport entre la taille de l'index et celle de l'annulaire. Ainsi, plus l'annulaire est grand par rapport à l'index, plus les garçons ont une probabilité d'avoir dans l'enfance, mais surtout de développer à l'âge adulte, un visage robuste, caractérisé par une mâchoire large, un petit front, des sourcils épais, et un nez court et large. Cette corrélation serait due à l'exposition du fœtus à la testostérone, qui contrôle le développement des doigts au stade prénatal. **E.A.**

$6{,}02214040 \times 10^{23}$

C'est désormais le nombre d'atomes de carbone 12 qu'il faut rassembler pour en obtenir 12 grammes. Baptisée nombre d'Avogadro, cette unité de base des chimistes sert à manipuler les très grands nombres d'atomes en jeu dans leurs réactions. Elle vient d'être recalculée par l'équipe internationale du projet Avogadro en dénombrant les atomes de 1 kg de silicium 28 à partir de diverses mesures (masse, volume, distance interatomique, etc.). De quoi aider à redéfinir le kilogramme, l'actuel projet du Bureau international des poids et mesures. **A.D.**

^ *Otavia antiqua* est une éponge qui vivait déjà il y a 760 millions d'années.

ÉVOLUTION

LA VIE ANIMALE EST APPARUE PLUS TÔT QUE PRÉVUE

Les premières formes de vie animale sont apparues il y a au moins 760 millions d'années. C'est ce que suggèrent les travaux d'une équipe de géologues sud-africains, namibiens et écossais. Au milieu des années 1990, l'un d'eux avait mis au jour, en Namibie, dans des roches de 760 millions d'années les restes fossilisés d'organismes multicellulaires de forme sphérique : des analyses plus poussées ont montré qu'il ne s'agissait ni de bactéries ni d'algues, mais bien d'animaux. "*Ces fossiles, baptisés Otavia, ont les caractéristiques des éponges, comme par exemple la présence d'une cavité gastrique et de pores dans leur paroi*", explique Anthony Prave, de l'université de Saint-Andrews et co-découvreur. Des éponges microscopiques : elles ne dépassent pas les 5 mm. Jusqu'à présent, les plus anciens fossiles d'animaux étaient des éponges datant de 600 à 650 millions d'années. Cette découverte fait donc remonter l'apparition du règne animal 100 à 150 millions d'années plus tôt, mais est néanmoins en conformité avec ce que prédisaient les généticiens sur la base de l'horloge moléculaire. "*Ce fossile pourrait de fait constituer la première étape d'un processus qui a vu se transformer un monde dominé par les bactéries vers celui que nous connaissons aujourd'hui*", conclut Anthony Prave. **C.H.**

UNIV. OF SAINT-ANDREW - M.WOIKE/AGE FOTOSTOCK

en bref

LES MOUCHES BOIVENT POUR OUBLIER...

Lorsqu'ils sont rejetés par les femelles, les drosophiles mâles sont plus attirés par la nourriture alcoolisée que ceux dont les avances sexuelles ont abouti. D'après Galit Shohat-Ophir (université de Californie), ce serait un phénomène de compensation, l'acte sexuel et l'alcool activant chez la mouche les mêmes circuits neuronaux. **C.H.**

...OU POUR SE PROTÉGER

La même drosophile trouve dans l'alcool une parade pour ne pas être parasitée par des guêpes. Todd Schlenke (Etats-Unis) a ainsi constaté que les guêpes pondent moins dans les larves de drosophiles nourries avec des mets alcoolisés. Mieux : chez les mouches parasitées, l'alcool inhibe le développement des œufs de la guêpe. **C.H.**

LES GOUTTES GAGNENT À ÊTRE PETITES

Les gouttelettes d'eau mouillent plus facilement vêtements et cheveux lorsqu'elles sont petites, car cela leur demande moins d'énergie que de rester sous la forme d'une goutte compacte, ont établi des chercheurs américains et français. De quoi espérer améliorer l'interaction, dans l'industrie, entre matériaux textiles et liquides. **G.S.**

ÉTHOLOGIE

CET OISEAU EST ALERTÉ D'UN DANGER PAR SA COUVÉE

Le rollier d'Europe, autrefois surnommé la "corneille bleue" en raison de ses vives couleurs turquoise, sait détecter à l'odeur si sa couvée est menacée ! Les oisillons *Coracias garrulus*, lorsqu'ils sont dérangés dans leur nid, régurgitent en effet un liquide orange nauséabond qui les rend nettement moins appétissants pour leurs prédateurs, mais qui alerte également leurs parents de la présence d'une menace. Pour le démontrer, des biologistes espagnols ont badigeonné des nids, abritant des petits âgés de 10 jours, soit de jus de citron soit de vomi : seule la seconde substance entraînait un comportement de méfiance chez les oiseaux adultes. **R.B.**

^ S'il est dérangé, le bébé du rollier régurgite un liquide nauséabond, qui alerte le parent.

4 CAMÉRAS
POUR UNE VISION À 360°

SHIFT_the way you move

NISSAN

NISSAN QASHQAI TECHVIEW ÉDITION[1]
SÉRIE LIMITÉE AVEC SYSTEME AVM - VISION 360°

Gamme à partir de 249€/mois sans apport.[2]
LOCATION LONGUE DURÉE SUR 49 MOIS.

THE ULTIMATE URBAN CAR[3].
Pour plus d'informations, rendez-vous sur **www.nissan.fr**

AUTREMENT_**mobile**. [1] **Série limitée à 900 Nissan QASHQAI et 300 Nissan QASHQAI+2**. [2] Exemple pour un Nissan QASHQAI Visia 1.6L 117 ch Stop/Start System en Location Longue Durée sur 49 mois pour un kilométrage maximum de 60 000 km. Restitution du véhicule chez votre concessionnaire en fin de contrat avec paiement des frais de remise en état standard et des kilomètres supplémentaires. Sous réserve d'acceptation par Diac - SA au capital de 61 000 000 € - 14, avenue du Pavé Neuf - 93160 Noisy-le-Grand - SIREN 702 002 221 RCS Bobigny. Offre réservée aux particuliers, non cumulable avec d'autres offres, valable pour la Location Longue Durée d'un Nissan QASHQAI Visia 1.6L 117 ch Stop/Start System neuf du 01/03/2012 au 30/06/2012 chez les Concessionnaires participants. **Modèle présenté : Nissan QASHQAI Connect Edition 1.6L 117 ch Stop/Start System avec options AVM - VISION 360° et peinture métallisée : 350 € par mois en Location Longue Durée sur 49 mois. Couleur présentée non disponible sur cette édition limitée.** [3] Urbain par excellence. NISSAN WEST EUROPE SAS au capital de 5 610 475 €, RCS Versailles 699 809 174 Parc de Pissaloup - 8, avenue Jean d'Alembert - 78194 Trappes Cedex.

Consommations (l/100 km) : urbaine : 7,5 ; extra-urbaine : 5,0 ; mixte : 5,9. Émissions CO_2 (g/km) : 139.

< Situé au bord de la galaxie ESO 243-49, le trou noir HLX-1 (flèche) aurait avalé le cœur d'une galaxie plus petite.

ASTROPHYSIQUE

HUBBLE LÈVE UN VOILE SUR L'HISTOIRE DES TROUS NOIRS

Quand on découvre l'origine d'un chaînon manquant, souvent, toute l'histoire de la famille en découle. Ainsi, à l'aide du télescope spatial *Hubble*, une équipe internationale vient de découvrir que HLX-1, le seul trou noir connu dont la masse est à mi-chemin entre celle des petits trous noirs (qui naissent de la mort d'une étoile massive) et celle des trous noirs supermassifs (régnant au centre des galaxies), est entouré d'un groupe de jeunes étoiles bleues. "*Il s'agit des restes d'une petite galaxie mise en pièces par le trou noir*, précise Mathieu Servillat, l'un des découvreurs. *HLX-1 serait donc un trou noir galactique, comme celui qui règne sur le centre de la Voie lactée, sauf qu'il est à l'image de la galaxie dans laquelle il est né : petit.*" L'histoire de la vie des trous noirs commence à prendre forme : les étoiles massives s'effondrant, de petits trous noirs se forment, qui s'agrègent au centre de galaxies naines pour donner naissance à des trous noirs intermédiaires comme HLX-1. Ils sont avalés par de grandes galaxies dans lesquelles ils tournoient, attirés par le centre, où ils finissent par fusionner, donnant naissance aux trous noirs supermassifs. **M.F.**

MÉCANIQUE

LA FORCE DE LA MÂCHOIRE DU *T. REX* N'A PAS D'ÉQUIVALENT

Tyrannosaurus rex avait bien la mâchoire la plus impressionnante de l'histoire du règne animal terrestre. Dix fois plus puissante que celle de l'actuel l'alligator et 6 fois plus que celle de l'allosaure, un dinosaure proche. Deux chercheurs de l'université de Liverpool et de Manchester (Royaume-Uni) ont scanné des fossiles de crânes des trois espèces, et reconstitué par ordinateur le reste de la mâchoire. Ils ont aussi noté que, durant la croissance du *T. rex*, l'augmentation exponentielle de sa mâchoire compensait une perte d'agilité due à des pattes arrière de plus en plus petites par rapport au corps. **G.S.**

GÉNÉTIQUE

La région d'origine des premiers Amérindiens a été localisée

La région de l'Altaï, situé dans le sud de la Sibérie, serait, d'après l'équipe de Theodore Schurr (université de Pennsylvanie), le berceau génétique des Amérindiens. Les biologistes ont découvert des similitudes importantes entre le génome des premiers Américains et celui des habitants méridionaux de cette république de Russie. Ils ont également calculé que les populations avaient divergé il y a 13 400 ans, ce qui concorde avec les estimations des premières migrations *via* le détroit de Béring. **C.H.**

S.FARRELL, ESA, NASA - L.PSIHOYOS/COSMOS

VOYAGEZ À PRIX RÉDUIT AVEC MA CARTE SENIOR.

-40%(1) MINIMUM EN 1RE CLASSE.

ÉDITION LIMITÉE À PARTIR DU 11 AVRIL 2012

40€(2) AU LIEU DE 57€ POUR LES 100 000 PREMIÈRES CARTES !

(1) La Carte Senior est accessible à partir de 60 ans et est valable un an. Cette carte offre des réductions de -25% garantis et jusqu'à -50% dans la limite des places disponibles. Les réductions sont calculées, hors prestations supplémentaires sur le Plein Tarif Loisir pour tous les trains à réservation obligatoire (TGV® et INTERCITÉS) et sur le tarif normal pour les trains soumis au calendrier voyageurs (TER et INTERCITÉS sans réservation obligatoire). Ces réductions sont applicables en trafic national (sauf trajets intégralement effectués en Ile-de-France) et sur la partie nationale de certains trains internationaux, dans la limite des places disponibles pour les réductions supérieures à 25%. En vente au prix de 57€ (prix en vigueur au 03/01/2012). Pour tout achat de billet effectué entre le 11 avril et le 31 décembre 2012 inclus, la Carte Senior offre 40% de réduction minimum sur le Plein Tarif Loisir en 1re classe, pour tout voyage effectué entre le 11 avril 2012 et le 31 mars 2013, sur les trains TGV® et INTERCITÉS, hors TER (pour les trains INTERCITÉS sans réservation obligatoire, la promotion est valable uniquement pour des trajets sans correspondance). (2) La Carte Senior est valable un an, non renouvelable, à partir de 60 ans et est disponible en édition limitée à partir du 11 avril 2012 dans la limite de 100 000 exemplaires, au prix de vente de 40€ au lieu de 57€ (prix en vigueur au 03/01/2012). En vente dans les gares, boutiques SNCF, par téléphone au 3635 (0,34€TTC/min, hors surcoût éventuel), auprès des agences de voyages agréées SNCF et sur www.voyages-sncf.com. TGV est une marque déposée de SNCF. Tous droits de reproduction réservés. SNCF - 34, rue du Commandant Mouchotte - 75014 Paris - R.C.S. Paris B552 049 447

EXTRÊME CORPORATE

vPlutôt que de voir leur progéniture tuée par le nouveau chef du groupe, les femelles stoppent leur gestation.

PRIMATOLOGIE

LA FEMELLE GELADA AVORTE SI LE MÂLE DOMINANT CHANGE

Avorter pour épargner ses petits ? C'est ce que semblent faire certaines femelles singes. Lorsqu'un nouveau mâle prend en charge le groupe et menace leur progéniture, elles arrêtent naturellement leur gestation. Eila Roberts de l'université du Michigan, aux Etats-Unis, et ses collègues, ont suivi pendant cinq ans des geladas dans les montagnes du parc national du Simien en Ethiopie. Ils ont fait des relevés démographiques réguliers et des mesures d'hormones dans les fèces pour connaître les conceptions en cours. Dans 80 % des cas, les femelles *Theropithecus gelada* avortent au cours des semaines qui suivent l'arrivée du mâle dominant ! Lorsqu'il prend le pouvoir, il a en effet pour habitude de tuer la descendance de son prédécesseur. Les femelles qui avortent ne perdent donc pas d'énergie à donner naissance, puis à s'occuper d'une progéniture condamnée, et peuvent plus rapidement engendrer la descendance du nouveau venu. Cet étonnant comportement avait déjà été observé chez des rongeurs en laboratoire : dès 1959, la biologiste Hilda Margaret Bruce avait remarqué que des souris captives mettaient un terme à leur grossesse en présence d'un mâle qui ne leur est pas familier. Mais personne ne savait si ce phénomène, baptisé depuis "effet Bruce", existait chez des animaux à l'état sauvage. **R.B.**

ÉVOLUTION

C'est par la tête que le poisson s'est diversifié

Il y a 370 millions d'années, les poissons ont connu une formidable diversification. On pensait que les premières modifications avaient d'abord touché le corps, puis la tête. Mais en analysant des dizaines de fossiles, deux paléontologues, britannique et américain, sont arrivés à la conclusion inverse. Le crâne et la mâchoire se sont d'abord modifiés, avec l'apparition de dents pointues. Puis, le corps s'est allongé. Ce serait le régime alimentaire qui les aurait poussés à évoluer dans cet ordre-là. **O.D.**

BACTÉRIOLOGIE

BRILLER PERMET À UNE BACTÉRIE DE VOYAGER

L'auto-stop n'est pas le propre de l'homme ! Les bactéries des eaux profondes *Photobacterium leiognathi* (ci-dessus, *in vitro*) émettent de la lumière pour appâter leurs prédateurs et s'en servir… comme moyen de transport. Des chercheurs israéliens viennent de confirmer cette hypothèse. Une fois avalées par le zooplancton, elles rayonnent dans l'intestin de leurs hôtes. Il s'agit souvent d'animaux transparents, ceux-ci vont donc briller à leur tour, attirant l'attention de plus gros prédateurs. Au bout de la chaîne alimentaire, les bactéries bioluminescentes sont rejetées, toujours vivantes. Elles peuvent ainsi fuir des zones sans nourriture, proliférer dans le ventre de leurs hôtes successifs, avant d'arriver sur de nouveaux gisements de nourriture… sans le moindre effort. **G.S.**

SCIENCE/AAAS - V.CHINA

SIMPLY CLEVER

ŠKODA

En 2012, découvrez la campagne, celle qui tient vraiment ses promesses.

ŠKODA Yeti
Tour de France **TDI**

à partir de
239€ /mois
sous conditions de reprise (1)

Garantie (2)
Entretien (3) / **4 ANS**

le Tour de France
ŠKODA
VOITURE OFFICIELLE

- RÉGULATEUR DE VITESSE
- DOUBLE LECTEUR DVD ARRIÈRE
- 2 OU 4 ROUES MOTRICES

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

Location avec Option d'Achat sur 48 mois. 1er loyer majoré de 4 153 € suivi de 47 loyers de 239 €. Montant total dû : 24 231 €. Offre valable du 01/04/2012 au 31/05/2012. Un crédit vous engage et doit être remboursé. Vérifiez vos capacités de remboursement avant de vous engager. (1) LOA 48 mois 60 000 km. Ex. : Škoda Yeti TDF 2.0 TDI 110 CR 4x2 au prix spécial pour ce financement de : 20 340 € TTC (détails sur skoda.fr - tarif au 07/11/11). Option d'achat finale : 8 845 € ou reprise du véhicule suivant engagement sous conditions de votre Distributeur. (2) Garantie additionnelle de deux ans obligatoire d'un montant de 480 € incluse dans les loyers (10 €/mois) souscrite auprès d'Opteven Assurances. Société d'assurance et d'assistance au capital de 5 335 715 € - Siège social : 109 bd Stalingrad - 69100 Villeurbanne - RCS Lyon n° 379 954 886 régie par le Code des assurances et soumises au contrôle de l'ACP. (3) Forfait Service Entretien aux Particuliers obligatoire d'un montant de 912 € inclus dans les loyers (19 €/mois) souscrit auprès d'Opteven Services - SA au capital de 365 878 € - Siège social : 109 bd Stalingrad - 69100 Villeurbanne - RCS Lyon N° B 333 375 426. Offre réservée aux particuliers chez tous les Distributeurs présentant ce financement, sous réserve d'acceptation du dossier par Skoda Bank division de Volkswagen Bank GmbH – SARL de droit allemand – Capital social : 318 279 200 € - Succursale France : Paris Nord 2 - 22 avenue des Nations 93420 Villepinte - RCS Bobigny 451 618 904 - ORIAS : 08 040 267 (www.orias.fr) et après expiration du délai légal de rétractation. Assurance facultative Décès-Incapacité Perte d'Emploi : à partir de 6 €/mois. Ce montant s'ajoute au loyer en cas de souscription. Montants exprimés TTC, hors prestations facultatives. * Voir conditions auprès de votre Distributeur. Simply Clever : Simplement Évident. Volkswagen Group France - Division Škoda - 02600 Villers-Cotterêts - RCS Soissons B 602 025 538.

la chose

Consommation mixte du Yeti TDF 2.0 TDI 110 CR (l/100 km) : 5,4. Émissions de CO_2 (g/km) : 140.
Consommations mixtes de la gamme Yeti (l/100 km) : 4,6 à 8. Émissions de CO_2 (g/km) : 119 à 189.

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

Assistance 24h/24 pendant 7 ans*	200 Points Service Škoda partout en France	Renseignements : 0 969 390 904 (appel non surtaxé)

IDÉE NEUVE

J'ANTICIPE DES RÉACTIONS CHIMIQUES EN UTILISANT L'ALGORITHME DE GOOGLE

AURORA CLARK, chimiste à l'université d'Etat de Washington (Etats-Unis)

SON IDÉE

L'algorithme qui permet à Google de classer les pages du Web en fonction de leur popularité (le *pagerank*) ne se limite pas au champ d'Internet : il peut s'appliquer à n'importe quel groupe d'objets, dès lors que ceux-ci sont liés les uns aux autres. D'où l'idée de s'en servir pour analyser les relations entre les molécules d'une solution chimique. Et prévoir ainsi sa capacité à réagir avec d'autres produits.

Science & Vie: *D'où vous est venue cette idée ?*

Aurora Clark: Au sein de notre équipe de chercheurs, nous voulions simuler sur ordinateur l'influence de certains métaux toxiques, comme l'uranium ou le plutonium, sur les molécules alentour lorsqu'ils sont plongés dans l'eau. Une étudiante associée au projet, qui avait des compétences en informatique, nous a alors suggéré d'utiliser le *pagerank* de Google – cet algorithme qui permet de classer les pages du Web selon leur popularité – pour analyser les relations entre les molécules.

S & V: *Qu'est-ce que les sites Internet et les molécules ont en commun ?*

A.C.: L'avantage du *pagerank* est qu'il s'applique à n'importe quel objet, du moment que celui-ci est connecté à d'autres objets. Si vous prenez, par exemple, un groupe d'étudiants, vous pouvez facilement évaluer la popularité de chacun en analysant les relations qu'il entretient avec les autres. Il en va de même avec les molécules ! Nous avons conçu un logiciel de simulation où les pages web sont remplacées par des molécules d'eau, et les liens hypertextes – ces liens qui renvoient, lorsqu'on clique dessus, à d'autres pages web – par des liaisons d'atomes d'hydrogène. Chaque molécule se voit attribuer une note en fonction de sa "popularité", qui dépend du nombre de molécules auxquelles elle est reliée et de la solidité de ces liaisons. On obtient alors une vision globale de la chaîne moléculaire, qui nous permet de prédire si un produit va réagir facilement ou non au contact d'un autre.

S & V: *L'algorithme de Google est pourtant gardé secret…*

A.C.: Google ne nous a bien sûr pas révélé l'algorithme utilisé par son moteur de recherche… Nous avons donc utilisé une version "générique" de l'expression mathématique, disponible sur Wikipédia, l'encyclopédie contributive en ligne !

S & V: *Quels champs d'application entrevoyez-vous ?*

A.C.: Ce que nous avons imaginé est très facile à utiliser : de nombreuses personnes pourraient bientôt commencer à s'en servir dans le domaine de la chimie, mais aussi dans d'autres disciplines. Car on trouve de l'eau partout, et il y a énormément de réactions chimiques dans lesquelles elle est impliquée. En biochimie, par exemple, on pourrait utiliser ce système du *pagerank* pour analyser la forme d'une protéine et, en s'appuyant sur les informations déjà disponibles pour ce type de protéine, être en mesure de prévoir son comportement au contact de l'eau. Le champ d'application me paraît immense.

Propos recueillis par G.S.

R. HUBNER

www.citroencarstore.fr

4X4 À LA DEMANDE

Version 4X2 à partir de

19 990 €[1]

Sous condition de reprise

CITROËN préfère TOTAL

Automobiles CITROËN : RCS Paris 642 050 199

NOUVEAU **CITROËN C4 AIRCROSS**

4X4 à la demande c'est pouvoir choisir son mode de transmission selon les conditions d'adhérence. Au volant du Nouveau Citroën C4 Aircross vous ne subissez plus la route, vous déterminez votre style de conduite en passant de deux à quatre roues motrices d'un simple geste. Avec ce SUV compact et dynamique, la liberté est votre seule destination.

CRÉATIVE TECHNOLOGIE

CITROËN

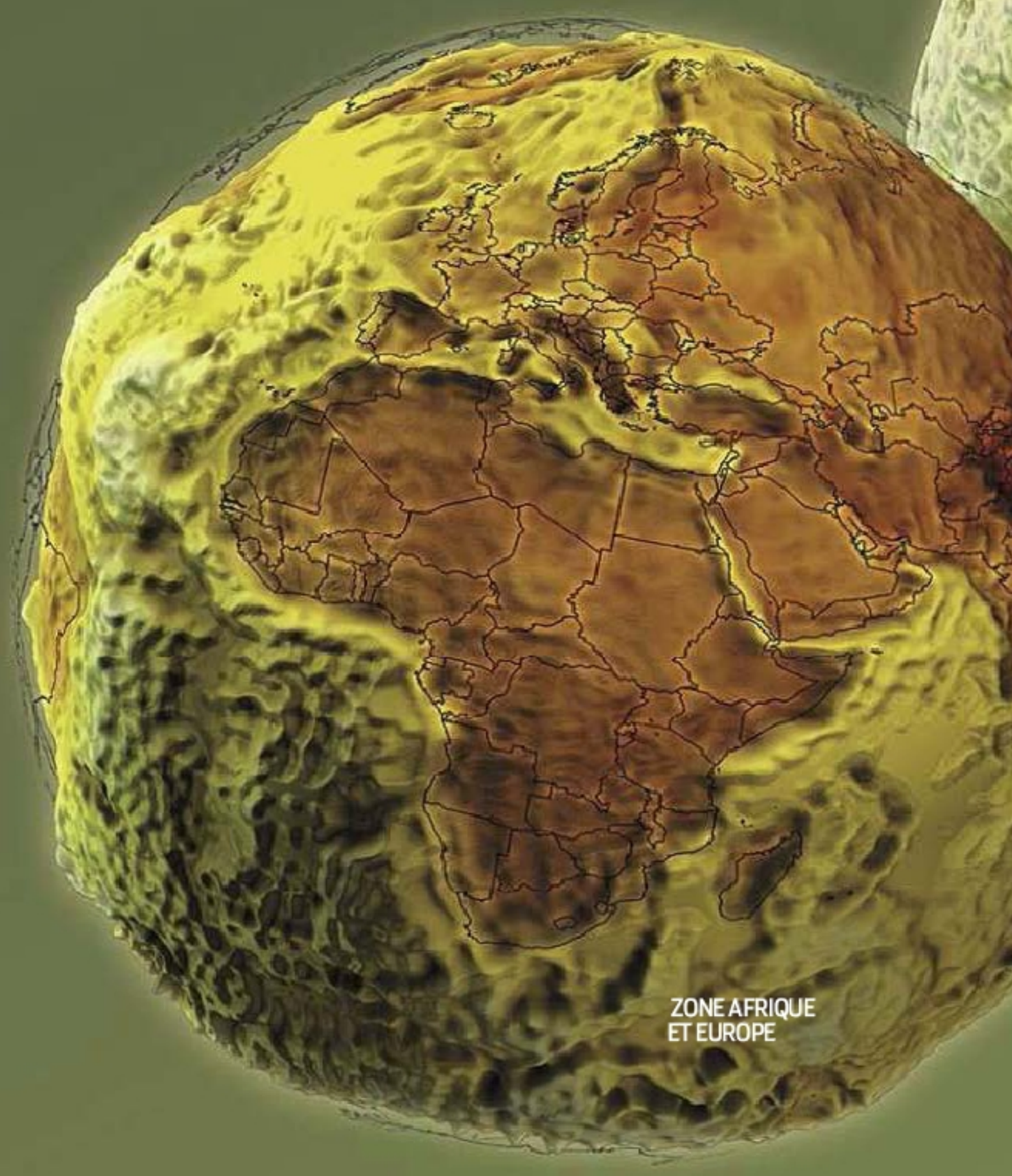
Modèle présenté : Nouveau Citroën C4 Aircross HDi 150 4X4 Exclusive avec peinture métallisée et Pack toit vitré panoramique (38 690 €). (1) Somme restant à payer pour l'achat d'un Nouveau Citroën C4 Aircross 1.6i 4X2 Attraction neuf, hors option, déduction faite de 3 210 € de Prime Verte Citroën pour la reprise d'un véhicule de plus de 8 ans. Offre non cumulable, réservée aux particuliers, valable jusqu'au 30/04/12 dans le réseau Citroën participant. Consommations mixtes (norme CEE 99-100) et émissions de CO_2 de Nouveau Citroën C4 Aircross de : 4,6 à 5,9 l/100 km et de 119 à 147 g/km.

actus terre

GÉOLOGIE

VOICI LE RELIEF DU MANTEAU TERRESTRE

Un siècle après sa découverte par Andrija Mohorovičić, la limite entre la croûte terrestre et le manteau (baptisée Moho) vient d'être cartographiée à l'échelle mondiale avec une précision inégalée. Pour cela, les scientifiques du programme GEMMA ont tiré profit du satellite *GOCE*, qui mesure depuis 2009 les infimes variations du champ de gravité terrestre. Des variations qui reflètent en partie la différence de densité entre les roches du manteau et celles de la croûte, et permettent de localiser l'interface entre les deux. "*La cartographie du Moho par* GOCE *comble les lacunes géographiques des modèles précédents, obtenus par des observations sismiques et gravimétriques au sol*", explique Daniele Sampietro, de l'Ecole polytechnique de Milan. De quoi offrir une image inédite des changements en profondeur de cette limite géologique qui se situe entre 5 et 15 kilomètres de profondeur sous les océans, et entre 25 et 85 km de profondeur sous les continents. "*Cette carte est une avancée majeure pour mieux comprendre la géodynamique du globe terrestre*", estime Daniele Sampietro. Elle pourrait permettre d'améliorer, par exemple, la compréhension des mécanismes à l'origine des tremblements de terre. **E.B-V.**



ZONE AFRIQUE ET EUROPE

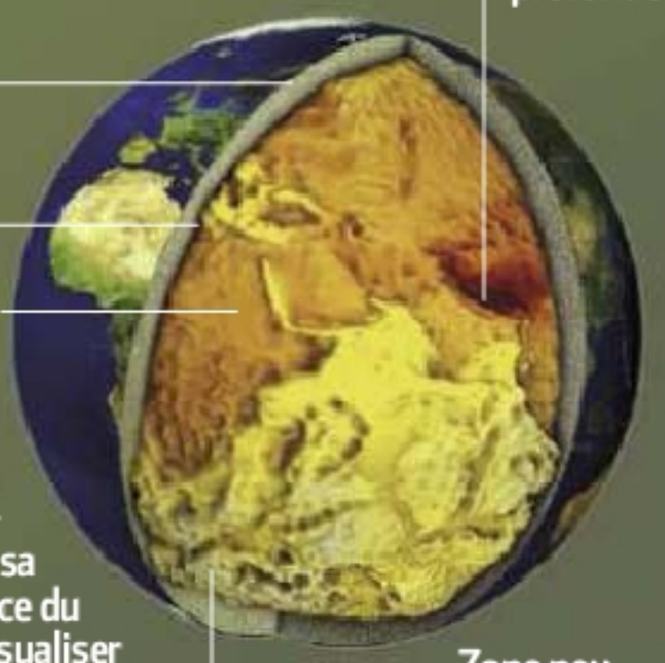
G.CIRADE

Profondeur de la limite croûte/manteau (en km)

-70 -60 -50 -40 -30 -20 -10

ZONE ASIE ET OCÉANIE

ZONE AMÉRIQUES



Sous la croûte, le manteau

Ces globes montrent la Terre comme si elle avait été débarrassée de sa croûte, laissant apparaître la surface du manteau et son relief. Pour bien visualiser ce relief, les profondeurs ont été exagérées.

85 km : c'est la profondeur maximale du Moho, mesurée sous l'Himalaya.

99 % du volume de la Terre est situé sous la croûte.

255 km : c'est l'altitude à laquelle le satellite *GOCE* se trouve en orbite.

GLACIOLOGIE

AU GROENLAND, LE POINT DE BASCULE EST PROCHE

Et si les glaces du Groenland fondaient de manière irréversible bien plus tôt que prévu ? C'est la thèse soutenue par Andrey Ganopolski et son équipe du Potsdam Institute for Climate Impact Research. Leurs simulations suggèrent qu'il suffirait d'une augmentation de la température moyenne de 1,6 °C au-dessus du niveau préindustriel pour enclencher un processus de disparition complète de la calotte. Un point de bascule beaucoup moins élevé que celui estimé par les précédentes études, qui l'envisageaient aux alentours de 3 °C. Du coup, l'objectif de la communauté internationale de ne pas dépasser 2 °C de réchauffement est insuffisant… "*Cependant, franchir le seuil de déglaciation n'implique pas un effondrement rapide de la calotte polaire*", notent les auteurs. Un réchauffement de 2 °C entraînerait une fonte totale en 50 000 ans ; un réchauffement de 4 °, en 8 000 ans, et seulement en 2 000 ans pour un réchauffement de 8 °C. "*Si les émissions de CO_2 anthropique au cours du siècle poussent les températures bien au-dessus du seuil*, préviennent les climatologues, *la perte totale et irréversible de la calotte du Groenland sera difficile à éviter, et entraînera une hausse continue du niveau marin pendant des millénaires*". Une hausse qui pourrait atteindre 7 m. **P.L.**

< Même protégé, le phoque moine *M. schauinslandi* est au bord de l'extinction.

OCÉANOGRAPHIE

LES RÉSERVES N'ENRAYENT PAS LE DÉCLIN DE CERTAINS PHOQUES

Les aires marines protégées ne représentent pas toujours la panacée pour les espèces en voie de disparition. Leah Gerber (université d'Etat d'Arizona) vient de montrer que la création de la réserve marine d'Hawaï, la plus grande au monde avec 360 000 km², n'avait pas enrayé le déclin des populations du phoque moine *Monachus schauinslandi*, une espèce endémique au bord de l'extinction. Paradoxalement, les populations de phoques présentes en dehors du périmètre de protection montrent, elles, un accroissement. Selon la biologiste, l'inefficacité de la réserve souligne la nécessité préalable de mieux comprendre le fonctionnement de l'écosystème et les interactions à grande échelle. **E.B.-V.**

en bref

LES ETATS-UNIS ET LE CO_2

Les Etats-Unis ont pour la première fois imposé des normes limitant les émissions de CO_2 dans leurs futures centrales énergétiques, dès 2013. Les centrales à charbon ne pourront pas émettre plus de 454 kg de CO_2 par MWh, soit presque moitié moins que ce qu'elles dégagent aujourd'hui. **G.S.**

CHAMPIGNON MANGEUR DE PLASTIQUE

Des chercheurs de Yale ont découvert en Amazonie un champignon qui dégrade le polyuréthane. Dans un milieu dépourvu d'oxygène, *Pestalotiopsis microspora* peut se développer en utilisant cette matière comme seule source de carbone. Une faculté qui pourrait constituer une solution inédite de traitement des déchets plastiques. **Pa.G.**

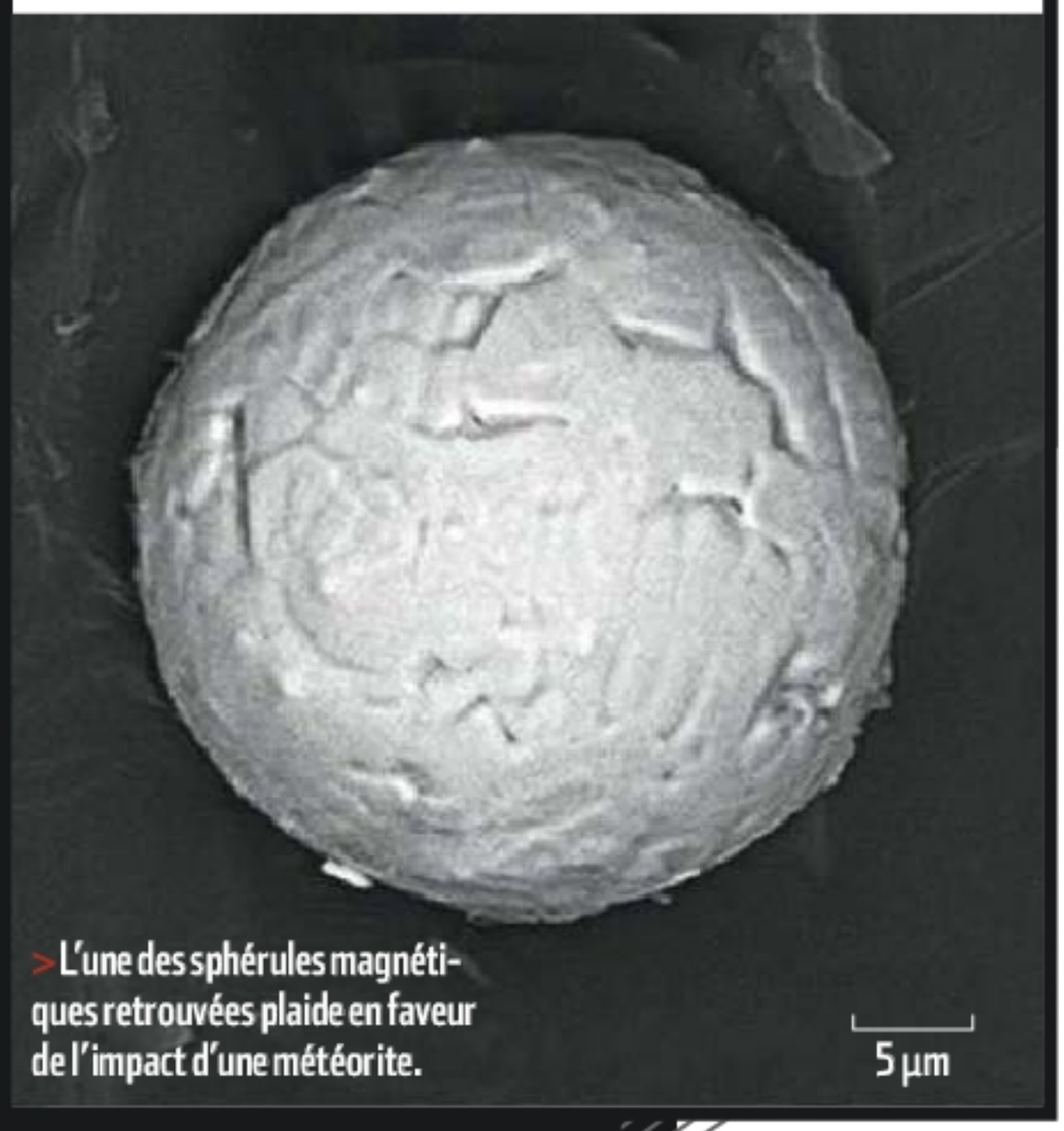
LES OCÉANS S'ACIDIFIENT

Les océans s'acidifient plus vite aujourd'hui qu'au cours des 300 derniers millions d'années, ont montré Bärbel Hönisch de l'université Columbia (New York). Seule période comparable, il y a 56 millions d'années. L'acidification, alors dix fois moins rapide, avait décimé la moitié des organismes vivant dans les océans. **S.F.**

GÉOLOGIE

UNE COMÈTE A TOUCHÉ LE MEXIQUE IL Y A 12 900 ANS

De la suie, des nanodiamants, des sphérules magnétiques… Voilà ce qu'une équipe internationale de géologues a découvert dans une fine couche de sédiments du lac Cuitzeo, au Mexique, datée de 12 900 ans. Autant d'ingrédients qui, d'après les spécialistes, ne peuvent s'expliquer que par l'impact d'un astéroïde ou d'une comète. "*A titre d'exemple, les températures requises pour fondre le fer et former des sphérules sont supérieures à 1540 °C, soit beaucoup plus que tous les phénomènes terrestres qui pourraient être évoqués*", explique James Kennett, de l'université de Californie. L'hypothèse d'un bombardement météoritique à cette époque n'est pas nouvelle. Depuis 2007, des traces similaires ont été retrouvées sur plusieurs sites en Amérique du Nord, au Groenland et en Europe de l'Ouest. "*Ces nouveaux résultats devraient permettre de réfuter définitivement les arguments des sceptiques*", avance James Kennett. Mais les conséquences envisagées par ce géologue restent sujettes à controverses. Selon lui, l'impact serait à l'origine d'un bouleversement climatique majeur et de l'extinction des grands mammifères américains. "*Si l'impact météorique ne semble pas faire de doute, il n'y a en revanche pas de preuve indiquant que celui-ci a causé la disparition des mammouths*", juge Albert Jambon (université Pierre-et-Marie-Curie). L'affaire n'est donc qu'en partie close. **C.H.**



> L'une des sphérules magnétiques retrouvées plaide en faveur de l'impact d'une météorite.

F.LANTING/CORBIS - P.MOSCHANDREOU/INVISION/REA - ISRADE, ET AL.

6,1 milliards

C'est le nombre de personnes qui bénéficiaient d'un accès à l'eau potable en 2010. L'objectif de desservir 88 % de la population mondiale pour 2015 est donc déjà dépassé. Mais 2,5 milliards d'individus restent privés d'installations sanitaires. S.B.

< Le phénomène serait dû à la raréfaction des nuages de haute altitude, conséquence du réchauffement.

CLIMATOLOGIE

DEPUIS DIX ANS, LES NUAGES PERDENT EN ALTITUDE

Au cours de la décennie 2000-2010, l'altitude moyenne des nuages a diminué d'une quarantaine de mètres. Cette étonnante observation, fruit de l'analyse des données du satellite *Terra* par Roger Davies (université d'Auckland, Nouvelle-Zélande), s'expliquerait par une raréfaction des nuages de haute altitude. Encore mal compris, ce phénomène pourrait découler du réchauffement climatique. "*La plupart des nuages sont formés par les mouvements ascendants de la circulation atmosphérique, qui repose en partie sur la différence de températures entre l'équateur et les pôles*, explique Roger Davies. *Or, jusqu'à maintenant les hautes latitudes nord ont connu un réchauffement plus prononcé que les régions équatoriales, rendant cette différence de température plus faible.*" Si les changements climatiques sont à l'origine de cet affaissement du couvert nuageux, celui-ci ne serait, en retour, pas sans conséquences sur le climat. En effet, plus l'altitude d'un nuage est faible, plus sa température est élevée, et plus il évacue d'énergie vers l'espace. L'abaissement de l'altitude vient donc s'opposer au réchauffement climatique. **V.E.**

ÉCOLOGIE

LE BOURDON EST AFFECTÉ PAR LES INSECTICIDES

Des colonies plus petites, avec moins de reines: l'imidaclopride, insecticide contre les ravageurs des cultures, n'épargne pas les bourdons sauvages. Ces effets viennent d'être quantifiés par Penelope Whitehorn (université de Stirling, Ecosse), qui a suivi 75 colonies de *Bombus terrestris* nourries, pour la moitié, avec du pollen contenant des quantités infimes d'imidaclopride. Résultat ? Les colonies exposées à des taux proches de ceux observés dans les champs sont 12 % plus petites que les autres. Et elles produisent 10 fois moins de reines ! Or, les bourdons ont un cycle annuel, et seules les nouvelles reines fondent une colonie au printemps suivant. **E.H.**

HALIEUTIQUE

En surnombre, les barrages sont nocifs pour la pêche

Construire des barrages hydroélectriques sur les affluents du Mékong aurait un impact désastreux sur la biodiversité des poissons et la pêche. Selon Guy Ziv (université de Princeton), les 78 ouvrages en projet entraveraient la migration des poissons vers les zones de pêche des pays en aval du fleuve, menaçant leur sécurité alimentaire. Le barrage lower Se San 2 réduirait à lui seul de 10 % la biomasse du bassin du Mékong. **G.S.**

> Un insecticide, l'imidaclopride, réduit de plus de 10 % les colonies de bourdons, qui engendrent dix fois moins de reines...

P.GUNTHER/PLAINPICTURE - J.HERAS/BIOS

Parce qu'être le restaurant des enfants nous engage.

Garantir le Choix et la Qualité

Le menu Happy Meal™, c'est le choix entre différentes protéines, 3 accompagnements (dont les Ptites tomates), 9 boissons différentes et 4 desserts (2 sachets de fruit différents, une compote et un yaourt). C'est aussi l'exigence de la qualité de tous les produits avec des steaks hachés 100 % pur boeuf* et des nuggets au blanc de poulet pané.

* conformément à la réglementation en vigueur

Donner accès au Bio

Depuis 2010, nous avons enrichi notre menu avec des produits issus de l'agriculture biologique : un jus de fruits et un yaourt à boire, dont la saveur change régulièrement pour varier les plaisirs.

Faire aimer les FRUITS

Pendant l'année, nous proposons pour les enfants des fruits faciles à manger et amusants (Pomme-raisin) ou qui varient régulièrement (Ptit kiwi, ananas...)*. Puis chaque 1er mercredi du mois, ils peuvent profiter des Mercredis à Croquer™ : un sachet de fruit offert pour l'achat d'un menu Happy Meal™.

* le fruit proposé est annoncé en restaurant

Initier au SPORT

Chaque année avec le McDo Kids Sport™, les enfants sont invités à participer à une tournée gratuite pour découvrir et s'initier à différentes disciplines olympiques. De plus, tout au long de l'année, McDonald's™ s'investit dans la promotion du sport en contribuant au développement des associations sportives locales.

TBWA\ 225 R.C.S. B 492 005 079 IMPRIMÉ EN U.E.

Cette variété de blé serait une solution à la salinisation des sols, un phénomène croissant.

GÉOCHIMIE

Habiter près d'un puits de gaz de schiste est néfaste

Vivre pendant des décennies à moins de 800 m d'un puits de gaz de schiste augmenterait le risque de maladies chroniques ou de cancers. Telle est la conclusion de l'étude réalisée par Lisa McKenzie (université du Colorado) et basée sur la mesure des concentrations en hydrocarbures (benzène, xylène…) dans l'air à proximité d'une exploitation de gaz non conventionnel. L'exposition à ces substances nocives serait plus importante lors de la phase de fracturation hydraulique des roches. **S.F.**

AGRONOMIE

UN NOUVEAU BLÉ RÉSISTANT AU SEL A ÉTÉ ÉLABORÉ

Un blé dur capable de pousser sur un sol salin avec un rendement supérieur de 25 % à celui de blés ordinaires. Voilà ce qu'a mis au point une équipe de l'université d'Adélaïde (Australie) en croisant une variété de blé commercial avec *Triticum monococcum*, une variété ancestrale de blé naturellement tolérante au sel. *T. monococcum* possède en effet un gène qui lui confère la faculté de réduire le transfert vers les feuilles du sodium absorbé dans le sol au niveau des racines. S'il s'accumule en trop forte concentration dans les feuilles, ce sel perturbe le processus de photosynthèse, rendant la plante moins productive. "*C'est la première fois qu'une variation génétique perdue du fait de la domestication est ainsi retrouvée et réintroduite dans une plante*", explique Matthew Gilliham, en charge du projet, qui précise que ce blé tolérant n'a pas été obtenu par transgenèse, et ne devrait donc pas être soumis aux restrictions auxquelles sont sujets les OGM. Le développement de cette espèce tolérante au sel constitue, d'après les auteurs, une réponse à l'accroissement des besoins alimentaires et à la salinisation des sols. Lié à l'irrigation, ce phénomène affecte 20 % des terres agricoles de la planète, en particulier en Afrique subsaharienne, en Australie, aux Etats-Unis et en Russie. **Pa.G.**

R. JAMES/CSIRO - UNIV. DE NAVARRA, ESPAGNE

Dépourvu d'yeux, *P. ortobalaganensis* est un arthropode de 3,8 mm.

BIODIVERSITÉ

CET INVERTÉBRÉ VIT À 2 KM DE PROFONDEUR

C'est l'animal possédant le plus profond habitat terrestre connu ! *Plutomurus ortobalaganensis*, un arthropode de la classe des collemboles, a été retrouvé à 1980 mètres sous terre, dans le gouffre de Krubera-Voronya, en Géorgie. Avant cette découverte, faite par Rafael Jordana (université de Navarre, à Pampelune), le record, également détenu par un collembole, ne dépassait pas les 500 mètres de profondeur… Décrit dès 1980, *Plutomurus ortobalaganensis* est un invertébré de 3,8 millimètres de longueur – antennes exclues – et dépourvu d'yeux car vivant dans l'obscurité. Il apporte une nouvelle preuve que la vie en conditions extrêmes est bien moins rare qu'on ne le pensait. **R.B.**

DU Bio CHEZ McDo™

C'est naturel de faire plaisir à vos enfants !
Depuis avril 2010, le menu enfant propose deux produits issus de l'agriculture biologique, un jus de fruit 100% pur jus et un yaourt à boire aux fruits.
Le Happy Meal™ c'est un choix de produits de qualité et toujours plus variés.

AB
AGRICULTURE BIOLOGIQUE

TBWA\PARIS R.C.S. 492 005 0[illegible] IMPRIMÉ EN U.E.

POURQUOI LA POLLUTION INTÉRIEURE EST DÉSORMAIS SOUS HAUTE SURVEILLANCE

Pour la première fois, un système de notation affiche le taux de substances nocives émises par les matériaux (peintures, isolants…) utilisés dans nos maisons. Mais cela suffira-t-il ?

L'année 2012 marquera un tournant dans la prise de conscience de la pollution qui affecte nos maisons et autres lieux clos. Cela fait maintenant plusieurs années que, études à l'appui, l'Observatoire de la qualité de l'air intérieur alerte sur la présence de produits nocifs dans l'atmosphère des logements.

DIX POLLUANTS TRAQUÉS

Des substances dégagées par le chauffage, les produits d'entretien, les meubles, les sols, les cloisons ou les peintures, et qui se retrouvent dans l'air que nous respirons, entraînant rhumes, allergies et conjonctivites. Et cette pollution est d'autant plus problématique que nous passons plus de 90 % de notre temps dans des espaces confinés…

Mais cette fois-ci, les consommateurs auront les moyens d'agir pour limiter eux-mêmes cette pollution. Depuis le 1er janvier, en effet, les nouveaux matériaux de construction et de décoration tels que peintures, colles, isolants et revêtements, doivent porter une étiquette affichant leur nocivité. Elle indique le niveau d'émission de dix des polluants les plus néfastes – des composés organiques volatils comme le formaldéhyde, l'acétaldéhyde ou encore le toluène – à l'aide d'une note qui va de A+ (très faibles émissions) à C (fortes émissions). *"C'est une première en Europe"*, se réjouit Suzanne Déoux, docteur en médecine et spécialiste en management des risques en santé dans les bâtiments. Dommage toutefois que les notes soient données par les fabricants eux-mêmes… Seront-elles rigoureuses? *"Les industriels ont tout intérêt à jouer le jeu"*, tempère la spécialiste, persuadée que les associations de consommateurs seront vigilantes.

REPÈRES

En 1982, l'OMS reconnaît le syndrome du bâtiment malsain. En France, la création de l'Observatoire de la qualité de l'air intérieur a lieu ***en 2001***. ***En 2004,*** elle est suivie d'un premier Plan national français santé-environnement, puis d'un second lancé ***en 2009***. Depuis ***janvier 2012***, les nouveaux matériaux doivent porter une étiquette précisant leur niveau d'émission de dix polluants.

Mais l'avenir n'est pas dégagé pour autant. Déjà nettement plus pollué que l'air extérieur, l'air intérieur pourrait encore voir sa qualité se dégrader, notamment dans les logements neufs, avec la nouvelle réglementation thermique des bâtiments 2012. Pour garantir une plus grande efficacité énergétique, les logements devront désormais satisfaire à des normes d'étanchéité plus strictes, alors que le renouvellement de l'air est déjà insuffisant, à cause du manque d'aération et de systèmes de ventilation mal entretenus ou trop peu efficaces. Notre santé pourrait bien être la grande perdante de cette "chasse au gaspi". A moins d'imposer des normes plus sévères pour l'aération des logements. En attendant, un geste simple s'impose: ouvrir ses fenêtres dans chaque pièce au moins dix minutes par jour, même en hiver. **P.L.**

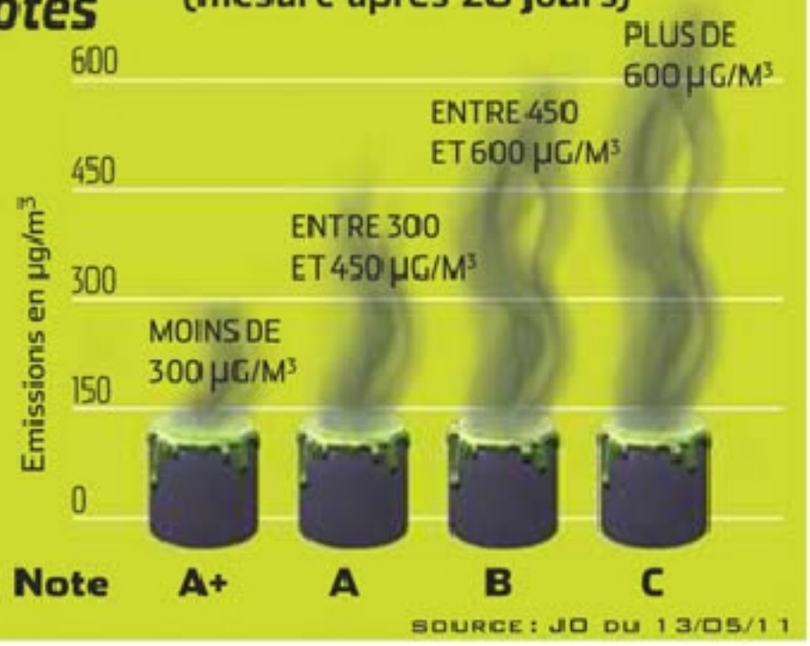
G.ROLLE/RÉA

CLÉ Nº 1

Les matériaux sont notés selon leur nocivité...

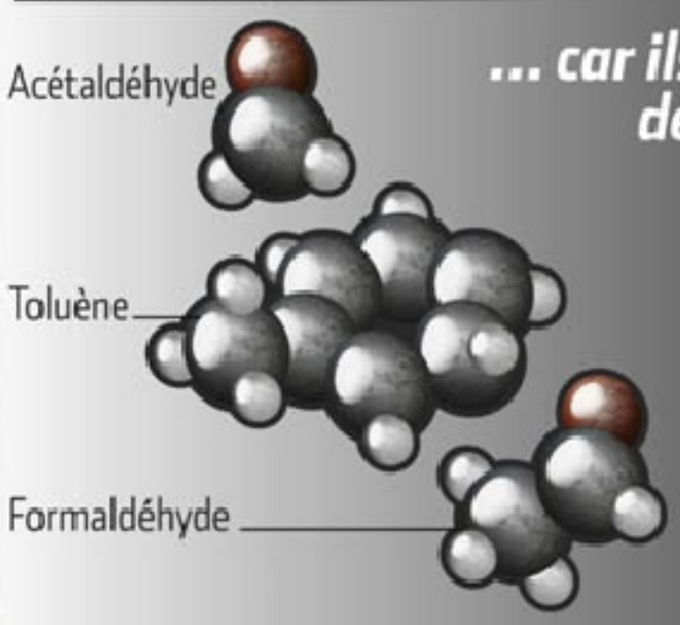
La note (A+, A, B, C) atteste qu'aucun des polluants présents dans le produit ne dépasse une limite d'émissions donnée. Dix substances sont visées : le formaldéhyde, l'acétaldéhyde, le toluène, le tétrachloroéthylène, le xylène, le triméthylbenzène, le dichlorobenzène, l'éthylbenzène, le butoxyéthanol et le styrène.

Cas du toluène émis par de la peinture (mesuré après 28 jours)



SOURCE : JO DU 13/05/11

CLÉ Nº 2



... car ils libèrent dans l'air des polluants avérés

Il s'agit de composés organiques volatils (COV), une famille de substances contenant du carbone et de l'hydrogène. On trouve aussi ces polluants dans les aérosols désodorisants, la fumée de cigarette, d'encens et autres résidus de combustion.

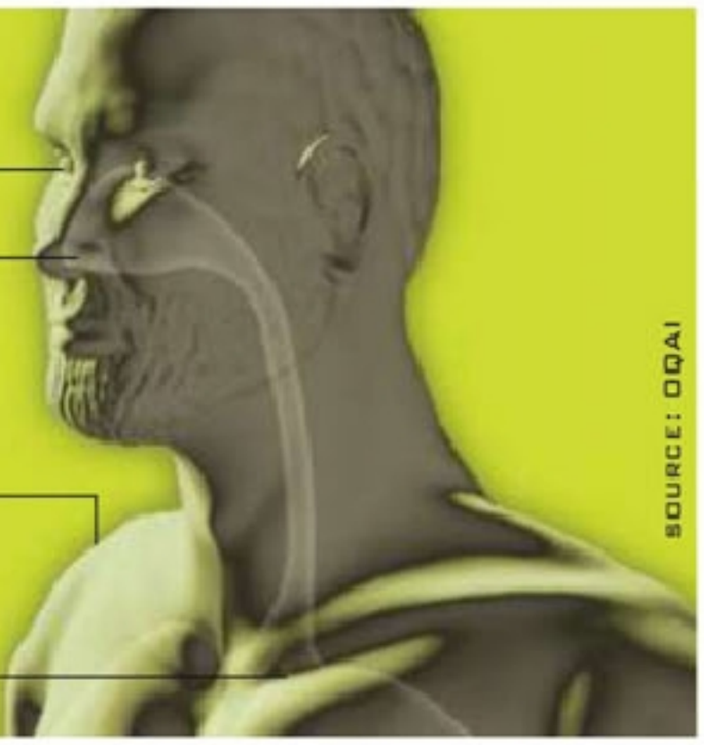
^ Présentée dès l'annonce du Plan santé-environnement 2011 par la ministre de l'Ecologie, l'étiquette sera obligatoire sur tous les matériaux d'ici au 1er septembre 2013.

CLÉ Nº 3

Des substances nocives pour la santé...

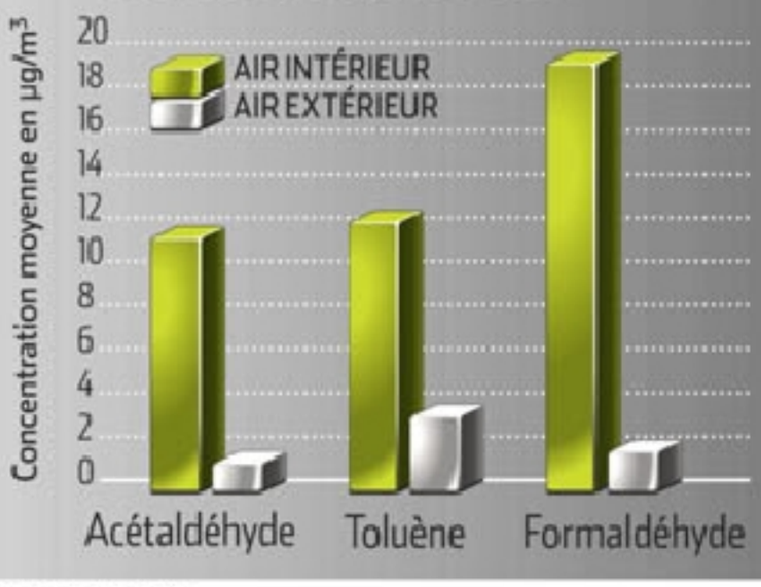
Les polluants de l'air irritent les yeux, la peau, les muqueuses du nez, de la gorge et des voies respiratoires. Résultats : des rhumes et des grippes à répétition, des allergies, des conjonctivites ou encore des démangeaisons. Et la combinaison de l'ensemble de ces produits dans l'air pourrait se révéler plus dangereuse que chacun d'entre eux séparément.

Affections aiguës



SOURCE : OQAI

Des polluants qui affectent surtout les espaces clos

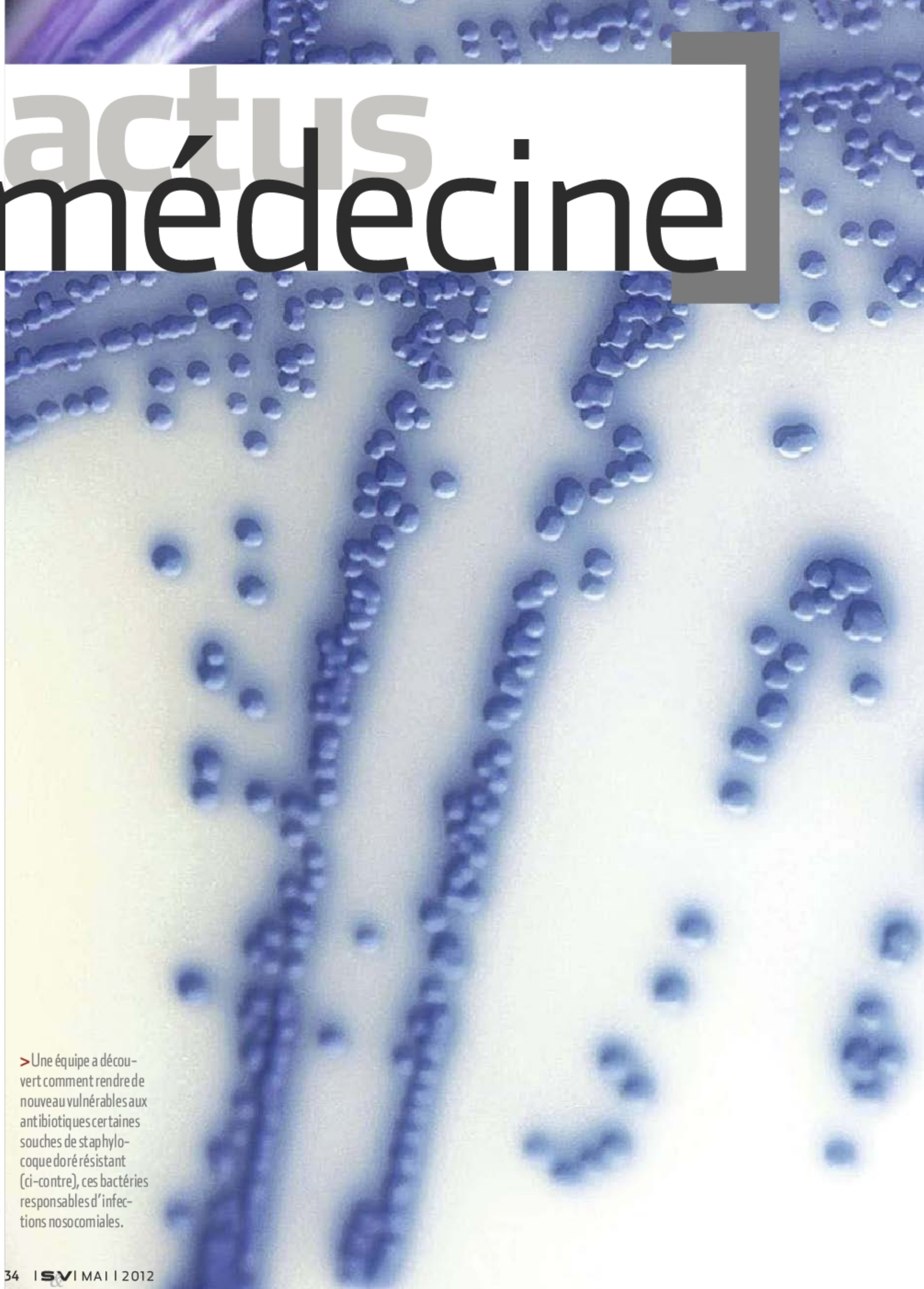


SOURCE : OQAI

CLÉ Nº 4

... et dont les concentrations en intérieur restent trop élevées

L'air que nous respirons est 5 à 10 fois plus pollué à l'intérieur qu'à l'extérieur. C'est notamment ce qu'a montré l'étude menée par l'Observatoire de la qualité de l'air intérieur dans 567 résidences, réparties sur 50 départements en France métropolitaine. Les résultats montrent en particulier que les formaldéhydes sont parmi les molécules les plus fréquentes et les plus concentrées dans les logements.



> Une équipe a découvert comment rendre de nouveau vulnérables aux antibiotiques certaines souches de staphylocoque doré résistant (ci-contre), ces bactéries responsables d'infections nosocomiales.

SPL/COSMOS

MICROBIOLOGIE

ON PEUT INHIBER LES MICROBES RÉSISTANTS

Comment venir à bout des bactéries devenues résistantes aux traitements classiques ? En utilisant des molécules qui redonnent leur efficacité aux vieux antibiotiques ! L'équipe de Terry Roemer (laboratoire Merck, Etats-Unis) travaille sur les staphylocoques dorés résistants à la méticilline, des souches responsables de milliers d'infections nosocomiales rien qu'en France chaque année. Les chercheurs ont montré qu'il est possible de combattre la bactérie en combinant l'antibiotique avec d'autres molécules qui affaiblissent le staphylocoque. Pour mettre au point ce cocktail, ils ont d'abord créé 250 souches différentes de staphylocoque doré résistant à la méticilline. A chaque fois, ils ont inactivé un seul gène bactérien – certains liés à la division cellulaire, d'autres à la fabrication de la paroi. Puis, les 250 souches ont été soumises à des doses de méticilline. Surprise : près de quarante d'entre elles étaient redevenues sensibles à l'antibiotique ! Pour combattre les résistances, il suffirait donc d'ajouter aux traitements actuels une molécule capable d'inhiber l'une des protéines codées par ces quarante gènes. L'équipe l'a confirmé *in vivo*, chez des souris infectées par des staphylocoques. Reste à trouver la combinaison de molécules la plus efficace, simple à appliquer dans les hôpitaux, et sans risque pour les patients. Mais le choix ne manque pas… **E.A.**

CANCÉROLOGIE

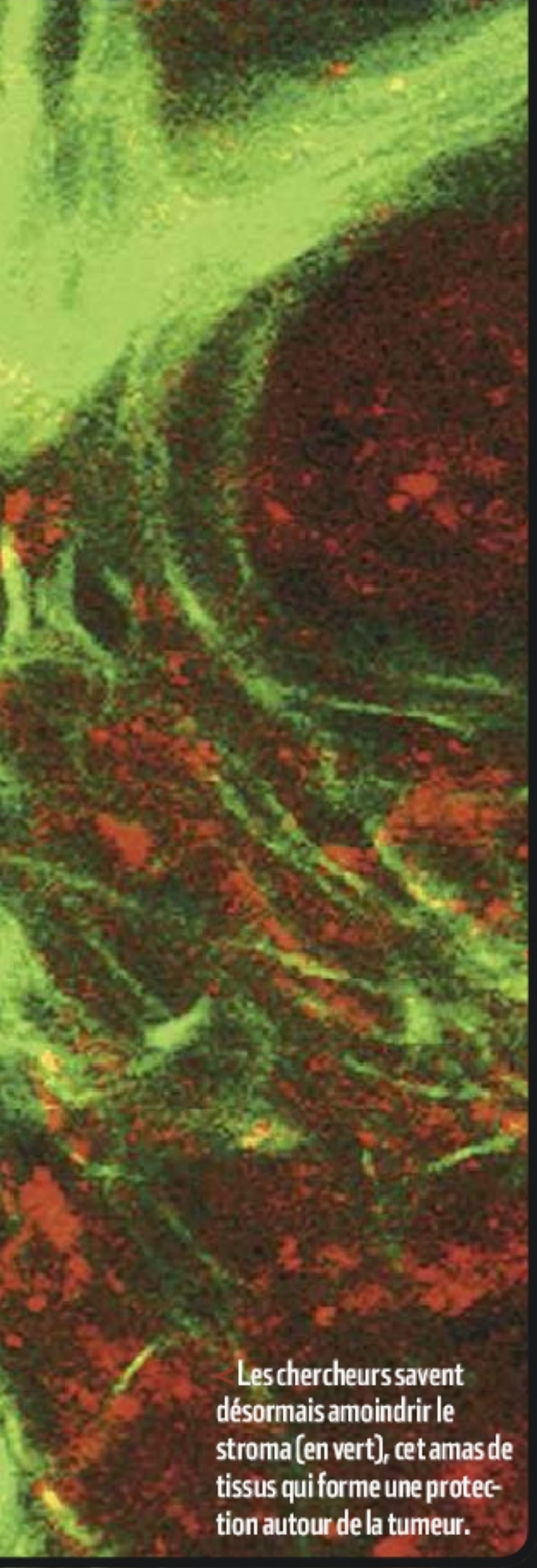
LA TUMEUR DU PANCRÉAS PERD SON BOUCLIER

Avec une espérance de vie moyenne de 4 à 6 mois et un taux de survie à 5 ans inférieur à 5 %, l'adénocarcinome ductulaire du pancréas s'avère être un cancer redoutable. En cause, notamment, la densité de l'amas de tissus fibreux – le stroma – qui se forme autour de la tumeur et empêche la chimiothérapie d'atteindre sa cible *via* les vaisseaux sanguins. Mais l'équipe de Sunil Hingorani (école de médecine de Seattle, Etats-Unis) a peut-être trouvé une parade. Après avoir constaté une très forte concentration d'acide hyaluronique dans le stroma, les médecins ont administré à des souris génétiquement modifiées pour développer un cancer du pancréas une enzyme capable de détruire cette molécule. Résultat : le taux d'acide hyaluronique a diminué, ce qui, à son tour, a fait baisser la pression entre les cellules tumorales. Or, c'est justement cette pression interstitielle trop élevée qui a pour conséquence un rétrécissement, et donc un moindre débit, des vaisseaux sanguins alimentant la tumeur. Grâce à l'enzyme, les vaisseaux des souris traitées ont retrouvé un plus large diamètre et ont pu apporter jusqu'à la tumeur les médicaments anticancéreux – avec, à la clé, un quasi-doublement de la durée de vie. **C.H.**

NEUROLOGIE

LES EFFETS DU CANNABIS SE

Contre toute attente, les mauvais effets du cannabis sur la mémoire de travail (qui traite les informations à court terme) ne passent pas par une action directe sur les neurones. Une équipe internationale de chercheurs a démontré que le THC, principal composant actif du cannabis, agit sur des récepteurs présents à la surface des astrocytes, ces cellules entourant les neurones et assurant leur bon fonctionnement. La découverte de ce chemin spécifique permet *"d'envisager de*



Les chercheurs savent désormais amoindrir le stroma (en vert), cet amas de tissus qui forme une protection autour de la tumeur.

PRÉCISENT

développer des molécules ayant les propriétés thérapeutiques du cannabis, notamment sur la douleur, tout en se débarrassant de ses effets néfastes sur la mémoire de travail", explique Giovanni Marsicano, qui a codirigé l'étude. **E.A.**

en bref

UNE PISTE POUR SOIGNER LA CALVITIE

Une molécule inhibant la pousse des cheveux a été identifiée par des chercheurs de l'université de Pennsylvanie : il s'agit de la prostaglandine, liée au récepteur GPR44. Des médicaments utilisés contre les allergies, qui bloquent ce récepteur, pourraient donc aussi agir contre la chute des cheveux. **E.A.**

HAUSSE DES TEMPÉRATURES ET MORTALITÉ HIVERNALE

La seule bonne nouvelle que nous apportaient les experts du climat... serait fausse. Car le réchauffement des températures hivernales ne devrait pas abaisser la surmortalité observée en France à cette saison. C'est la conclusion de spécialistes de santé environnementale, qui ont analysé les effets des hivers passés. **E.A.**

UNE BACTÉRIE DOUBLE LE RISQUE DE SIDA

Selon une étude menée sur des femmes africaines, l'infection par la bactérie *Mycoplasma genitalium* double le risque de contamination par le VIH. Dépister et traiter cette MST pourrait donc constituer une voie supplémentaire de prévention des infections au VIH chez les femmes à risque. **E.A.**

IMMUNOLOGIE

LES GREFFES DE REIN SE FERONT BIENTÔT SANS TRAITEMENT ANTIREJET

Tolérer la greffe d'un rein sans suivre de traitement antirejet : ce rêve est en train de devenir réalité grâce à l'équipe de Suzanne Ildstad, de l'Institut de thérapie cellulaire du Kentucky (Etats-Unis). Dans la technique mise en place par les chercheurs, le donneur se voit d'abord prélever un peu de moelle osseuse, siège de la fabrication de ses cellules immunitaires. Cette moelle est ensuite greffée chez le receveur pour modifier son profil immunologique. Il s'agit de créer un "chimérisme", c'est-à-dire un système capable d'accepter à la fois les cellules du receveur et celles du donneur. Alors seulement, le rein peut être greffé sans que le transplanté ait besoin de suivre un traitement antirejet. *"Les résultats de cette étude sont stupéfiants*, s'enthousiasme Emmanuel Morelon, néphrologue au CHU de Lyon et chercheur à l'Inserm. *L'équipe est parvenue à obtenir un chimérisme total et stable depuis près d'un an chez ses cinq derniers patients."* Un exploit qui semble principalement dû à l'injection d'un nouveau type de cellule, dite "facilitatrice de greffe". Le moyen de les obtenir est en revanche tenu secret jusqu'au dépôt du brevet par l'entreprise de Suzanne Ildstad... Si les résultats se confirment, bien d'autres maladies nécessitant une greffe de moelle osseuse pourraient elles aussi bénéficier de cette technique. **M.K.**

> Grâce à une nouvelle technique de greffe du rein, 5 patients transplantés vivent sans risque de rejet depuis près d'un an.

COURTESY OF PROVENZANO ET AL./CANCER CELL - FOTOLIA - N.BENGIVENO/THE NYT/REDUX/RÉA

FERTILITÉ

LES FEMMES CACHENT UN POTENTIEL INESPÉRÉ

Dans les ovaires dorment des cellules souches capables d'évoluer en ovocytes. Des chercheurs ont réussi à les "réveiller". Une découverte qui offre d'inédites perspectives, notamment en cas de ménopause précoce ou de chimiothérapie.

Un dogme vient de tomber. Longtemps, les scientifiques ont considéré que, contrairement aux hommes qui fabriquent toute leur vie de nouveaux spermatozoïdes, les femmes possédaient un stock limité et non renouvelable d'ovocytes, constitué alors qu'elles étaient encore dans le ventre de leur mère. Un stock qui progressivement s'épuisait, à la suite des ovulations successives mais aussi et surtout à cause du vieillissement de ces cellules, rendant la femme infertile une fois la ménopause atteinte.

EXIT LA LIMITE BIOLOGIQUE ?

Or, l'équipe américaine de Jonathan Tilly, à l'hôpital général du Massachusetts, vient de montrer que cette horloge biologique qui taraude les femmes n'est peut-être pas si irrémédiable: elle a réussi à identifier des cellules souches dans le tissu ovarien, cellules capables, une fois extraites de leur environnement et placées dans un milieu de culture, d'évoluer en ovocytes.

En fait, le biologiste américain n'en est pas à ses premiers faits d'armes. En 2004 déjà, il annonçait avoir identifié de telles cellules dans les ovaires de souris. Mais cette fois, c'est dans des tissus ovariens prélevés sur six femmes âgées de 20 à 30 ans, que Jonathan Tilly et son équipe ont découvert des cellules souches! Cultivées *in vitro*, celles-ci ont ensuite spontanément évolué en ovocytes. Et ce n'est pas tout. La prouesse a également été reproduite *in vivo*, lorsque les chercheurs ont réinjecté ces cellules dans des tissus ovariens humains, puis greffé le tout sur des souris femelles. Les ovocytes se sont formés, cette fois chez les souris elles-mêmes.

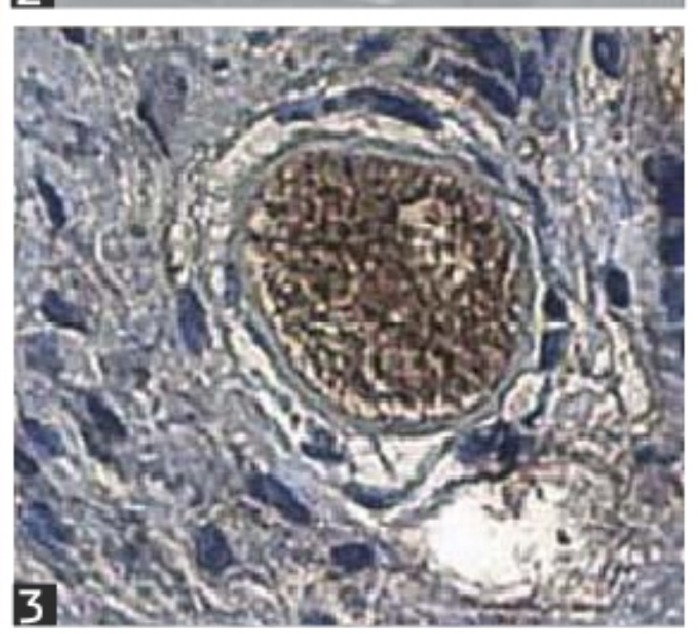
Cela signifie-t-il que l'on pourra un jour réactiver ce stock de cellules souches endormies pour que les femmes puissent ovuler, et donc avoir des enfants, toute leur vie? "*Cette découverte constitue, c'est certain, un scoop et un espoir thérapeutique pour les femmes ménopausées jeunes, ou ayant subi une chimiothérapie qui a détruit leurs ovocytes*, commente Bernard Jégou, responsable du groupe de recherche sur la reproduction humaine à l'Inserm de Rennes. *Néanmoins, il reste encore beaucoup d'obstacles techniques, mais aussi éthiques, avant une éventuelle application médicale.*" En particulier, pourra-t-on extraire suffisamment de cellules souches pour produire des ovocytes, alors même que Jonathan Tilly reconnaît leur rareté? Les ovocytes produits seront-ils de

FAITS& CHIFFRES

Depuis le milieu des années 2000, plus de ***20 000 enfants*** naissent chaque année grâce aux méthodes de ***fécondation médicalement assistée***. Or, les chances de succès de ces méthodes diminuent avec l'âge des femmes: ***12 %*** à ***38 ans*** et ***6 %*** à ***42 ans***. En cause notamment, la quantité et la qualité des ovules, soit les ovocytes matures et fécondables.

1

2



3

1
On croyait le nombre de cellules sexuelles chez la femme limité et non renouvelable (ici, un ovocyte sortant de l'ovaire)…

2
… Mais une cellule souche prélevée dans les tissus ovariens d'une femme s'est transformée en ovocyte *in vitro*…

3
… ainsi qu'*in vivo* chez une souris.

bonne qualité après toutes les manipulations subies ? Pourront-ils être fécondés et donner naissance à un individu sain ? Ne comportent-ils pas un risque cancérigène, risque déjà pointé par les recherches menées ces dernières années sur les cellules souches ? Autant de questions auxquelles il faudra répondre avant de sonner le glas de la fameuse horloge biologique féminine… **C.H.**

L'AUTOGREFFE OVARIENNE PERMET DÉJÀ DE DÉPASSER LA STÉRILITÉ

Après une chimiothérapie, bon nombre de fillettes ou de jeunes femmes deviennent stériles. Si la découverte de Jonathan Tilly constitue pour elles un espoir, d'autres solutions ont vu le jour ces dernières années. C'est par exemple le cas de l'autogreffe d'ovaires, ceux-ci étant prélevés avant le traitement, congelés puis réimplantés. En 2009, une patiente française a ainsi donné naissance à une petite fille grâce à ce procédé. *"Il s'agit de la première naissance en France grâce à une autogreffe de tissu ovarien, et c'est seulement la septième au monde"*, s'enthousiasmait à l'époque l'un des initiateurs de cette procédure, le professeur Christophe Roux, du CHU de Besançon.

P.MOTTA/SPL/COSMOS - NATURE CELL

La découverte de ces deux groupes améliorera la prise en charge transfusionnelle des personnes concernées.

HÉMATOLOGIE

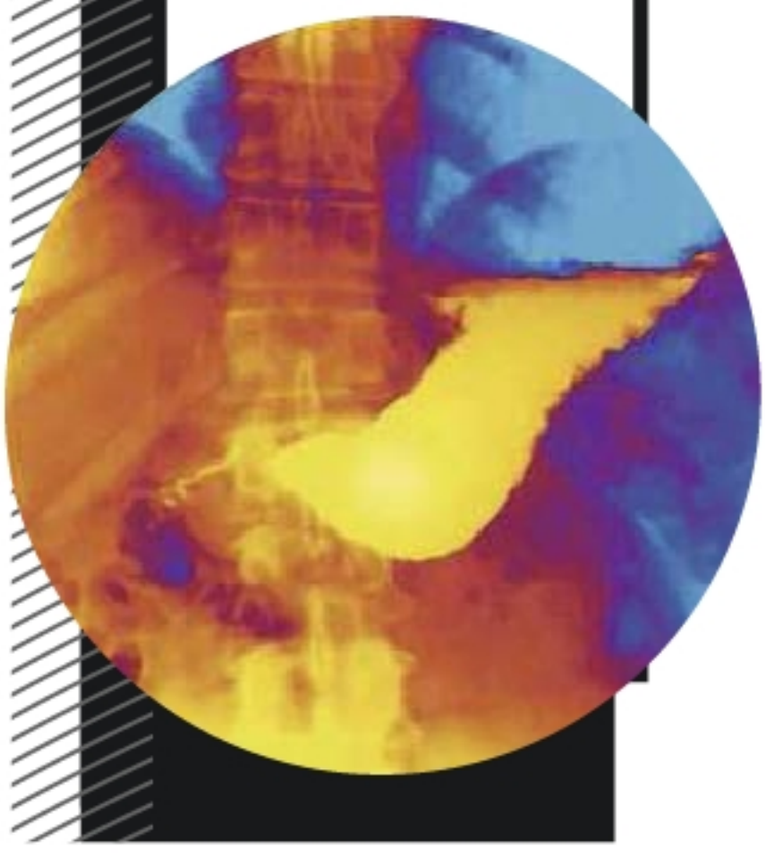
DEUX AUTRES GROUPES SANGUINS SONT IDENTIFIÉS

Tout le monde connaît les groupes sanguins établis à partir du classement ABO et du système rhésus. Mais il existe au total 30 groupes sanguins, basés sur toute une série d'autres antigènes, ces molécules reconnaissables par le système immunitaire. Et voilà que deux nouveaux groupes viennent d'être identifiés par l'Institut national de la transfusion sanguine, en collaboration avec des chercheurs étrangers. Leurs noms ? Langereis et Junior. Ces antigènes spécifiques sont portés par des protéines – nommées ABCB6 pour Langereis et ABCG2 pour Junior – qui appartiennent à un vaste ensemble de molécules, dont le rôle est de faire transiter des substances à travers les membranes biologiques. Les scientifiques se doutaient de leur existence mais n'avaient jamais réussi à les mettre en évidence. *"Ces découvertes vont améliorer la prise en charge transfusionnelle et obstétricale des personnes concernées ; elles pourraient également être à l'origine de nouvelles stratégies dans les chimiothérapies"*, explique Lionel Arnaud, qui a dirigé les travaux. **F.H.**

CHIRURGIE

UN ESTOMAC PLIÉ EN DEUX FERAIT MAIGRIR

Afin de réduire le volume de l'estomac (ci-dessous, en jaune) et d'aider ainsi les patients obèses à perdre du poids, plusieurs types de chirurgie existent déjà, comme la pose d'un anneau gastrique. Mais Santiago Horgan, directeur de l'Institut métabolique bariatrique de San Diego (Etats-Unis), a mis au point une nouvelle technique. Inspirée de l'origami, elle consiste à plier l'estomac en deux ou en trois à l'aide de sutures non résorbables. Pratiquée par laparoscopie *via* une à cinq petites incisions, l'intervention pourrait permettre, selon le chirurgien, de perdre un kilo par semaine, sans contraintes alimentaires. Cette méthode doit cependant encore être évaluée avant d'être recommandée. **C.H.**



NEUROLOGIE

Des anesthésies générales trop fréquentes entraîneraient des troubles cognitifs

Le sévoflurane, un gaz anesthésiant souvent utilisé chez l'homme, peut provoquer chez la souris des troubles irréversibles de la mémoire. Les chercheurs du Centre de recherche Jean-Pierre Aubert (Lille) l'ont montré après avoir suivi 23 souris et injecté à 15 d'entre elles une dose mensuelle de sévoflurane durant cinq mois. Les rongeurs anesthésiés, comparés à ceux non traités, échouent dans un test de mémoire spatiale. *"L'administration répétée de l'anesthésiant modifie de manière irréversible les protéines tau, impliquées dans la maladie d'Alzheimer"*, précise Luc Buée qui a dirigé les travaux. D'autres études seront nécessaires pour vérifier si cet effet délétère existe aussi chez l'homme. **F.H.**

Y.BONNET/RESERVOIRPHOTO - SPL/COSMOS

HYUNDAI | NEW THINKING. NEW POSSIBILITIES.

UEFA EURO2012 POLAND-UKRAINE

Si vous pensez connaître Hyundai

Pensez de Nouveau

i30 Nouvelle Génération À PARTIR DE 13 900 €(1)

Découvrez la voiture qui vous fera penser longtemps à Hyundai. Car si vous pensez qu'elle n'a que son apparence à offrir, il est temps de penser de nouveau. La i30 Nouvelle Génération a quelque chose d'exclusif. Conçue avec exigence jusque dans ses moindres détails, la i30 n'a pas seulement été dessinée pour paraître élégante, mais pour offrir le meilleur du confort, de la technologie et de la sécurité. Prenez le volant et tout deviendra limpide. Découvrez la i30 Nouvelle Génération sur i30.hyundai.fr ou chez votre distributeur HYUNDAI le plus proche. Nouvelles idées. Nouvelles possibilités.

www.hyundai.fr

5 ANS TRIPLE GARANTIE™

Engagement kilométrage illimité

Consommations mixtes de la gamme i30 (l/100 km) : 3,7 à 6,0. Emissions de CO_2 (en g/km) : de 97 à 145.

(1) Prix TTC au 10.01.2012, hors options de la Nouvelle i30 1.4 PACK Evidence (16 900 € – 2 200 € de remise – 800 € de reprise). Modèle présenté : Nouvelle i30 1.6 CRDi 128 PACK Premium au prix de 23 200 € (25 700 € – 2 200 € de remise – 800 € de reprise + 500 € de peinture métallisée). Offres réservées aux particuliers, non cumulables et valables jusqu'au 31.05.2012 dans la limite des stocks disponibles. Voir conditions de l'offre, de reprise et de garantie chez votre distributeur Hyundai participant. Liste des distributeurs Hyundai sur www.hyundai.fr. TRIPLE GARANTIE 5 ANS HYUNDAI : 5 ans de garantie kilométrage illimité – 5 ans d'assistance gratuite – 5 ans de contrôle annuel gratuit.

HYUNDAI MOTOR FRANCE – RCS Pontoise B 411 394 893

Sur cet échantillon de polype, la progastrine (en marron) marque le risque de cancer.

ONCOLOGIE

UN TEST PRÉDIRA LE RISQUE DE CANCER DU CÔLON

Des chercheurs toulousains ont mis en évidence un marqueur très spécifique et très sensible du risque de cancer colorectal (deuxième cancer le plus fréquent en France): la progastrine. Cette protéine est normalement absente de la muqueuse intestinale saine, mais présente dans les cellules cancéreuses où elle agit comme un facteur de croissance. Des chercheurs ont découvert que les polypes, qui sont pourtant des tumeurs bénignes du côlon et du rectum, pouvaient également avoir une forte concentration en progastrine. Or, chez les patients porteurs de ce type de polypes (40 % dans le groupe étudié), le risque de cancer serait maximum. Ainsi, ces patients ont tous développé des lésions précancéreuses dans les dix ans suivant le diagnostic. A l'inverse, en l'absence de progastrine, ces lésions ne sont pas apparues. A ce jour, aucun suivi particulier n'est recommandé après l'ablation des polypes, par coloscopie. Et pourtant… *"Nous sommes convaincus que la recherche systématique de progastrine dans les polypes permettra d'améliorer considérablement le dépistage précoce du cancer colorectal*, affirme Catherine Seva, biologiste cellulaire à l'Inserm. *Mais nous devons confirmer ces résultats sur une plus grande cohorte de patients."* Même avec ce test, l'ablation des polypes restera indispensable. **O.C.**

C.SEVA/INSERM - SCIENCE PICTURE CO/SCIENCE FACTION/CORBIS

PHARMACOLOGIE

Combattre localement la douleur devient possible

Prolonger l'action des enképhalines, des antalgiques naturels fabriqués localement en réponse à un stimulus douloureux : c'est la promesse des IDENKs (inhibiteurs doubles d'enképhalinases), qui ciblent l'endroit même où la douleur se forme. Leur action locale écarterait le risque d'effets secondaires. *"Le besoin est réel, car les antidouleurs utilisés aujourd'hui sont efficaces, mais présentent de sérieux effets indésirables"*, explique Alain Eschalier, médecin spécialiste de la douleur. **M.Cy.**

VIROLOGIE

DE NOUVEAUX ANTI-GRIPPAUX SONT À L'ESSAI

Jusqu'à présent, aucun médicament contre la grippe n'a vraiment fait ses preuves. Voilà pourquoi une équipe française travaille sur une nouvelle génération d'antiviraux, qui bloqueraient des voies de prolifération du virus dans les cellules infectées. Les chercheurs ont montré *in vitro* que de telles molécules sont efficaces contre la plupart des virus influenzae (ci-dessus, H1N1). Certaines sont déjà commercialisées dans d'autres indications thérapeutiques, comme la midodrine, utilisée contre l'hypotension. Un essai clinique débute tout juste pour tester ce médicament chez des adultes présentant des syndromes grippaux. Résultats attendus pour fin 2013. **M.L.**

La boutique SCIENCE&VIE

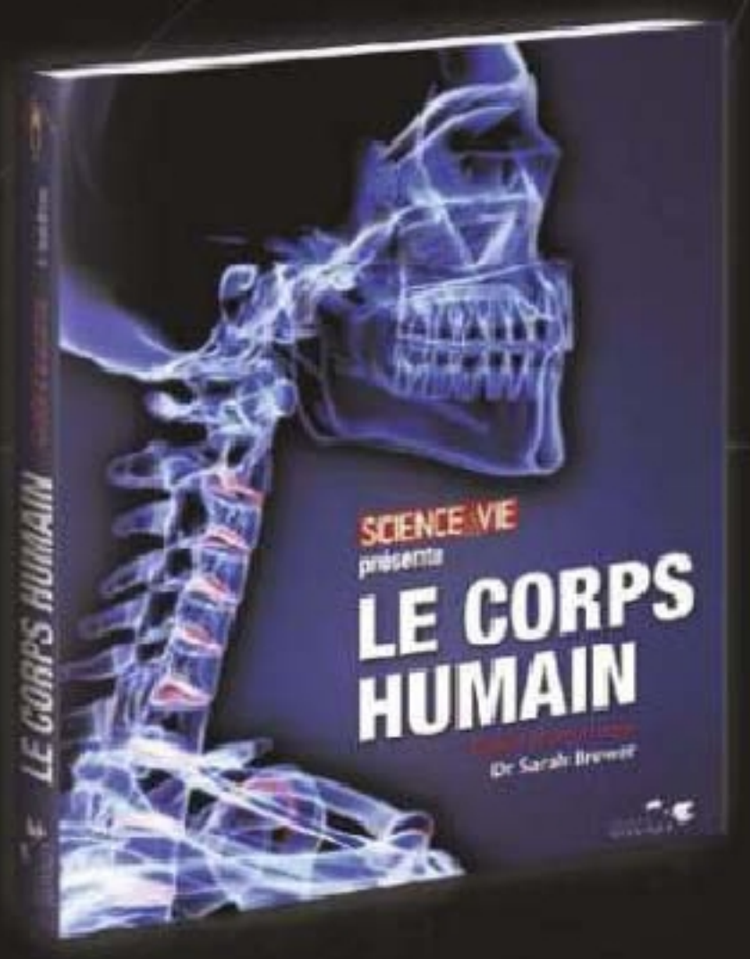
[NOUVEAU !]

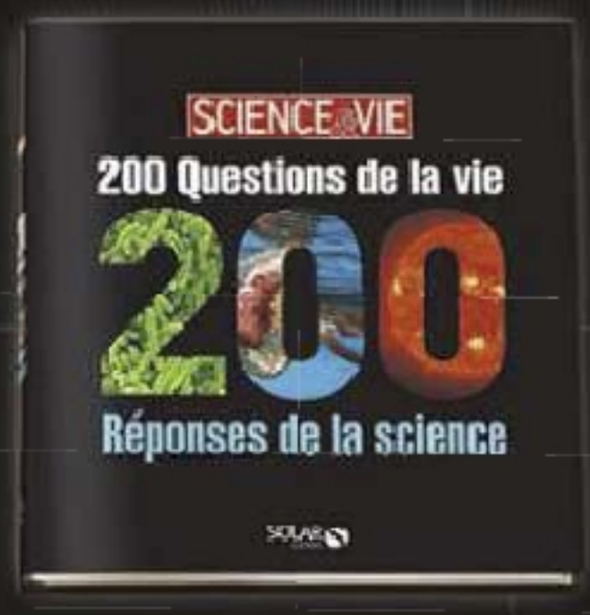
Livres, idées cadeaux, objets scientifiques ou insolites

MAINTENANT EN LIGNE,
RETROUVEZ TOUS LES PRODUITS DE SCIENCE&VIE SUR

www.laboutiquesciencesetvie.com

FRAIS D'ENVOI OFFERTS* JUSQU'AU 15/06/2012 !





*valable exclusivement sur internet

SCIENCE&VIE | LES CAHIERS SCIENCE&VIE | SCIENCE&VIE GUERRES & Histoire | SCIENCE&VIE JUNIOR | SCIENCE&VIE découvertes

SCIENCE & VIE
Nº 1118
NOVEMBRE 2010

"PILULES DE LAZARE" LEUR EFFICACITÉ SE CONFIRME

Ces molécules capables de "réveiller" des patients atteints de graves lésions cérébrales défient la médecine. Pour la première fois, des essais cliniques, menés avec un antiviral, apportent des résultats chiffrés. Et ils sont encourageants !

L.OLIGNY/BSIP

Nous avions consacré un long article, en novembre 2010, aux expériences extraordinaires vécues par des patients plongés dans des états de conscience altérée. Atteints de graves lésions cérébrales, ceux-ci étaient plongés dans des états quasi végétatifs, pratiquement incapables de communiquer ou de contrôler leurs gestes. Or, tous bénéficiaient de traitements médicamenteux pour les aider à sortir de leur torpeur. Avec des résultats qui défiaient les connaissances médicales, puisque certains d'entre eux récupéraient pleinement leur état de conscience alors que le pronostic était des plus sombre. Pourtant, l'utilisation de ces molécules, surnommées "pilules de Lazare" – en référence au fameux "lève-toi et marche" évangélique – restait très expérimentale.

SORTIS D'UN ÉTAT VÉGÉTATIF

Tous les neurologues insistaient d'ailleurs sur la nécessité de réaliser des essais cliniques comparatifs entre patients traités et non traités. C'est chose faite pour l'une de ces molécules, l'amantadine. Développé à l'origine comme antiviral contre la grippe, ce médicament dont le mode d'action reste mystérieux est aujourd'hui devenu l'un des traitements de référence contre la maladie de Parkinson. Une étude internationale, coordonnée par l'école de médecine de Harvard (Etats-Unis) a été menée dans onze hôpitaux sur 184 patients, tous victimes de lésions cérébrales récentes et plongés dans des états quasi végétatifs. Ces malades, qui bénéficiaient d'une rééducation classique, ont été répartis en deux groupes durant quatre semaines : l'un avec des prescriptions de doses croissantes d'amantadine (de 200 à 400 mg/jour), et l'autre mis sous placebo. Des tests moteurs et psychologiques évaluaient l'évolution de leur état jusqu'à la fin de l'expérience. Globalement, après quatre semaines de traitement, le pourcentage de patients toujours en stade végétatif était de 18,6 % dans le groupe traité, contre 31,6 % dans le groupe placebo. Il apparaît donc que la prise d'amantadine accélère de façon significative l'amélioration de l'état de ces patients.

^ L'utilisation de ces médicaments est plus que jamais porteuse d'espoirs pour les patients en état de conscience altérée.

Le mode d'action de la molécule reste à éclaircir, même si des neurologues soupçonnent qu'elle jouerait indirectement un rôle dans l'autoréparation du cerveau en agissant sur la croissance de nouveaux neurones. Reste aussi à savoir si un traitement prolongé au-delà de quatre semaines aurait des effets favorables à long terme. **C.T.**

ÉDITION SPÉCIALE

En vente actuellement

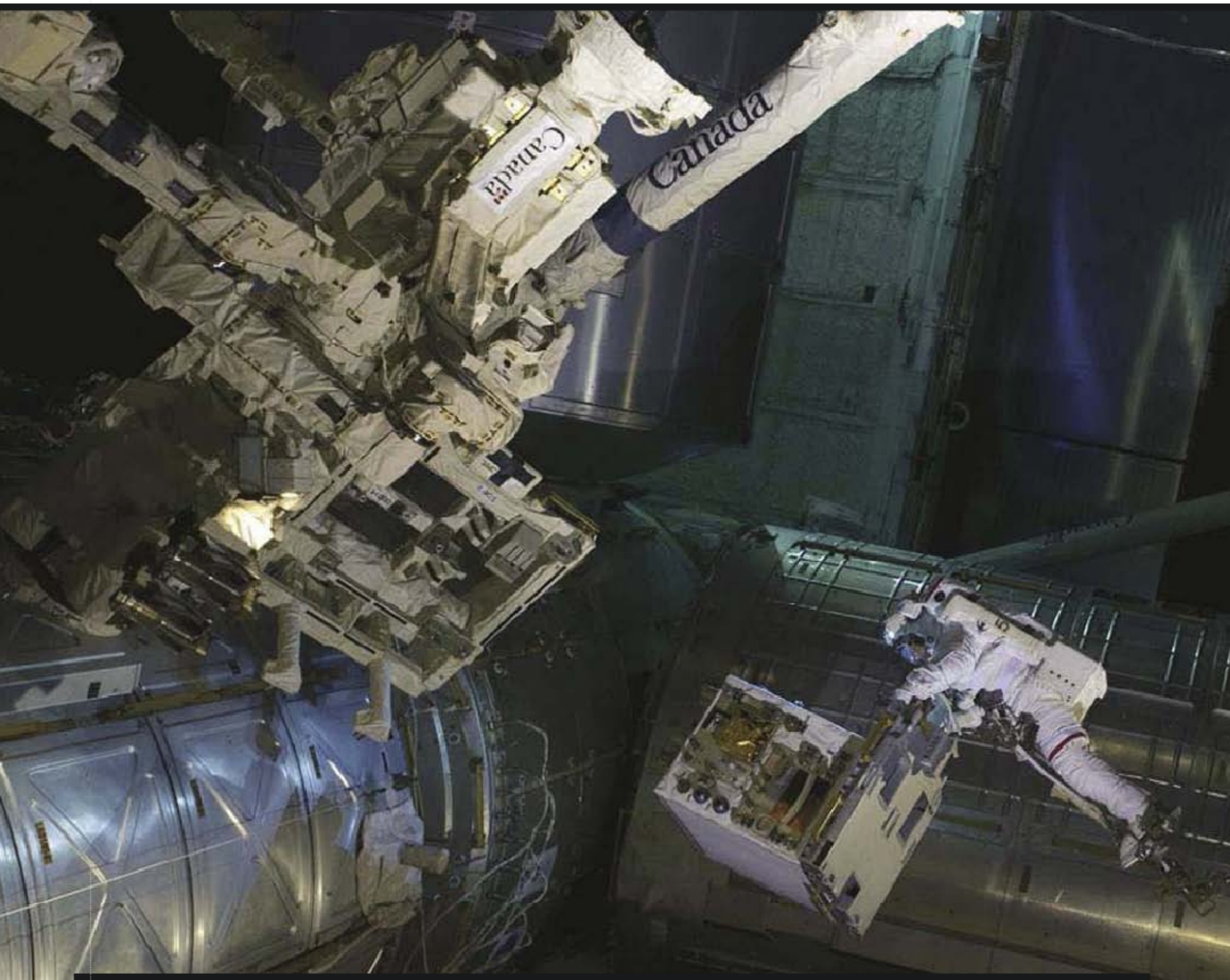
actus

technos

NANOMATÉRIAU

DES CAPTEURS DE CHALEUR S'INSPIRENT DES PAPILLONS

Le capteur du futur aura la forme… d'une aile de papillon ! En étudiant au microscope les complexes nanostructures qui donnent leur brillance aux ailes des lépidoptères, l'équipe de Radislav Potyrailo, du centre de recherche de General Electric, aux Etats-Unis, a réussi à modéliser la manière dont elles réfléchissent les rayons lumineux. Celle-ci dépend directement de la température ambiante. *"Ces structures sont dotées de ramifications qui bougent par expansion thermique, ce qui change les longueurs d'onde absorbées ou émises, et donc la couleur des ailes*, explique le chercheur. *Surtout, cela fait d'elles d'excellents détecteurs de chaleur !"* En dispersant des nanotubes de carbone à la surface de ces nanostructures, l'équipe est même parvenue à amplifier le phénomène, jusqu'à pouvoir mesurer des variations de température de 0,02 °C. Mais pour espérer fabriquer de tels capteurs en grande quantité, reste à reproduire, à l'aide de nanomatériaux, le motif ciselé de ces nanostructures dans toute sa finesse. Les chercheurs sont déjà en train de tester différentes méthodes de gravure… Avec d'autant plus d'empressement qu'ils ont découvert que les ailes de papillon ont un autre pouvoir : la lumière qu'elles réfléchissent varie en fonction de leur environnement chimique. Elles sont donc, en prime, des capteurs de gaz. **M.F.**



INGÉNIERIE SPATIALE

LE ROBOT-POMPISTE PREND DATE

Trois jours pour ouvrir un bouchon ! Rien d'impressionnant ? C'est pourtant la prouesse que vient de réaliser Dextre, le robot bricoleur de la Station spatiale internationale. Début mars, il a testé une procédure qui permettrait de ravitailler en carburant les satellites de télécommunications, alors même qu'ils poursuivent leur course autour de la Terre. L'enjeu est de taille car, selon la Nasa, la panne sèche est la principale cause de fin de vie de ces engins à plusieurs centaines de millions d'euros. Lors de la mission Orbital Express, en 2008, l'agence spatiale avait montré que du carburant pouvait être transféré d'une sonde à une autre, en vol. Restait à trouver le moyen d'atteindre le réservoir… C'est fait : Dextre a su couper et écarter les couches de matériaux isolants d'une maquette de satellite envoyée sur la Station en juillet dernier (ci-dessus, tenue par un astronaute). Il a ensuite glissé un crochet miniature dans un interstice d'un millimètre et sectionné les fils recouvrant le bouchon du réservoir. Prochaine étape, cet été : raccorder le bouchon à un tuyau et actionner une pompe pour transférer du carburant dans le faux satellite. **M.F.**

^ Dextre, le bras bricoleur de l'ISS (en haut à g.), a réussi une procédure de ravitaillement de satellite.

TRANSISTORS SANGUINS

Les protéines de sang, de lait et de mucus ont des capacités d'auto-assemblage telles que des chercheurs de l'université de Tel-Aviv ont réussi à les combiner pour fabriquer un film semi-conducteur nanométrique. Celui-ci pourrait servir à la fabrication de transistors, remplaçant le silicium dans des applications de bioélectronique. **S.F.**

COUSSIN D'AIR ANTISISMIQUE

Un "airbag" pour protéger les maisons des séismes : voilà l'idée de la firme nippone Air Danshin. Constitué d'un capteur détectant le séisme en moins d'une seconde, d'un compresseur et d'une soupape d'air intérieure, le système peut soulever les fondations d'une maison jusqu'à 3 cm au-dessus du sol. **J.J.**

DES DRONES ÉCOLOGIQUES

Quatre robots marins ont établi un record du monde en parcourant chacun, en parfaite autonomie, 5 926 km entre San Francisco et Hawaï, tout en mesurant l'acidité des eaux. Conçus par Liquid Robotics, ces drones écologiques puisent leur énergie motrice dans la houle. De quoi révolutionner la recherche océanographique. **S.B.**

RECYCLAGE

UN LASER EFFACEUR D'ENCRE "DÉSIMPRIME" LE PAPIER

Photocopies, impressions, fax... Tout ce papier utilisé pourrait bientôt ne plus avoir à passer par la case recyclage. Une équipe de l'université de Cambridge a trouvé le moyen d'effacer des papiers imprimés pour les rendre réutilisables. Leur solution ? Un laser à impulsions ultrarapides, qui s'attaque à l'encre et entraîne sa vaporisation, n'en laissant qu'une fine couche, invisible, pour ne pas abîmer le papier. Ce procédé fonctionne quels que soient le papier et l'imprimante, contrairement à un système commercialisé par Toshiba qui nécessite une encre spéciale. *"L'opération peut être répétée au moins trois fois sur un même document avant qu'il ne se dégrade"*, précise David Leal-Ayala, qui dirige l'équipe. Cela permettrait d'éliminer plusieurs étapes du cycle de fabrication du papier, et *"les émissions de gaz à effet de serre qu'entraîne le recyclage seront réduites de moitié"*, précise-t-il. Mais il va falloir être patient : le coût du prototype qui doit être fabriqué est évalué à 23000 euros. **G.S.**

< Une fois la couche d'encre vaporisée par le laser, les fibres du papier réapparaissent.

NASA - J.ALLWOOD/UNIVERSITY OF CAMBRIDGE - CHAMTECH

TÉLÉCOMMUNICATIONS

ILS ONT INVENTÉ L'ANTENNE EN SPRAY

Une peinture en spray capable de transformer toute surface en antenne : voilà ce que propose le spécialiste en solutions technologiques pour l'armée américaine ChamTech Operations. Cette peinture est composée de milliers de nanocondensateurs (des composants électroniques) qui, une fois pulvérisés, se chargent et se déchargent très vite afin de faire passer le signal. Testé sur le tronc d'un arbre, le spray a permis une transmission en VHF (très hautes fréquences) avec un avion à 22 km d'altitude. Il est aussi capable d'améliorer les performances d'antennes déjà existantes. Selon Anthony Sutera, l'un de ses créateurs, la réception du signal d'un iPhone 3G a ainsi été améliorée de 10 %. **E.T.-A.**

QUAND LA SCIENCE JOUE LES APPRENTIS SORCIERS

Par Elsa Abdoun

Plus de soixante ans après Hiroshima, le potentiel destructeur des technologies modernes semble encore nous surprendre. Sauf que l'angoisse provient, cette fois, des biotechnologies. Deux équipes de chercheurs indépendants, appartenant à des universités néerlandaise et américaine, ont en effet chacune mis au point, afin de mieux étudier son danger, un virus de la grippe aviaire qui pourrait être transmissible d'homme à homme. Or, c'est parce que les oiseaux l'ont jusqu'à présent transmis rarement aux humains que le virus H5N1 n'a fait "que" quelques centaines de morts dans le monde depuis 2003. S'il pouvait se disséminer entre hommes par voie aérienne, ce virus, qui tue environ la moitié des personnes qu'il infecte, jouerait alors dans la cour des grands fléaux, au côté de la peste noire ou de la grippe espagnole…

Les chercheurs qui ont donné naissance à un tel monstre s'apprêtaient récemment à en publier la recette détaillée dans des revues scientifiques, accessibles sur Internet pour quelques dizaines de dollars. Craignant l'utilisation de ces informations à des fins terroristes, le Comité scientifique américain de biosécurité (NSABB) a recommandé en décembre dernier, pour la première fois depuis sa création en 2004, de ne pas publier les détails de la méthodologie. Un intense débat sur les dangers liés à la publication de travaux scientifiques sensibles a donc animé ce début d'année, des laboratoires de recherche à la presse grand public.

Mais le vrai problème se cache ailleurs. Car les doutes se sont rapidement étendus à la pertinence même de telles recherches, dont les bénéfices espérés (l'évaluation et la surveillance des risques naturels de pandémie ou le développement d'un vaccin) pourraient finalement ne pas justifier les risques qu'elles font désormais peser… Un débat essentiel, qui aurait dû être tranché il y a dix ans, avant que les travaux ne soient lancés ! Certes, quelques comités scientifiques, dépendant d'instituts de recherche nationaux ou d'universités, avaient alors évalué, chacun de leur côté et avec leurs propres critères, la sécurité de ces travaux. Mais le débat soulevé aujourd'hui est la preuve qu'un tel système de contrôle ne suffit pas. Ce que pointait d'ailleurs dès 2004 le rapport américain Fink, qui traitait du problème des recherches sensibles dans le domaine des biotechnologies. Celui-ci recommandait la mise en place de comités d'experts interdisciplinaires et internationaux pour juger de la pertinence de ces recherches et de leur balance bénéfices/risques, à la manière du panel d'experts indépendants de l'OMS surveillant celles menées sur le virus de la variole. Rien n'a malheureusement encore été mené dans ce sens…

> LA "RECETTE" D'UN NOUVEAU VIRUS H5N1 A FAILLI ÊTRE MISE EN LIGNE

C'est d'autant plus grave que, dans ce domaine, les risques (utilisation des données par des organisations terroristes, dissémination accidentelle de virus…) sont énormes. Fin mars, des experts de la santé publique mondiale, du virus de la grippe et des questions de bioéthique, réunis de manière exceptionnelle, avaient cependant conclu que les recherches sur le H5N1 méritaient d'être menées et devaient être poursuivies. Ouf, la face est sauvée. Mais la confiance du public devrait en sortir, à juste titre, copieusement entamée. S.AQUINDO

ABONNEZ-VOUS À SCIENCE & VIE

55 € seulement au lieu de 105.20 €*

1 an d'abonnement
+ 4 hors-séries

[Recevez ce haut-parleur rechargeable]

UNE RÉDUCTION DE **47 %**

+

LE HAUT-PARLEUR RECHARGEABLE, PLUS BESOIN DE PILES !

Compact : emmenez vos enceintes portables partout avec vous.
Vous pouvez les connecter à un ordinateur ou un lecteur de musique portable (Ipod, Iphone).
3 heures d'autonomie.

Haut-parleur rechargeable, 2 hp stéréo 2,2W, batterie Lithium, LED de fonctionnement.

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

C 1135B

☐ **Oui, je m'abonne à Science & Vie pour 1 an**
(12 numéros + 4 hors-séries + 2 éditions spéciales)
+ le haut-parleur pour seulement 55€ au lieu de ~~105,20 €~~ **soit plus de 47 % de réduction**

+

613 687

☐ **Je préfère seulement m'abonner à Science & Vie**
pour 1 an (12 n° + 4 HS) pour 49 € au lieu de ~~70,20€~~*
(prix kiosque) soit 30 % de réduction

613 695

☐ **Je commande uniquement le haut-parleur**
au prix de 35€ et je joins à mon courrier le règlement total de ma commande

613 703

SCIENCE & VIE

PLUS D'OFFRES ET D'AVANTAGES SUR www.kiosquemag.com

➤ **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) ☐

➤ **Mode de paiement :** ☐ Chèque bancaire ou postal à l'ordre de Science & Vie

☐ CB ☐☐☐☐ ☐☐☐☐ ☐☐☐☐ ☐☐☐☐

Expire à fin ☐☐ ☐☐ Code Crypto ☐☐☐
Les 3 chiffres au dos de votre CB

Date et signature obligatoires

*Prix public et prix de vente en kiosque. Offre valable pour un 1er abonnement livré en France métropolitaine jusqu'au 31/05/2012 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-séries au prix de 4,90€. Le haut-parleur 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 le haut-parleur. 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 - 8 rue François Ory 92543 MONTROUGE CEDEX - Mondadori Magazines France SAS RCS 472 791 262 NANTERRE.

CUIVRE, OR, ZINC, PLATINE, URANIUM, PHOSPHORE...

ALERTE À LA PÉNURIE !

Les 26 minerais qui vont nous manquer

Combien de temps l'humanité peut-elle encore exploiter les richesses de la Terre ? La question a cessé d'être théorique : dès à présent, la pénurie se profile pour 26 matières premières, et non des moindres ! Irréversible, ce constat géologique met le monde au défi : celui de perdurer à l'ère du manque.

Jusqu'à présent, la recette avait fait ses preuves: prenez une planète tellurique de 13000 km de diamètre; farcissez son écorce de 88 éléments chimiques; mélangez bien pour former plus de 4000 sortes de minéraux; puis garnissez le tout d'environ 3000 milliards de barils de pétrole à portée de forage… Et vous ferez le bonheur et la prospérité de milliards d'humains attablés au festin de ces ressources souterraines.

De fait, les Terriens n'ont encore jamais manqué de rien: depuis le début de la révolution industrielle, au XIX^{e} siècle, les chemins de fer n'ont cessé de s'étendre, les immeubles de s'élever, les fils de cuivre des réseaux électriques et de télécommunication de s'étirer… tandis que se multiplient aujourd'hui les outils high-tech gorgés des métaux les plus précieux (comme l'or), jusqu'aux plus improbables (qui connaît l'yttrium?). Et le plus étourdissant c'est que, même si la demande mondiale de minerais a été multipliée par 27 depuis le début du XX^{e} siècle, les mineurs parviennent encore à la satisfaire. Que la Chine et l'Inde se →

PAR BORIS BELLANGER ET VINCENT NOUYRIGAT

FOTOLIA - J.MARIOTTA/ALL CANADA PHOTOS/CORBIS

UN MONDE AUX RESSOURCES FINIES

A première vue, compte tenu de ses majestueuses dimensions et de notre petitesse, difficile d'imaginer qu'il existe une limite à ce que la Terre peut nous fournir… Mais les travaux des géologues permettent de voir la réalité telle qu'elle est. A savoir que les ressources réellement à notre portée ne représentent qu'une infime partie de ce qui constitue notre planète. Exercice de déconstruction…

→ convertissent dans les prochaines décennies au modèle d'opulence occidental (chaque Américain mobilisant quelque 240 kg de cuivre), et l'on trouvera toujours un ingénieur pour annoncer qu'il relève le défi! Mais est-ce si sûr? De nombreux signes montrent en fait que ce sentiment d'abondance n'est qu'une illusion (voir infographie ci-contre). Que l'humanité ne pourra plus pomper longtemps la croûte terrestre au rythme exponentiel de sa consommation sans se heurter aux limites de la géologie. Du jour au lendemain, certains de nos besoins pourraient ne plus être assouvis. Du jour au lendemain? Il se pourrait même que ce soit à partir de… maintenant.

TECHNOLOGIE, ÉCONOMIE DE MARCHÉ ET GÉNIE HUMAIN: LA MARTINGALE N'OPÈRE PLUS

Le débat n'est pas nouveau. Depuis deux siècles, cornucopiens et malthusiens s'affrontent. Entendez par là, d'un côté les éternels optimistes (le terme vient de corne d'abondance) qui pensent que l'on arrivera toujours à s'accaparer les ressources dont on a besoin; de l'autre, les sempiternels pessimistes, à l'image de Thomas Malthus qui, dans son *Essai sur le principe de population*, en 1798, prévoyait les pires maux à la société: en cause, le manque de terres fertiles face au boom démographique.

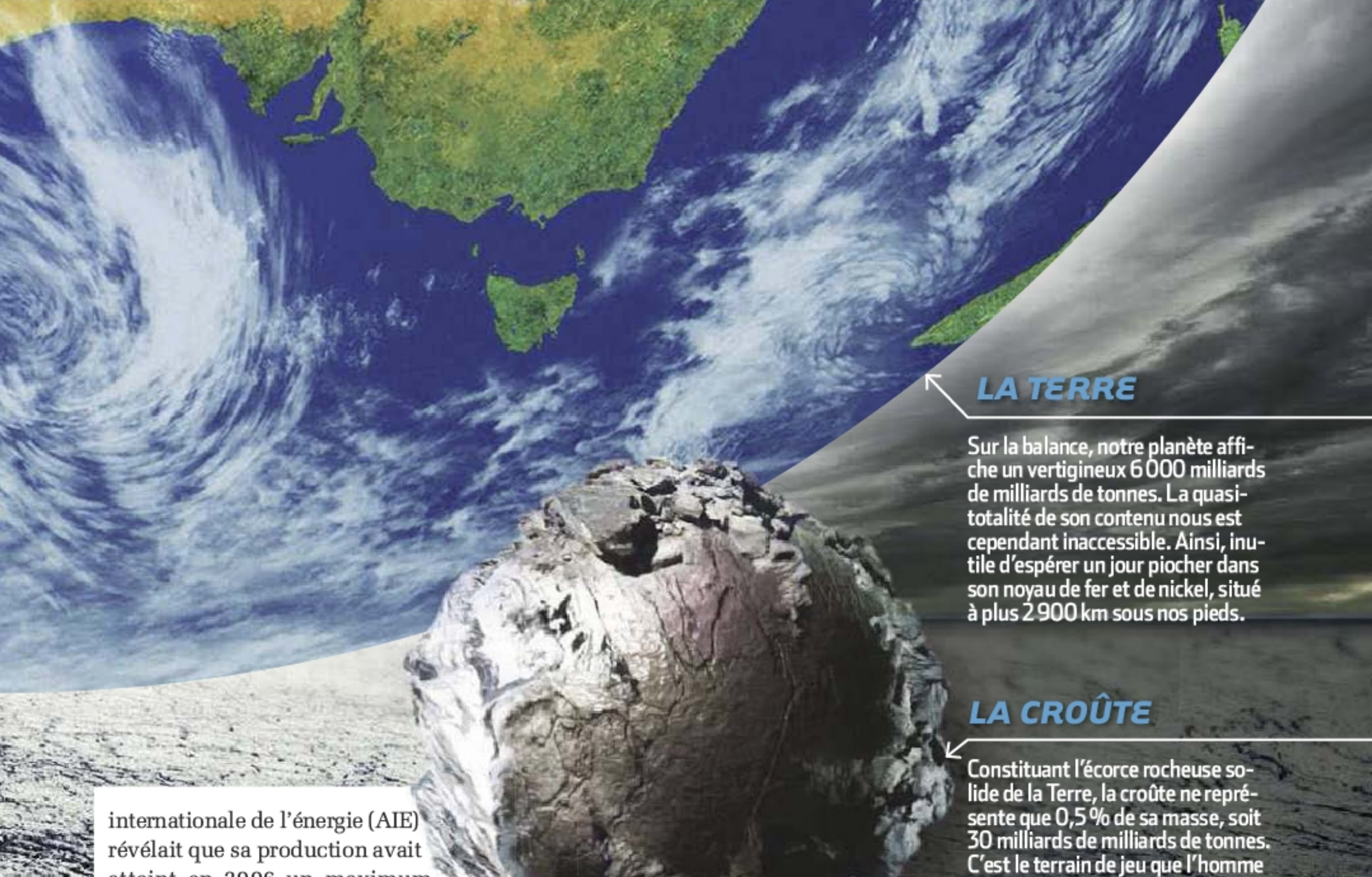
Au regard du passé, force est de constater que l'avantage est… aux optimistes. Car jusqu'à présent, les mécanismes du marché chers aux cornucopiens ont prévenu toute apparition de pénurie. En effet, la rareté de la matière première faisait mécaniquement grimper les prix, poussant à développer la prospection et les méthodes d'extraction – l'efficacité du forage a été multipliée par 90 au siècle dernier. L'équilibre offre/demande se rétablissait alors de lui-même. Telle est la martingale cornucopienne: sous l'effet conjugué de l'économie de marché, de la technologie et du génie humain, le spectre du manque semble systématiquement pouvoir être repoussé. Alors, pourquoi penser que cette belle mécanique puisse s'arrêter? Parce que cuivre, phosphore, uranium, or, zinc, ainsi que d'autres éléments, toujours plus nombreux, montrent des signes annonciateurs du manque. Des signes de notre entrée dans une nouvelle ère, celle des malthusiens.

DES PRODUCTIONS QUI PLAFONNENT

Certes, chacun a en tête les prévisions alarmistes et jamais réalisées de Cassandre en tout genre. Malthus bien sûr, mais aussi William Jevons, qui annonçait en 1865 l'épuisement imminent des mines de charbon en Angleterre; le rapport "Halte à la croissance?" du Club de Rome qui, en 1972, grâce à des modèles numériques, prévoyait d'ici à l'an 2000 la disparition du pétrole, du cuivre, de l'étain. Sauf que, cette fois-ci, c'est différent! Cette fameuse pénurie que les malthusiens croient toujours voir venir et que les cornucopiens espèrent toujours voir s'éloigner n'est plus une notion abstraite. Elle est en train de se concrétiser sous nos yeux avec le tarissement en cours de l'autre grand trésor de notre planète, notre principale ressource énergétique: à savoir le pétrole.

Le constat est même officiel concernant le pétrole conventionnel, soit 80 % de la production mondiale actuelle. En novembre 2010, l'Agence

M.BERCEAU/CETTE ANYFORM DESIGN



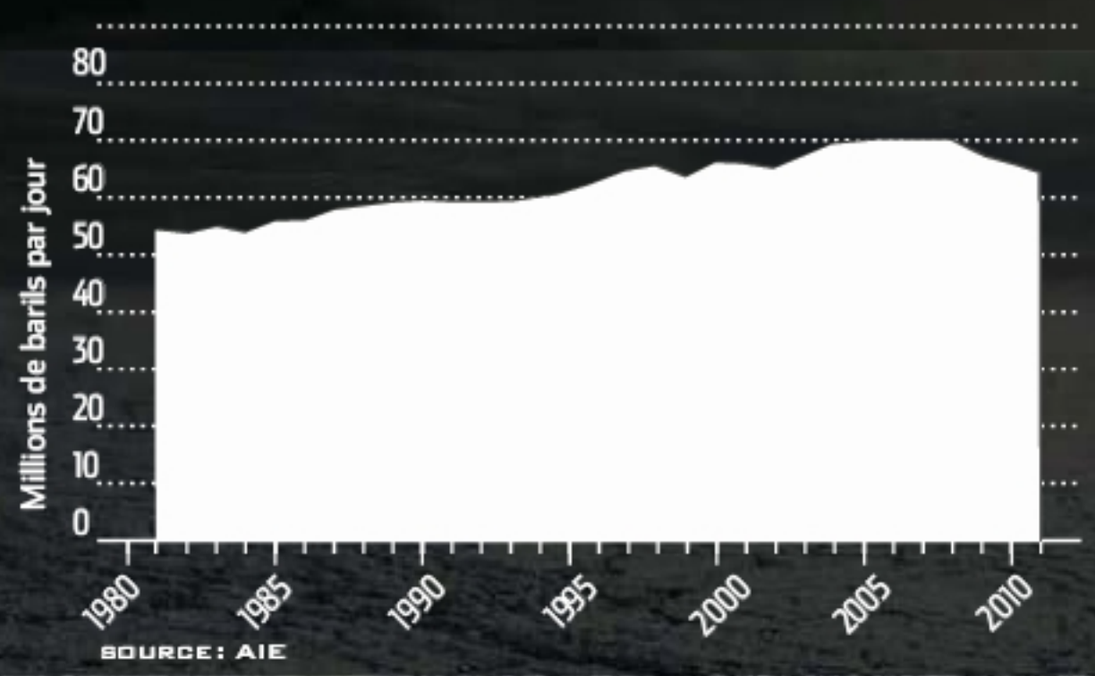
internationale de l'énergie (AIE) révélait que sa production avait atteint en 2006 un maximum (graphique 1, p. 56) qu'elle ne retrouvera *"jamais"*, *dixit* la prudente institution. Oui, plus jamais ! Alors que la demande continue d'augmenter, l'offre est vouée à plafonner et même à s'effondrer si des efforts surhumains ne sont pas entrepris. Quand bien même les réserves restantes semblent mirifiques, elles seront trop difficiles et lentes à extraire, car seule la taille du robinet compte. Or, quand l'offre ne peut plus répondre aux besoins, la pénurie guette, la rareté surgit, la finitude du monde se rappelle à chacun de nous… Bref, c'est Malthus au pays de l'or noir.

Pour Ugo Bardi, chercheur en chimie à l'université de Florence, le pétrole n'est que la première d'une longue liste de matières premières appelées à nous manquer. Car ce phénomène serait universel : *"Les processus d'extraction, du pétrole ou des autres ressources minérales, sont soumis aux mêmes paramètres physiques et économiques. La notion de pic de l'or, du cuivre ou du phosphore a donc du sens. A un certain stade, la société ne peut* →

RESSOURCE EN VOIE DE PÉNURIE : LE CAS ARCHÉTYPIQUE DU PÉTROLE

1 La production plafonne

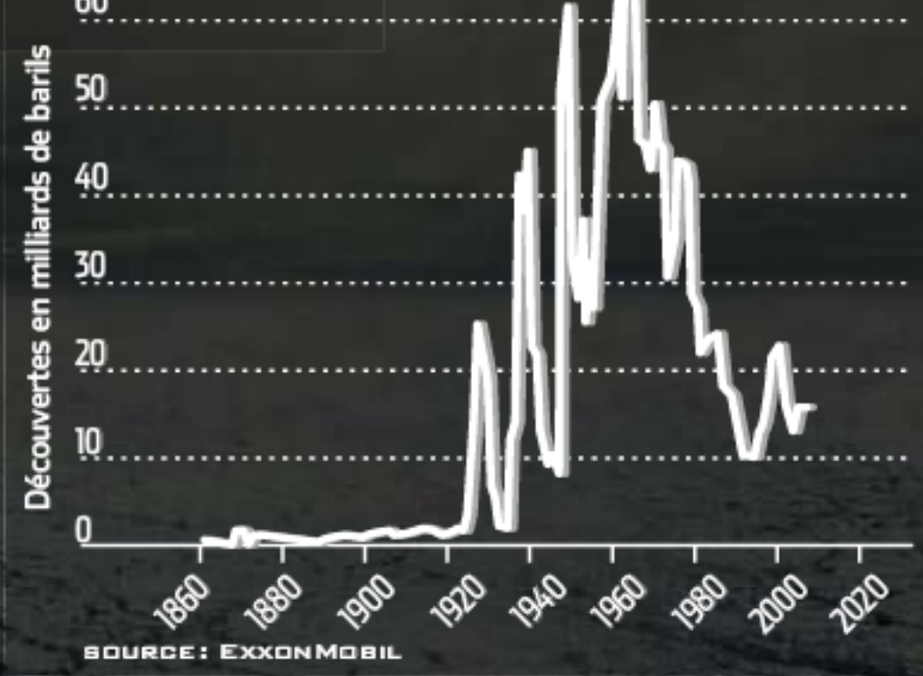
Selon l'AIE, le pétrole conventionnel – à l'origine de 80 % de l'offre totale – a atteint son pic de production en 2006. Mais la demande, elle, ne faiblit pas…



SOURCE : AIE

2 On découvre de moins en moins de gisements de pétrole

Les plus grands gisements pétroliers ont été découverts en premier, l'année la plus prolifique étant à ce titre 1964. Malgré des efforts d'exploration incessants, on ne découvre plus désormais que des réservoirs secondaires.



SOURCE : EXXONMOBIL

→ *plus allouer suffisamment de capitaux pour répondre à la croissance de la demande.”* Le parallèle est audacieux et controversé. Ne serait-ce que parce que, à la différence du pétrole qui est brûlé, les métaux peuvent être recyclés. Il n'empêche : le cas des minerais présente des symptômes troublants de similitude avec celui du pétrole…

Premier signe annonciateur : la maigre liste des gisements nouvellement découverts. C'est notamment grâce à

LE PÉTROLE N'EST PLUS LE SEUL DONT L'AVENIR SOIT HYPOTHÉQUÉ, LOIN S'EN FAUT

cette liste que, dès 1998, deux géologues pétroliers à la retraite, l'Américain Colin Campbell et le Français Jean Laherrère, un ancien de Total, avaient magistralement prévu le pic du “pétrole bon marché” observé en 2006. *“Il suffit d'extrapoler la future courbe de production à partir des données des découvertes de réserves”*, explique Jean Lahérrère. Dans le cas du pétrole, le maximum des découvertes remonte à… 1964 (graphique 2). Pis, depuis les années 1980, l'humanité consomme plus de pétrole qu'elle n'en découvre. Or, comme le relève Robert Gordon, chercheur en géologie à l'université Yale : *“Ce constat vaut aussi pour certains métaux, comme le cuivre.”*

Second signe du manque : l'épuisement des grands gisements, alors que ceux-ci apportent une contribution essentielle à la production mondiale. Le cas du pétrole est maintenant bien documenté (graphique 3)… Rappelant le tarissement de quelques sites emblématiques. A l'image de la fabuleuse mine de cuivre suédoise de Stora Kopparberg, qui alimenta toute l'Europe des XVIe et XVIIe siècles avant de fermer en 1992. Ou les mythiques filons d'or en voie d'épuisement de la province du Rand en Afrique du Sud… Si l'homme est encore loin d'avoir vidé la Terre, il semble en avoir déjà consommé les meilleures pépites !

Troisième indice édifiant : l'évolution des prix. Une étude publiée dans *Nature* en janvier montre que, depuis 2005, la production de pétrole n'a pas gagné à la flambée des cours du brut (graphique 4). L'un de ses auteurs, James Murray, de l'université de Washington, nous confie que *“l'analyse de quelques métaux, comme l'or ou le cuivre, laisse entrevoir le même phénomène”*.

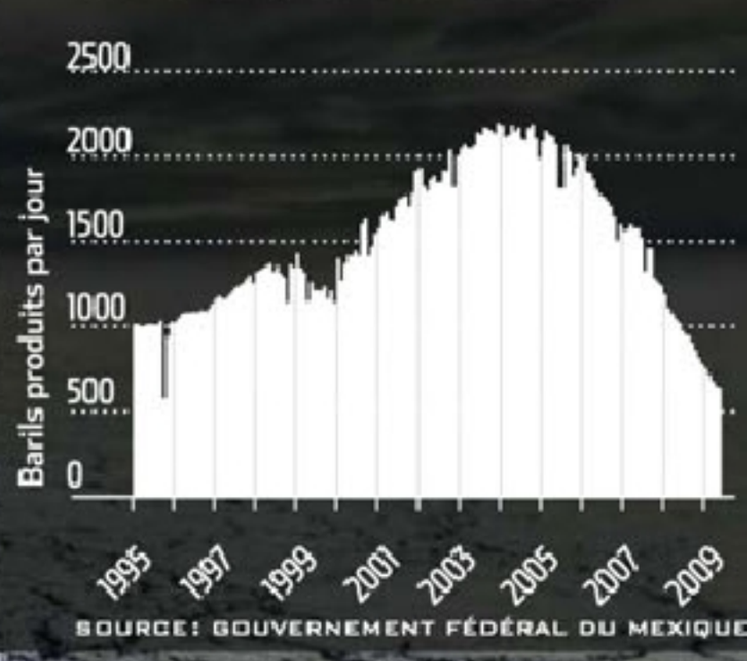
ET LA DEMANDE CONTINUE D'EXPLOSER

Enfin, le dernier symptôme malthusien se cache dans l'énergie qu'il faut désormais déployer pour récupérer une même quantité de matière. S'agissant du pétrole, ce facteur n'a cessé de croître, jusqu'à rendre la course à la production éreintante (graphique 5). Un constat amer qui s'applique aux minerais. Comme le souligne Robert Gordon, *“dans la plupart des régions du monde, tout le cuivre à l'état de métal natif pur a été récupéré à l'époque préhistorique”*. *Idem* pour le fer pur, prêt à être martelé. Les métaux exploités aujourd'hui se trouvent donc sous formes d'oxydes et de sulfures qu'il faut extraire de leur gangue rocheuse, électrolyser puis raffiner avec force produits chimiques. Sachant que *“la*

FOTOLIA - M.KONTENTE

3 Les grands gisements sont en train de s'épuiser

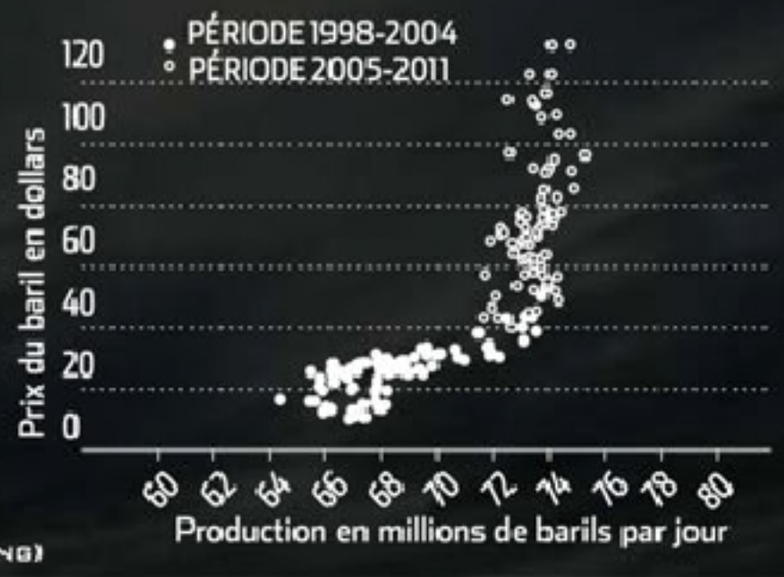
A l'image du champ mexicain de Cantarell (courbe d'exploitation ci-dessous), le deuxième plus important au monde, la majorité des grands gisements est entrée dans une phase de déclin de la production (–6,5 % par an, en moyenne). Or ce sont ces mastodontes qui depuis des décennies tirent la production mondiale.



SOURCE: GOUVERNEMENT FÉDÉRAL DU MEXIQUE

4 Le mécanisme des prix ne compense plus

Une étude montre que, depuis 2005, la flambée des prix du brut (+15 % par an) n'a pas permis aux pétroliers d'augmenter leur production pour répondre à la demande croissante. Comme s'ils se heurtaient à un mur…



SOURCE: NATURE (J. MURRAY ET D. KING)

5 L'extraction devient de plus en plus difficile

Plus profonds, plus visqueux, plus enchevêtrés : les pétroles exploités aujourd'hui réclament plus d'énergie pour être extraits. Il faut fournir un baril d'effort pour 18 barils de pétrole, contre 100 dans les années 1930.

SOURCE: CHARLES HALL, UNIV. DE NEW YORK

teneur en métaux de ces gisements ne cesse de décroître, ce déclin va fatalement continuer", soupire Gavin Mudd de l'université de Monash (Australie). D'autant que remuer plus de terre exige plus d'énergie… L'industrie minière dévore déjà – selon les sources – entre 4 et 10 % de la production d'énergie primaire mondiale.

Or, il est difficile de croire que l'homme pourra exploiter indéfiniment des gisements à la teneur toujours plus faible, du moins pour certains métaux rares. En fait, *"l'immense majorité des éléments métalliques du sous-sol est disséminée dans les roches classiques,* explique Brian Skinner, professeur de minéralogie à Yale. *Dans cette configuration, extraire des métaux réclame une énergie au moins dix fois supérieure que dans un gisement."* Et d'ajouter: *"Je ne suis pas optimiste sur la capacité de l'industrie à franchir cette 'barrière minéralogique'."* D'autant que la fin du pétrole bon marché risque de mettre nombre de minerais hors d'atteinte, entraînant une cascade de pénuries…

Chute des découvertes, épuisement des grands gisements, impuissance du marché, coût énergétique croissant… Toutes ces tendances préoccupantes ont, depuis environ cinq ans, trouvé un écho dans le monde de la recherche et de l'industrie. La crainte d'une rupture des stocks est palpable : les Etats-Unis, l'Europe et le Japon multiplient les rapports sur leur approvisionnement. Outre les questions géopolitiques liées au monopole chinois sur l'extraction de certains métaux, l'explosion de la demande concentre les inquiétudes. C'est bien simple: à l'échelle du globe, il faudra pouvoir extraire dans les vingt ans à venir plus de minerais que durant toute l'histoire de l'humanité! Or, l'appétit des métallurgistes se porte sur une palette toujours plus large de métaux: quand seuls dix éléments métalliques du tableau de Mendeleïev trouvaient une application dans les années 1980, une cinquantaine sont maintenant siphonnés. Il en va des performances des ordinateurs, des moteurs d'avions, ou des appareils d'imagerie médicale.

Et dans ce tableau périodique sollicité comme jamais, les cases s'allument les unes après les autres, comme autant de signaux d'alarme…

L'EAU, L'AIR ET LA TERRE AUSSI…

Parmi les quatre éléments antiques, le feu (qui pourrait correspondre à notre pétrole) n'est pas le seul à être menacé par l'appétit des hommes. La terre est soumise à une érosion accélérée par l'agriculture, le sol de certaines régions étant emporté 100 fois plus vite qu'il ne lui faut de temps pour se former. Quant à l'eau: l'exploitation des réserves souterraines non renouvelables à notre échelle de temps a été multipliée par trois en quarante ans, et assure aujourd'hui 20 % de nos besoins en irrigation. Enfin, si l'air ne devrait pas venir à manquer, sa qualité est toutefois fortement dégradée par nos rejets.

Les ressources de la Terre passées au crible

Le tableau de Mendeleïev recense tous les atomes disponibles sur Terre. Mieux : il les ordonne en fonction du nombre de protons dans le noyau (le chiffre en haut à gauche). De quoi en déduire leurs promesses physico-chimiques : dureté, résistance aux hautes températures, réactivité, etc. En revanche, ce tableau périodique ne dit rien de leur abondance, ni des tensions dont ils sont l'objet… Nous avons "allumé" en orange les éléments en voie de pénurie.

ÉLÉMENT ABONDANT OU PEU UTILISÉ

ÉLÉMENT EN VOIE DE PÉNURIE

LES 26 ÉLÉMENTS QUI VONT NOUS MANQUER

La richesse de la Terre n'est pas infinie… et certaines ressources sont déjà menacées. Voici la liste, inédite, des matières en voie de raréfaction.

Etabli à la fin du XIXe siècle, le tableau périodique des éléments – ou tableau de Mendeleïev, du nom de son inventeur – dresse l'inventaire exhaustif de la diversité des atomes présents sur Terre et, partant, des ressources disponibles. Métaux, terres rares, gaz rares… pas moins de 118 éléments, témoins de la richesse de notre planète. Mais cette richesse n'est, hélas, pas infinie ! Car, à l'instar de la liste rouge mondiale des espèces menacées, voici la liste des matières premières minérales qui pourraient bientôt se faire de plus en plus rares. Une liste bien longue, qui concerne tout à la fois des éléments inconnus du grand public (antimoine, néodyme, indium…) et des piliers de l'évolution millénaire de nos sociétés (or, argent, cuivre…).

Cette liste, nous l'avons établie au terme d'un minutieux travail ayant consisté à croiser les études, traitant de l'état des ressources, qui se sont multipliées ces trois dernières années – signe d'une prise de conscience. Rapports de la Commission européenne, du département de l'Energie des Etats-Unis, du Bureau d'études géologiques britannique, mais aussi articles universitaires plus confidentiels : chaque étude pointe nombre d'éléments dont l'approvisionnement est qualifié de "critique",

G.CIRADE

“à risque” ou “stratégique”. Les critères varient quelque peu car, comme le pétrole nous l’a appris (voir p. 56), le manque est une notion complexe : il existe plusieurs raisons, qui souvent s’additionnent, pour considérer que la disponibilité d’un élément est, ou sera, l’objet d’une tension croissante.

SUR QUELLES RÉSERVES COMPTER ?

Des facteurs d’ordre géologique ou technologique, comme la faible abondance naturelle de ces ressources, la difficulté de leur extraction, le faible niveau (voire l’inexistence) de recyclage, ou la difficulté, quand ce n’est pas l’impossibilité, à remplacer ces éléments. Mais entrent également en compte des considérations géopolitiques et économiques : monopoles, instabilité de pays producteurs, mesures de protection de l’environnement ou explosion de la demande dans les secteurs en forte croissance (*high-tech*, énergies alternatives). Si leur accès est, ou sera bientôt, difficile et coûteux, les éléments mentionnés ne sont toutefois pas menacés d’extinction : aucun ne disparaîtra jamais. Et si l’on peut établir pour chacun le nombre d’années de réserves dont l’homme dispose, à partir des quantités répertoriées et utilisées actuellement, nous ne sommes pas à l’abri d’une surprise, bonne ou mauvaise. Bien sûr, la découverte de gisements, le développement de nouvelles techniques d’extraction ou l’irruption de besoins criants pourraient éloigner ou rapprocher le spectre de la pénurie. Mais, pour l’heure, voici les 26 éléments placés sous surveillance.

CUIVRE

Vers la fin de 10000 ans d'exploitation

Il a permis à l'homme de sortir de l'âge de pierre et il est désormais omniprésent dans notre quotidien. Energie, communications, transports, constructions, électronique… le cuivre est tout à la fois la colonne vertébrale et le système nerveux de nos sociétés. Mais le "métal rouge" pourrait bien ne plus pouvoir tenir longtemps son rôle. Car la croissance de la population et de l'économie mondiale au XXe siècle a fait exploser la demande pour cet élément malléable et très bon conducteur d'électricité. Ainsi, sur près de 600 millions de tonnes de cuivre extraites au cours de millénaires par l'humanité, 98 % l'ont été après 1900!

Et l'avenir s'annonce encore plus friand. Selon un rapport de l'Onu paru en 2010, qui évalue les stocks de métaux immobilisés dans nos sociétés, chaque habitant des pays industrialisés demande 140 à 300 kg de cuivre, tandis que le reste du monde n'en mobilise que 30 à 40 kg par personne. Le rattrapage de pays émergents, comme la Chine, l'Inde ou le Brésil, se traduirait donc par des besoins vertigineux. *"Fournir à l'ensemble du monde le niveau de services rendus aujourd'hui par le cuivre dans les pays développés nécessiterait la conversion de tous les gisements géologiques connus en stock, ainsi qu'un recydage quasi total de ce métal"*, affirme Robert Gordon, de l'université Yale. Jusqu'ici, les mines sont parvenues à délivrer toujours plus de ce précieux métal grâce à de nouvelles découvertes, mais aussi à l'extraction de minerais de moins en moins concentrés en cuivre. Après 10000 ans d'exploitation, inutile d'imaginer ramasser ce métal à l'état pur : il faut désormais se contenter de roches qui en contiennent moins de 1%. Réussir à exploiter des gisements aussi pauvres a permis de multiplier par 25 en cent ans le volume des réserves connues et économiquement exploitables.

APPLICATIONS
Electronique, joaillerie

RESSOURCES PROUVÉES
630 millions de tonnes

PRODUCTION ANNUELLE
16 millions de tonnes

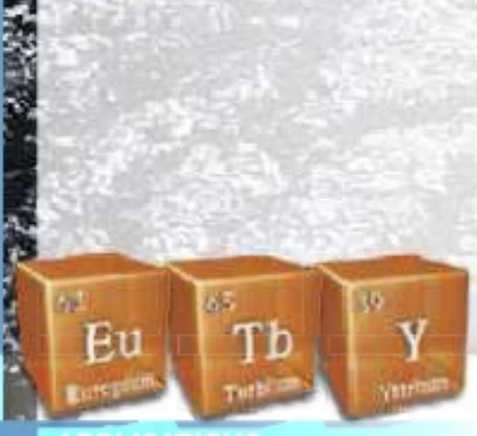
RÉSERVES
38 ans

UN ÉQUILIBRE SUR LE POINT D'ÊTRE ROMPU

Mais, dans le même temps, la demande a été multipliée par 30, passant de 0,5 million de tonnes en 1900 à 16 millions en 2011. De sorte que le "matelas" que procurait l'accroissement spectaculaire des réserves est devenu de plus en plus fin. Dans les années 1940, on estimait ainsi disposer de 60 ans de réserves de cuivre, compte tenu des stocks connus à l'époque et du rythme de production. Aujourd'hui, malgré la mise au jour de nouveaux

EUROPIUM TERBIUM YTTRIUM

Le spectre d'un monde sans lumière



APPLICATIONS
Electronique

RESSOURCES PROUVÉES
Non déterminées

PRODUCTION ANNUELLE
10000 tonnes au total

RÉSERVES
Non déterminées

Sans ce trio d'éléments, il faudrait revenir à la télévision en noir et blanc! Sur nos écrans, en effet, le rouge est renvoyé par l'assemblage europium-yttrium, le bleu par l'europium seul et le vert par le terbium (photo). Problème : *"Après avoir été surexploités pendant plus de 50 ans pour les TV à tube cathodique, ces éléments le sont encore dans les écrans plats plasma et LCD"*, s'alarme Patrice Christmann, responsable des ressources minérales au Bureau de recherches géologiques et minières. Comme s'il était impossible de se passer de leurs propriétés de luminescence! Et, de fait, les nouvelles lampes basse consommation (fluocompactes et LED) en font aussi usage pour gagner en éclat. Si bien que le ministère de l'Energie américain parle de situation "critique" : terbium, europium et yttrium manqueraient avant 2015…

gisements et des techniques d'extraction plus performantes, ce chiffre est tombé à 38 ans ! *"Il ne faut pas voir ce résultat comme signifiant 'combien de temps avant qu'il n'y en ait plus', mais plutôt comme un indicateur relatif utile de l'équilibre actuel entre l'approvisionnement et la demande"*, note Thomas Graedel, chercheur à Yale. Un équilibre qui tend donc à nous être moins favorable, et qui pointe la nécessité de faire rapidement de nouvelles découvertes, au risque de grignoter toute avance. *"Pour qu'il n'y ait pas d'interruption dans l'approvisionnement à long terme, il faut trouver deux à trois fois plus de métal que ce qui est extrait actuellement*, estime Richard Schodde, directeur de la société australienne MinEx Consulting. *Car seule la moitié des gisements découverts est ensuite exploitée."* Sur la dernière décennie, les quantités de cuivre découvertes étaient tout juste deux fois supérieures à celles consommées, mais Richard Schodde prévoit que ce rapport passera sous ce seuil fatidique dans les prochaines années: *"Le nombre de découvertes est en baisse, et il faut entre 5 et 25 ans avant qu'un nouveau gisement soit exploité. Il existe donc un risque réel que l'industrie ait à faire face à des contraintes d'approvisionnement à court terme."* Né du cuivre, "Homo metallicus" est mis au défi de pérenniser son règne...

ANTIMOINE

Des mines polluantes aux ressources bientôt épuisées

Il assure notre sécurité, en servant de retardateur de flamme dans les peintures, les textiles ou les plastiques... mais c'est justement pour des raisons de sécurité que l'antimoine pourrait bientôt faire défaut. La Chine, son principal producteur, a fermé de nombreuses mines et fonderies d'antimoine ces deux dernières années, notamment dans la province du Hunan, qui assure à elle seule 60 % de l'approvisionnement mondial. Et lorsque, une fois ces fonderies remises aux normes, la production redémarrera, cela sera sans doute de courte durée : selon les déclarations officielles, après plus d'un siècle d'exploitation en continu, les mines d'antimoine de la région ne disposeraient plus que de cinq ans de production devant elles.

APPLICATION
Retardateur de flamme

RESSOURCES PROUVÉES
1,8 million de tonnes

PRODUCTION ANNUELLE
169 000 tonnes

RÉSERVES
11 ans

T.GRAY/VISUALS UNLIMITED - M.SCHNEIDER/VISUALS UNLIMITED - G.CIRADE

PHOSPHORE

Indispensable à l'alimentation mondiale

L'enjeu est ici d'une terrifiante simplicité : sans phosphore, pas de vie sur Terre ! Il suffit de penser que cet élément forme la structure même de l'ADN, qu'il pilote la respiration – ainsi que la photosynthèse chez les plantes – ou encore le métabolisme cellulaire. C'est pourquoi chaque être humain en réclame à peu près deux grammes par jour. D'où vient-il ? De l'alimentation – végétale ou animale. Tout part en fait des engrais issus des mines de phosphates qui servent à la croissance des cultures, dont se nourrit au passage le bétail. Et, avertit Jean-Claude Fardeau, de l'Institut national de la recherche agronomique : *"Il n'y a aucun substitut possible au phosphore, véritable facteur limitant du vivant."*

Or, aussi étonnant que cela puisse paraître, la ressource en minerais de phosphates n'a encore jamais fait l'objet de précautions particulières ! Au point que des chercheurs de l'Institute for sustainable futures (Australie) annoncent un pic de production du phosphore au milieu des années 2030, au vu de la consommation actuelle couplée à l'épuisement des gisements de qualité à travers le monde. Cette prévision est très controversée, mais suscite une angoisse : pourra-t-on extraire assez de phosphore pour nourrir les 9 milliards d'habitants attendus en 2050 ? Historiquement, rappelle Jean-Claude Fardeau, *"l'humanité a toujours recyclé le phosphore, sans le savoir, en réutilisant comme engrais les excréments des animaux – mais aussi ceux des hommes – qui en sont riches. Une époque où tous les cultivateurs étaient aussi éleveurs"*. En clair, tout s'équilibrait sans qu'il y ait besoin de connaître l'existence du phosphore ni ses effets sur la croissance des plantes.

UNE CONSOMMATION ABUSIVE

L'identification du rôle de l'élément phosphore par les chimistes remonte au début du XIXe siècle, alors que des famines apparaissent et qu'il devient urgent d'augmenter les rendements. Le guano (fiente d'oiseau fossilisée) est alors mis à contribution, jusqu'à épuisement. Puis vient le tour du minerai de phosphate, dont l'usage n'est pas pour rien dans la multiplication de la population mondiale par quatre au XXe siècle. Qu'on en juge : alors qu'en 1915 les rendements de blé stagnaient à 1 ou 2 tonnes par hectare, ceux-ci dépassent aujourd'hui les 7 t/ha.

Sauf que cette révolution verte s'est réalisée au prix d'une consommation totalement abusive de minerais. Un exemple : *"De 1945 à 1970, la France a utilisé près de trois fois plus de phosphates que nécessaire, tandis que les fumiers n'étaient plus guère utilisés"*, s'indigne Jean-Claude Fardeau. Il faut dire que l'assimilation du phosphore des engrais par les racines est très laborieuse. Sans parler des pertes liées à l'érosion et autres gaspillages… Résultat : des 15 millions de tonnes de phosphore épandues chaque année, seuls 3 millions parviennent jusque dans nos assiettes. Pis, ces 3 millions de tonnes, une fois rejetées par le corps humain, ne retournent plus aux terres arables. Eh oui, urbanisation oblige, ce phosphore excrété s'en va à travers les égouts pour se perdre, *in fine*, dans les fonds marins… Sans qu'aucune autorité ne s'intéresse à son recyclage.

Le gâchis est immense. D'autant plus que l'évolution de la demande s'annonce préoccupante, souligne Andrea Ulrich, de l'Institute for Environmental Decisions (Ecole polytechnique de Zurich) : *"En plus de l'augmentation de la population, les Chinois et les Indiens consomment de plus en plus de viande* [ce qui nécessite deux fois plus de phosphates qu'un régime végétarien], *et il ne faut pas non plus négliger l'essor des biocarburants, dont les cultures exigent elles aussi des phosphates."* Avant de conclure : *"Ignorer ce problème pourrait mettre en péril la sécurité alimentaire mondiale."* Car il est bien certain que la demande en phosphore ne disparaîtra jamais.

APPLICATION
Agriculture

RESSOURCES PROUVÉES
65 milliards de tonnes

PRODUCTION ANNUELLE
191 millions de tonnes

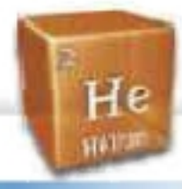
RÉSERVES
340 ans

T.GRAY/VISUALSUNLIMITED - G.CIRADE

HÉLIUM

Les grands instruments scientifiques en péril

Ses applications ludiques (ballons d'anniversaire, modification de la voix) laissent penser qu'il est abondant et futile. Rien n'est plus faux! Produit en sous-sol par la décroissance radioactive des roches, l'hélium s'échappe jusque dans l'espace, en ne laissant dans l'atmosphère que des traces inexploitables (0,0005 %). Les seuls pièges qui peuvent le retenir ici-bas sont les réservoirs de gaz naturel. Or, intervient Norbert Pacheco, du Bureau des mines américain, *"peu de gisements de gaz en contiennent assez pour justifier sa récupération"*. Les champs gaziers les plus riches en hélium se concentrent au Texas. Mais voilà, exploités depuis longtemps, ils sont déjà sur le déclin. Tandis que les stocks stratégiques tenus par les Etats-Unis depuis 1925 (grande époque des ballons dirigeables gonflés à l'hélium) sont en voie de liquidation. Un comble quand on connaît les propriétés sans égal de l'hélium. Doté du point d'ébullition le plus bas (– 269 °C), il permet d'atteindre les températures ultrabasses propres aux expériences de physique ainsi qu'aux aimants supraconducteurs des télescopes et appareils d'imagerie médicale. Plusieurs nouveaux instruments n'ont pu être lancés cette année, faute d'hélium. L'industrie spatiale ne peut pas non plus s'en passer, fait-on savoir chez Arianespace : *"La petite taille de ses atomes le rend idéal pour détecter les fuites. Surtout, comme il est chimiquement inerte, l'hélium est incontournable à l'heure de purger les réservoirs de nos fusées avant le décollage."* Cette inertie paraît aussi indispensable pour la fabrication des semi-conducteurs, activité en perpétuelle croissance. Seul espoir : que de nouveaux gisements, au Qatar ou en Russie, se révèlent riches en hélium.



APPLICATION
Recherche scientifique

RESSOURCES PROUVÉES
4,2 milliards de m^3

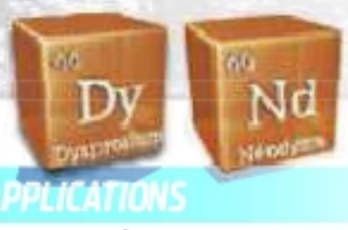
PRODUCTION ANNUELLE
180 millions de m^3

RÉSERVES
23 ans

DYSPROSIUM NÉODYME

Une menace pour l'avenir des énergies vertes

Qui oserait imaginer un avenir sans voiture électrique ni éolienne ? Et pourtant, la question se pose tant la pression est grande sur le néodyme et le dysprosium (photo), deux ingrédients essentiels de ces technologies vertes… Par leurs qualités magnétiques sans pareil, ils se sont rendus indispensables aux aimants qui animent les générateurs électriques. L'idée d'utiliser ces éléments remonte au début des années 1980, alors qu'une guérilla au Zaïre bloquait les approvisionnements en cobalt, utilisé dans les aimants. Depuis, leur consommation n'a cessé de s'accélérer, à raison d'un kilogramme de néodyme par voiture hybride et de près d'une tonne par éolienne ; l'ajout de dysprosium permettant de résister aux hautes températures. Des métaux produits à 97 % par la Chine. Or, prévient Jack Lifton, directeur du Technology Metals Research, *"les Chinois ont indiqué, à raison, que leurs gisements de ces 'terres rares lourdes' étaient en voie d'épuisement"*. Le plus menacé étant le dysprosium… Dont le nom grec – *dysprositos* – signifie d'ailleurs "difficile à obtenir". Peu rassurant quand on sait que, selon une récente étude du MIT, les objectifs de réduction de CO_2 exigeraient d'augmenter l'offre de dysprosium de 2 600 % d'ici à 2035…



APPLICATIONS
Aimants hautes performances

RESSOURCES PROUVÉES
Non déterminées

PRODUCTION ANNUELLE
20 000 tonnes au total

RÉSERVES
Non déterminées

RHÉNIUM

Un produit très difficile à extraire

Voici sans doute le métal le plus difficile à obtenir au monde : le rhénium est en effet un sous-produit de la molybdénite… elle-même sous-produit de l'extraction du cuivre. Bref, ses pépites n'apparaissent qu'en bout de chaîne, au beau milieu des cendres des fours de raffinage. Imaginez que le premier gramme découvert, en 1925 seulement, avait nécessité de traiter 660 kg de minerais ! Aujourd'hui encore, l'industrie mondiale ne parvient à produire que 40 ou 50 tonnes de rhénium par an (contre 2000 tonnes pour l'or, par exemple). Pourquoi une telle abnégation ? C'est qu'il est devenu indispensable aux avions de ligne et aux avions de chasse – c'est dire son importance stratégique. Le rhénium permet en effet aux turbines des réacteurs de résister aux très hautes températures (supérieures à 1000 °C) synonymes d'efficacité. Son destin, lui, n'en reste pas moins fragile…

APPLICATIONS
Aérospatial

RESSOURCES PROUVÉES
2,5 millions de tonnes

PRODUCTION ANNUELLE
49 000 tonnes

RÉSERVES
50 ans

URANIUM

Des décisions cruciales à prendre d'ici vingt ans

Y aura-t-il assez d'uranium pour étancher la soif d'électricité du monde ? Malgré la catastrophe de Fukushima, un quasi-doublement des capacités électronucléaires est en effet envisagé dans les 20 à 30 prochaines années. Dans cette perspective, les besoins en uranium en 2035 atteindraient 90000 à 110000 tonnes par an. Soit le double de ce que les mines d'uranium ont fourni en 2010 ! Ont-elles assez de réserves pour suivre la cadence ? Pas si sûr… *"Compte tenu des besoins du parc nucléaire actuels et projetés, les ressources 'raisonnablement assurées' aujourd'hui, soit environ 2,5 millions de tonnes d'uranium, seront entièrement consommées d'ici à 2035*, estime Marc Delpech, chef de programme de l'amont du cycle à la Direction de l'énergie nucléaire du CEA. *Si l'on ajoute l'uranium requis pour le fonctionnement jusqu'à la fin de leur vie des réacteurs présents en 2035 dans le monde, les besoins atteignent 6,3 millions de tonnes d'uranium."* Soit l'ensemble des ressources identifiées à ce jour.

IL FAUT RÉINVESTIR DANS LA PROSPECTION

"Après, il faudra exploiter des ressources qui n'ont pas encore été découvertes", prévient Marc Delpech. Pour cela, il faudra réinvestir dans la prospection, qui a connu un creux dans les années 1990 avant de repartir depuis 2005. Cependant, *"aucune découverte récente significative n'a été réalisée en dehors de l'extension de gisements déjà connus"*, assure le chercheur. Sans compter que la prospection et la mise en exploitation constituent une entreprise de longue haleine. Ainsi, l'ouverture de la mine souterraine de Cigar Lake au Canada, qui pourrait assurer 10 % de la production mondiale, ne cesse d'être reportée. A la suite d'inondations, l'exploitation de ce gisement découvert il y a plus de 30 ans, initialement prévue en 2007, ne devrait être pleinement opérationnelle qu'en 2017. Par ailleurs, la moitié des mines aujourd'hui exploitées ont été mises en service avant les années 1980, et sont contraintes d'extraire des minerais aux teneurs en uranium de plus en plus faibles, avec un coût énergétique croissant. *"Il peut y avoir à l'avenir un problème de*

APPLICATIONS
Energie

RESSOURCES PROUVÉES
2,5 millions de tonnes

PRODUCTION ANNUELLE
54 000 tonnes

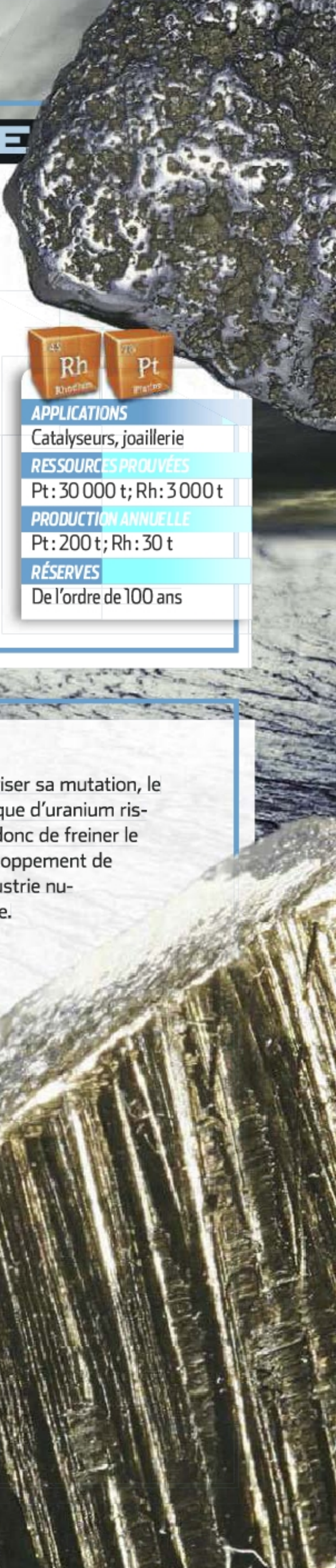
RÉSERVES
46 ans

SPL/COSMOS - K.LUCAS/VISUALS UNLIMITED - T.GRAY/VISUALS UNLIMITED - G.CIRADE

RHODIUM PLATINE

Des éléments naturellement rares

Attention, rareté : le rhodium s'avère dix fois moins présent dans l'écorce terrestre que l'or – soit une teneur fantomatique de 0,00000001 %. Et pour ne rien arranger, la quasi-intégralité du rhodium et de son cousin le platine (photo) se trouve dans un seul filon, Bushveld, en Afrique du Sud. Or, *"l'humanité a déjà extrait et utilisé la moitié des réserves totales de ces platinoïdes"*, signale Robert Gordon (université Yale). C'est que, outre la joaillerie, l'industrie automobile n'a plus d'autre choix que d'utiliser ces catalyseurs hors pair dans les pots d'échappement. Objectif ? Satisfaire aux normes de pollution toujours plus sévères. Et le platine pourrait bien décider de l'avenir des transports, car on imagine mal concevoir des piles à hydrogène sans lui…



APPLICATIONS
Catalyseurs, joaillerie

RESSOURCES PROUVÉES
Pt : 30 000 t ; Rh : 3 000 t

PRODUCTION ANNUELLE
Pt : 200 t ; Rh : 30 t

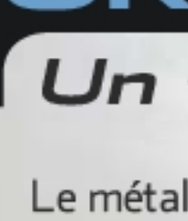
RÉSERVES
De l'ordre de 100 ans

timing *entre la demande et la production d'uranium*, reconnaît Robert Vance, analyste à l'Agence pour l'énergie nucléaire, *car après Fukushima, le développement des mines n'a pas été aussi rapide qu'attendu. Pour autant, je suis optimiste sur l'étendue des ressources qu'il reste à découvrir dans le sous-sol de la planète. Et si le prix de l'uranium montait très haut, il pourrait devenir rentable d'exploiter des sources d'uranium alternatives, comme les phosphates ou l'eau de mer !"* Pour faire face à la pénurie annoncée, le recyclage multiple des matières est une solution à l'étude pour les futurs réacteurs à neutrons rapides, de 4e génération, qui pourraient être déployés à partir de 2040 et ne consomment quasiment pas d'uranium. Mais cette solution pourrait paradoxalement pâtir d'une rareté du précieux combustible. *"Le discours classique veut que quand on n'aura plus d'uranium, on passera à la génération IV*, remarque Adrien Bidaud, du Laboratoire de physique subatomique et de cosmologie (CNRS). *Mais ces réacteurs ont quand même besoin, pour leur démarrage, du plutonium produit par les réacteurs actuels qui, eux, fonctionnent à l'uranium… Donc, contrairement à l'idée reçue, en dehors des quelques pays ayant un passé nucléaire, la transition vers les réacteurs de génération IV serait plutôt encouragée si le risque de pénurie en uranium était lointain."* Au lieu de favoriser sa mutation, le manque d'uranium risque donc de freiner le développement de l'industrie nucléaire.

OR

Un filon presque tari

Le métal le plus recherché au monde – en 2011, 40 % des investissements en exploration minière lui étaient consacrés – se joue désormais des tentatives désespérées de l'homme de mettre la main sur lui. Malgré un quintuplement des dépenses de recherche au cours de la décennie écoulée, le rythme des découvertes s'essouffle. Et les meilleurs filons se tarissent. Les grands gisements d'Afrique du Sud, où l'on n'hésite plus à creuser jusqu'à 4 km de profondeur pour extraire le précieux métal jaune, ont déjà donné le meilleur d'eux-mêmes. Premier producteur mondial d'or pendant un siècle, avant de céder sa couronne à la Chine en 2007, le pays a vu fondre sa production de… 80 % en 40 ans ! Même déconvenue aux Etats-Unis et au Canada. Quand bien même la production d'or a atteint un sommet historique en 2001 – près de 2600 t –, jamais égalé depuis. Ce qui, justement, a fait dire en 2009 au président de Barrick Gold Corporation, le plus gros producteur mondial, qu'il y a *"de solides arguments pour considérer que nous sommes déjà au 'pic d'or'"*. Lueur d'espoir, après des années de déclin : les quantités extraites augmentent un peu depuis 2009. *"Mais d'ici un à trois ans, la production mondiale diminuera à nouveau*, prédit Thomas Chaize, analyste du secteur minier. *Car aucun pays ne sera en mesure de produire les 1000 t d'or de l'Afrique du Sud des années 1960."* Le plus vieux métal du monde sera donc peut-être le premier à tirer sa révérence.

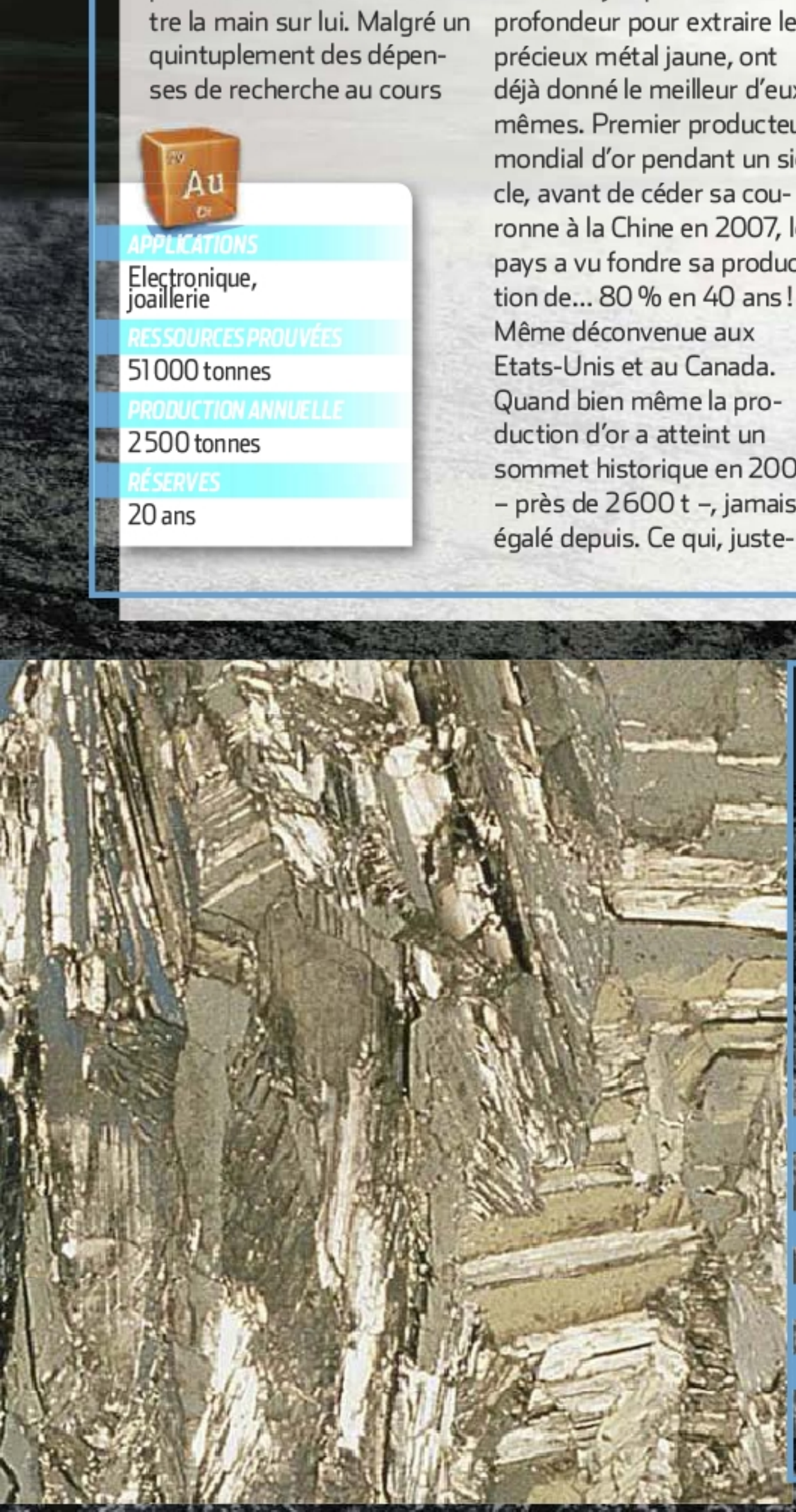


APPLICATIONS
Electronique, joaillerie

RESSOURCES PROUVÉES
51 000 tonnes

PRODUCTION ANNUELLE
2 500 tonnes

RÉSERVES
20 ans



ZINC

Un gâchis irréversible

L'histoire du zinc est celle d'un immense gaspillage : chaque année dans le monde, 120 000 tonnes environ partiraient en poussières ! Et pour cause : ce métal bleu gris est utilisé dans des applications aussi dispersives que les plaquettes de frein, les pigments ou les pâtes dentifrices. L'ennui, c'est que le zinc tient aussi un rôle capital dans notre société : celui de protéger de la corrosion toute structure en acier. Le tout formant un alliage dont il est ensuite difficile, au recyclage, d'extraire le précieux zinc… Résultat : ses réserves en sous-sol sont siphonnées à grande vitesse.

APPLICATIONS
Galvanisation de l'acier, alliages

RESSOURCES PROUVÉES
250 millions de tonnes

PRODUCTION ANNUELLE
12 millions tonnes

RÉSERVES
20 ans

T.GRAY/VISUALS UNLIMITED

INDIUM

Des priorités à définir au plus vite

Il va falloir choisir entre smartphones et panneaux solaires. Combiné avec l'étain et l'oxygène, l'indium est à la fois transparent et conducteur d'électricité, des propriétés qui donnent vie aux écrans tactiles. Ajoutez-lui plutôt du cuivre et du sélénium, et vous obtiendrez un alliage opaque et bon collecteur de lumière, qui a fait naître une nouvelle génération de cellules photovoltaïques. Un engouement qui explique que sa consommation ait été multipliée par 12 ces trente dernières années. Ce rythme est-il tenable ? D'après les projections du département de l'Energie américain, l'approvisionnement deviendra critique dès 2015. Et en cas de déploiement en masse des panneaux solaires, il faudrait *"réduire la demande pour les applications ne concernant pas les énergies renouvelables, afin d'éviter les pénuries"*.

APPLICATIONS
Electronique, énergie

RESSOURCES PROUVÉES
640 tonnes

PRODUCTION ANNUELLE
11 000 tonnes

RÉSERVES
17 ans

TECHNÉTIUM 99 HÉLIUM 3

Déjà en situation de pénurie

Ils nous ont toujours manqué ! De fait, ces isotopes à la durée de vie éphémère sont quasi inexistants dans la nature. Or, l'industrie nucléaire a le plus grand mal à les produire à flux tendus… Malgré leur importance parfois vitale. A commencer par le technétium-99, utilisé pour le diagnostic des cancers et des maladies cardiovasculaires. Ce composé n'est produit que par 5 réacteurs dans le monde, tous accusant plus de 45 ans d'âge et souvent arrêtés pour maintenance. *"En 2010, il y a eu plusieurs semaines sans production*, raconte Alain Alberman, du CEA. *Le pire est à craindre pour 2015 car certains réacteurs arriveront alors en fin de vie."* Même si d'autres solutions sont à l'étude.

Mais la substance la plus en danger est l'hélium-3, dont les stocks ont été vidés par la multiplication des portiques de sécurité aux Etats-Unis. Dommage, car en plus de son usage dans les appareils de radioprotection, *"seul l'hélium-3 permet d'approcher le zéro absolu en cryogénie, et montre des comportements quantiques uniques"*, se désole William Halperin, physicien à l'université Northwestern.

APPLICATIONS
Imagerie médicale, recherche scientifique, défense

RESSOURCES PROUVÉES
Nulles

PRODUCTION ANNUELLE
Produits artificiellement

RÉSERVES
Non définies

ET AUSSI

ARGENT Excellent conducteur, il est utilisé dans l'électronique. Or, ses mines sont presque à sec…

GERMANIUM Indispensable aux fibres optiques, il n'est qu'un sous-produit marginal du zinc.

BÉRYLLIUM Utilisé dans les réacteurs nucléaires, il présente une extraction difficile car il est toxique.

SCANDIUM Incontournable pour renforcer l'aluminium, il ne se trouve sous forme concentrée qu'en Scandinavie.

HYDROGÈNE-3 La Terre n'en contient que 3,5 kg, générés dans la haute atmosphère. Et il est très difficile de produire cet isotope destiné aux armes nucléaires.

TUNGSTÈNE C'est un métal dur et résistant à la chaleur. Mais il n'est produit qu'en Chine.

GALLIUM Avec lui, les panneaux solaires promettent d'être enfin performants. Sauf qu'il est rare et se recycle mal.

TANTALE Cet ingrédient des résistances électriques provient de régions en proie à la guérilla.

NIOBIUM Il donne toute sa résistance à l'acier des pipelines. Las, ses réserves sont à 95 % dans un seul pays (Brésil).

L'HUMANITÉ À L'ÉPREUVE DES PÉNURIES

En basculant de l'ère de l'abondance à l'ère du manque, le monde va devoir trouver de nouvelles ressources. Un défi déjà d'actualité.

"Le temps du monde fini commence." Ecrite en 1931, la phrase de Paul Valéry paraît aujourd'hui d'une violence assassine. C'est que l'humanité sort de deux siècles de développement euphorique, deux siècles d'une apparente abondance, et de gaspillage insensé dont les stigmates apparaissent dans l'inventaire de la Terre que nous avons réalisé (voir page 58). Tout laisse maintenant à penser que l'apparition du manque est inéluctable. A quelle échéance? Nul ne le sait précisément. Hugo Bardi, chercheur en chimie à l'université de Florence, admet *"l'absence de modèle quantitatif qui permette de prévoir la date de l'apparition d'une pénurie"*. Pour autant, insiste-t-il, *"cela ne doit pas nous empêcher d'établir des plans de bataille pour nous y préparer"*! Car le choc promet d'être rude, justifie l'économiste Dennis Meadows, auteur en 1972 du célèbre rapport "Halte à la croissance?" du Club de Rome: *"Tout au long de son histoire, l'espèce humaine a été confrontée à ses limites, mais les taux d'épuisement étaient jusqu'alors faibles, et les conséquences locales. L'idée que toute la civilisation pourrait être changée, en quelques décennies, par la rareté croissante de quelques matériaux est très récente."* Face à cette évidence, une poignée de chercheurs planche déjà sur des parades, quitte à ce qu'elles paraissent aujourd'hui farfelues… ou désespérées. Au fond, peu importe: il en va ni plus ni moins du maintien de notre mode de vie.

Le premier défi sera sans doute de… continuer à creuser. Car nombreux sont ceux qui misent sur le forage extrême, sur terre et même en mer (voir encadré p. 71), afin de récupérer d'ultimes ressources. *"Nous n'avons encore exploité que les couches les plus superficielles de la croûte terrestre, et il est envisageable de creuser des mines jusqu'à 2 ou 3 km de profondeur, voire au-delà"*, estime Patrice Christmann, chef du service des ressources minérales au Bureau de recherches géologiques et minières. Encore faut-il préciser qu'il s'agit là de zones mal connues dont le potentiel minéral n'est pas assuré…

L'EXEMPLE DE L'HUILE DE BALEINE

Mais quand l'extraction de certains métaux trop profonds ou trop peu concentrés deviendra impossible, que faire? Le plus évident serait de les recycler. Le moindre immeuble ou câble sous-marin constituerait alors un gisement pour l'avenir. Sauf que, ce n'est pas aussi simple, tempère Robert Ayres, grand ponte du métabolisme industriel à l'Institut européen d'administration des affaires: *"La miniaturisation toujours plus poussée des composants électroniques rend difficile la récupération des métaux rares dont ils sont recouverts; si des techniques existent pour y parvenir, reste à les développer."* Songez aussi à tous ces métaux rares (zinc, cobalt) disséminés dans les encres, les détergents, les pesticides, les pâtes dentifrice… qui semblent après usage perdus pour l'humanité. Quoi qu'il en soit, la récupération des métaux dispersés à tout vent s'annonce comme un défi colossal, et sûrement un créneau d'avenir. Y compris lorsqu'il s'agit de récupérer de microscopiques poussières (voir encadré p. 71).

Autre piste: la recherche d'un substitut. Ou comment remplacer une matière première en danger par une autre aux propriétés semblables. Cette stratégie a déjà fait ses preuves: quand la récolte d'huile de baleine qui servait à l'éclairage a ralenti au milieu du XIXe siècle, l'homme s'est tourné vers le pétrole du sous-sol. De la même façon, surexploité, le guano d'Amérique →

L.MOSCIA/ARCHIVOLATINOPRESS - OPITALEV/AFP

LA QUÊTE DE NOUVEAUX MATÉRIAUX

"Les nanotechnologies peuvent radicalement réduire les besoins"

ERIC DREXLER

CHERCHEUR EN NANOTECHNOLOGIE MOLÉCULAIRE, UNIVERSITÉ D'OXFORD

Eric Drexler est persuadé que la production industrielle, si elle s'appuie sur des nano-machines pour fabriquer des objets, sera radicalement plus économe en ressources matérielles et énergétiques que ce que l'on croit. Selon lui, on sait déjà concevoir sur le papier des "nano-usines" capables de produire des objets aussi complexes qu'un ordinateur, sans déchets, avec des rendements énergétiques 100 à 1000 fois meilleurs qu'aujourd'hui: *"Nous disposons d'assez de connaissances. Il faut désormais assembler les nano-composants disponibles pour disposer d'outils de plus en plus complexes."* F.L.

→ du Sud (riche en phosphore) a-t-il été remplacé par le minerai de phosphore… Sauf que, riposte Robert Ayres, *"la croyance en une substitution perpétuelle est naïve : la nature n'est pas si flexible et la Terre a été explorée de long en large. En clair, les possibilités de substitution aussi avantageuses que par le passé s'amenuisent…"* Quant aux produits de synthèse, tel le caoutchouc artificiel produit par la pétrochimie, les possibilités sont là aussi limitées : *"Par définition, il n'est pas possible de synthétiser un élément chimique en tant que tel*, prévient Patrice Christmann. *On ne peut pas fabriquer du cuivre."*

En la matière, la seule solution consiste à chercher un remplaçant dans le tableau de Mendeleïev (voir p. 58). Pas si simple quand il s'agit de trouver un élément plus abondant, capable d'offrir des performances comparables à un coût énergétique raisonnable. Illustration ? Le métal argent a beau être meilleur conducteur que le cuivre, sa rareté l'empêche de le remplacer dans des applications aussi banales que les fils électriques. Plus généralement, au vu de la surexploitation actuelle du tableau de Mendeleïev, le nombre de substituts capables de répondre à une nouvelle demande se réduit comme peau de chagrin.

LA NÉCESSITÉ D'INVENTER

Il reste tout de même quelques valeurs sûres. Le fer par exemple. *"A l'avenir, l'humanité devra s'appuyer sur les éléments les plus abondants de la croûte terrestre"*, estime Ugo Bardi. Autant de substances qu'un spécialiste hollandais des métaux, André Diederen, n'hésite pas à qualifier *"d'éléments chimiques de l'espoir"* : 99,23 % du sous-sol est constitué par seulement 12 espèces (dont le fer, l'aluminium, le silicium et le magnésium). Aussi élégant soit-il, ce choix de société ne sera pas forcément facile à assumer. Car si l'abondance est au rendez-vous, les performances ne le seront pas toujours. L'aluminium peut fort bien tenir le rôle du cuivre, mais au prix de performances 40 % moindres et d'une production trois fois plus gourmande en énergie. Et puis : comment se passer de l'apport de tous ces petits métaux exotiques dont les propriétés uniques (optiques, thermiques, électriques…) sont à l'origine des produits efficaces et légers que nous connaissons ? Un début de réponse sortira peut-être des intenses efforts de recherche menés aux Etats-Unis et au Japon pour s'affranchir des terres rares chinoises dans la composition des aimants haute performance. Les premiers résultats étant loin d'être ridicules.

Forages ultra-profonds, recyclage de poussières, substitution massive… Ce ne seront sans doute là que les premiers pas de l'humanité dans un monde fini. Sachant que d'autres stratégies de long terme sont évoquées, comme *"la généralisation des nanomatériaux, lesquels permettront de faire aussi bien, sinon mieux, avec moins de matière"*, parie Patrice Christmann. D'ici là, bienvenue dans l'ère de la rareté, du manque et des carences. En espérant que l'inventivité humaine ne soit pas, elle, menacée de pénurie…

A. MEYER - M. MARSLAND/YALE UNIVERSITY - THE ROYAL SOCIETY

À L'ASSAUT DE FORAGES EXTRÊMES

Les découvertes majeures à venir se feront au fond des mers

PIERRE COCHONAT
DIRECTEUR SCIENTIFIQUE ADJOINT À L'IFREMER

Amas sulfurés, nodules polymétalliques, encroûtements cobaltifères : les immenses ressources qui reposent au fond des océans tournent les têtes. Et avec le démarrage, en 2014, de la première "mine" sous-marine au large de la Papouasie-Nouvelle-Guinée, c'est un vieux rêve qui prendra corps. *"Il y a 20 ans, on parlait déjà d'exploiter les gisements sous-marins,* se souvient Pierre Cochonat. *Mais ce n'était pas justifié. Aujourd'hui, les données se sont inversées."* Si l'inventaire précis des ressources marines reste à faire, le chercheur estime que les gros verrous technologiques ont été levés. *"C'est la solution à moyen ou long terme pour répondre à la demande."*

LE RECOURS AU RECYCLAGE TOUS AZIMUTS

Je veux récupérer sur les routes les poussières de platine

HAZEL PRICHARD
GÉOLOGUE D'EXPLORATION À L'UNIVERSITÉ DE CARDIFF

Le platine contenu dans les pots catalytiques de nos voitures s'étiole au fil du temps et s'enfuit avec les gaz d'échappement. La géologue Hazel Prichard y voit là une vraie manne : *"Nous avons détecté la présence de platine sur toutes les routes que nous avons analysées. Les zones les plus riches sont les axes très fréquentés, mais aussi les bassins de drainage où les eaux de pluie charrient le platine. Etonnamment, certains dépôts montrent des concentrations assez proches de celles des filons géologiques d'Afrique du Sud et de Sibérie !"*. Le record urbain étant de 2 ppm (parties par million), contre 3 à 6 en moyenne dans un gisement. Plusieurs méthodes de récupération (gravitaires, magnétiques, bactériologiques) sont déjà en cours d'évaluation. Car *"ce projet pourrait être rentable dans un futur proche vu le cours du platine"* : plus de 1200 € les 30 g ! Il n'y a de toute façon plus d'autre choix, conclut Hazel Prichard, *"le platine est à la fois très rare et indispensable à l'automobile"*.

L'ESPOIR DE SUBSTITUTION MASSIVE

Je prône un nouvel âge du fer

BRIAN SKINNER
PROFESSEUR DE MINÉRALOGIE, UNIVERSITÉ YALE

A force d'extraire tous les métaux à grande vitesse, les mineurs auront bientôt épuisé ceux qui sont les plus rares. Il faudra alors revenir aux métaux les plus basiques et les plus abondants, comme le fer, qui est le quatrième élément le plus présent dans la croûte terrestre ! Tel est en substance le propos tenu par Brian Skinner depuis 1976. D'ailleurs, la production mondiale de fer (2 milliards de tonnes par an) est aujourd'hui à la hauteur de son abondance. *"Les pays asiatiques en développement font actuellement un usage massif d'alliages de fer,* fait remarquer le chercheur. *En un sens, ces quantités sans précédent montrent que les premiers signes d'un nouvel âge du fer sont déjà en train d'apparaître."* Cela signifie-t-il un retour 3000 ans en arrière ? Nullement. De récents travaux démontrent en effet les formidables possibilités de ce métal, que ce soit dans le domaine de la supraconductivité ou dans celui de la fabrication d'aimants à haute performance.

SCIENCE & VIE GUERRES & Histoire

LES CHEFS-D'ŒUVRE DU FILM DE GUERRE

COMMANDEZ-VITE !

Votre DVD et son livret pour 2,95 € SEULEMENT !

1ER ENVOI

VOTRE OFFRE :

20 films d'anthologie et 20 livrets collector

20 DVD D'EXCEPTION

- Les vrais chefs-d'œuvre du film de guerre, sélectionnés par la rédaction de *Guerres & Histoire*.
- Des films magistraux, rares, introuvables, et même parfois inédits en DVD !

20 LIVRETS COLLECTOR

- Des livrets de 16 pages, véritables magazines réalisés par la rédaction de *Guerres & Histoire*, et conçus comme le prolongement des thèmes traités dans chaque film.
- Infographies, interviews exclusives, analyses et dossiers complets...

Un contenu inédit, fruit du savoir-faire de *Guerres & Histoire*.

AVEC CHAQUE DVD 1 LIVRET COLLECTOR

MER CRUELLE © 1953 CANAL + IMAGE UK Ltd. / © 2012 Studio Canal. Tous droits réservés.
BETALE POINT © 1959 Fenno Film / © 2012 Bta Films. Tous droits réservés.
CAPITAINE CONAN © 1996 STUDIOCANAL - Studio 37 - TF1 Films Production. Tous droits réservés.

Recevez chez vous une collection unique, avec, à chaque envoi, des **DVD** et des **livrets** d'exception introuvables ailleurs ! Chaque DVD est **accompagné** d'un **livret** proposant **l'analyse historique** du film par la rédaction de ***Guerres & Histoire***.

Une offre **exclusive** et **incontournable !**

UNE COLLECTION INÉDITE DE 20 VOLUMES
UNIQUEMENT DISPONIBLE PAR CORRESPONDANCE !

N°1 MER CRUELLE (THE CRUEL SEA)
N°2 LE PONT (DIE BRÜCKE)
N°3 CAPITAINE CONAN
N°4 COTE 465
N°5 LA BALLADE DU SOLDAT
N°6 L'ODYSSÉE DU SOUS-MARIN NERKA
N°7 ZOULOU
N°8 L'ENFER EST POUR LES HÉROS
N°9 À L'OUEST RIEN DE NOUVEAU
N°10 KIPPOUR

N°11 L'ODYSSÉE DU Dr WASSELL
N°12 COULEZ LE BISMARK
N°13 DIEU SEUL LE SAIT
N°14 QUAND PASSENT LES CIGOGNES
N°15 L'EXPRESS DU COLONEL VON RYAN
N°16 LES PONTS DE TOKO RI
N°17 TORPILLES SOUS L'ATLANTIQUE
N°18 LES DUELLISTES
N°19 LA 317E SECTION
N°20 PREMIÈRE VICTOIRE

Liste susceptible d'être modifiée

EN CADEAU : le film russe
ILS ONT COMBATTU POUR LA PATRIE de Sergueï Bondartchouk,
en DOUBLE DVD, envoyé avec votre 3e colis.

3 OPTIONS DE SOUSCRIPTION

Abonnez-vous sans engagement

ou

La collection complète

ou

Les volumes à l'unité

Commandez vite par internet **www.collection-guerresethistoire.com**
ou sur **facebook** ou par mail : **collectionsmondadori@phoneavenir.fr**
ou par téléphone au **02 77 63 11 59** en donnant le code promo : **MGHPO**

Quand passent les cigognes : © Les studios Mosfilm de Moscou, 1958. © RUSCICO, 2000. / Cote 465 : © 1957 Security Pictures, Inc. Tous Droits Réservés. / Paramount Pictures Corporation. Tous Droits Réservés. / Le Pont : 1945 l'agonie du Reich : © 1963 Universal Pictures Company, Inc. Tous droits réservés. / L'Odyssée du docteur Wassell : © 1944 Universal Pictures Corporation. Renouvelé en 1971. Tous droits réservés. / Zoulou : © 1964 Diamond Films LTD / A l'ouest rien de nouveau : © 1930 Universal Pictures Corporation. Renouvelé en 1957. Tous droits réservés. / Mer cruelle : © 1965 By Sigma Productions ; Inc. Tous Droits Réservés. / L'enfer est pour les héros : TM & © 1977 by Paramount Pictures. Tous Droits Réservés. / Paramount Pictures Corporation. Tous droits réservés. / Capitaine Conan : © 1996 TV MASTERS SV / Les Duellistes : TM & © 1977 by Paramount Pictures. Tous Droits Réservés. / L'enfer est pour les héros : TM & Copyright © 1954 by Paramount Pictures Corporation. Tous Droits Réservés. / Zoulou : © 1964 Diamond Films LTD / A l'ouest rien de nouveau : © 1930 Universal Pictures Corporation. Renouvelé en 1957. Tous droits réservés. / Mer cruelle : © 1965 By Sigma Productions ; Inc. Tous Droits Réservés. / L'enfer est pour les héros : TM & Copyright © 1954 by Paramount Pictures Corporation. Tous Droits Réservés. / Zoulou : © 1964 Diamond Films LTD / A l'ouest rien de nouveau : © 1930 Universal Pictures Corporation. Renouvelé en 1957. Tous droits réservés. / Mer cruelle : © 1965 By Sigma Productions ; Inc. Tous Droits Réservés. / L'enfer est pour les héros : TM & Copyright © 1954 by Paramount Pictures Corporation. Tous Droits Réservés. / Zoulou : © 1964 Diamond Films LTD / A l'ouest rien de nouveau : © 1930 Universal Pictures Corporation. Renouvelé en 1957. Tous droits réservés.

/ Kippour : © 2000 – MP Productions – Agav Hafakot – Le Studio Canal – Arte France Cinema ; © 2001 France TELEVISION DISTRIBUTION. Tous droits réservés. / La 317ème section : © 1965 – STUDIOCANAL / BENITO PEROJO (madrid). Tous droits réservés. © 2008 Studio Canal. / Ballade du soldat : © Les studios Mosfilm de Moscou, 1959. © RUSCICO, 2000. Tous droits réservés. / Coulez le bismarck : © 2003 Twentieth Century Fox Home Entertainment, Inc. Tous droits réservés. / Torpilles sous l'Atlantique : © 2003 Twentieth Century Fox Home Entertainment, Inc. Tous droits réservés. / L'odyssée du sous-marin Nerka : run silent, run deep © 1958 Metro-Goldwin-Mayer Studios Inc. Tous droits réservés. / Ils ont combattus pour la patrie : © Les studios « Mosfilm », 1975 ; © RUSCICO, 2005. Tous droits réservés.

NOUS AVONS BIEN UN SIXIÈME MAGNÉTIQUE !

GETTY - D.TODD/RUBBERBALL/CORBIS

SENS

Les adeptes du paranormal le prétendent… et voici que des études le confirment : l'homme possède la faculté de percevoir les forces magnétiques. Mais contrairement à d'autres espèces, nous aurions perdu l'usage de cet étrange sixième sens.

PAR ELSA ABDOUN

UN SENS DÉJÀ REPÉRÉ CHEZ PLUSIEURS ESPÈCES

La possibilité d'une sensibilité des êtres vivants aux champs magnétiques a très longtemps été ignorée des scientifiques. Mais l'accumulation d'observations et d'expériences surprenantes, ces cinquante dernières années, a permis de démontrer que ce sens est bien réel, et même partagé par de très nombreuses formes de vie!

BACTÉRIES: certaines ne se déplacent que dans l'axe nord-sud

Pour ne pas se perdre, des bactéries marines nagent le long des lignes de champ magnétique. Une découverte faite par hasard, quand un pot de sédiments contenant ces bactéries a été posé sur un agitateur magnétique: un tourbillon s'est alors dessiné dans les sédiments, indiquant un mouvement circulaire des bactéries.

PLANTES: leur croissance est stoppée par un champ intense

La croissance de l'arabette des dames s'arrête plus tôt en présence d'un champ magnétique fort. Celui-ci augmenterait l'activité du cryptochrome (un récepteur de lumière), donnant l'impression à la plante qu'elle reçoit plus de soleil et n'a donc pas besoin de continuer à pousser pour le chercher.

VACHES: elles s'alignent le long des lignes de champ

Quand elles broutent ou se reposent, les vaches se positionnent parallèlement à l'axe magnétique nord-sud... sauf près des lignes à haute tension, qui perturbent le champ magnétique terrestre.

Certains diront qu'ils l'ont toujours su, d'autres auront du mal à y croire… Mais le temps n'est plus aux *a priori*. Car aujourd'hui, les faits sont là: sans même en être conscients, nous serions capables de ressentir les champs magnétiques! Alors que l'idée de l'influence de ces champs sur le vivant a longtemps été réservée aux sourciers, magnétiseurs et autres adeptes de pseudo-sciences, la science lui offre pour la première fois une crédibilité, sous la forme de mécanismes biologiques plausibles et d'observations comportementales indéniables. Elle dessine ainsi les contours d'un sens magnétique, certes encore plein de mystères, mais qui ne relève plus du paranormal.

A première vue, tout pousse pourtant à douter de l'existence d'une perception sensorielle des forces magnétiques. Invisibles, inaudibles et impalpables, sans saveur ni odeur, ces forces nées du tourbillon de métaux fondus qui anime le cœur de la Terre ne se révèlent qu'en présence de boussoles ou d'aimants. Les lignes du champ terrestre qui relient chaque point de la planète à ses pôles magnétiques nord et sud ont beau traverser chacune de nos cellules, elles demeurent une bizarrerie en laquelle on croit, plutôt qu'un phénomène physique que l'on perçoit. D'ailleurs, si l'odorat a le nez, et la vue l'œil, quel serait l'organe de la réception du champ magnétique? Comment expliquer le fait que nous n'ayons aucune conscience de

VISUALS UNLIMITED - SPL/BIOS - GETTY - M.VARESVUO/BIOS - F.CAHEZ/BIOS - SPL/BIOS

OISEAUX MIGRATEURS: ils s'orientent grâce au pôle nord magnétique

En 2006, une équipe de chercheurs germano-américaine a démontré, pour la première fois en conditions réelles, l'influence du champ magnétique sur les oiseaux migrateurs : après avoir été exposées, au crépuscule, à un champ artificiel, des grives s'envolaient toute la nuit vers l'ouest… au lieu d'aller vers le nord.

RENARDS: ils chassent mieux quand leur proie est au nord

Pour attraper des rongeurs, les renards roux préfèrent bondir en direction du nord magnétique, car leurs chances de réussite sont alors meilleures, suggère une étude de 2011 menée par l'équipe germano-tchèque de Hynek Burda. Le champ magnétique aiderait en effet les renards à estimer la distance par rapport à leur proie.

MOUCHES DU VINAIGRE: leur rythme veille/sommeil est troublé par le magnétisme

En présence d'un fort champ magnétique, le rythme d'alternance veille/sommeil des mouches du vinaigre a tendance à ralentir par rapport à ses 24 heures habituelles. C'est ce qu'a montré, en 2007, une équipe de chercheurs franco-allemande. Les mouches mutantes ne possédant pas de récepteur rétinien au champ magnétique n'ont, quant à elles, pas été affectées par l'expérience.

cette information ? Et à quoi celle-ci pourrait-elle bien nous servir ? Autant d'énigmes qui laissent imaginer pourquoi le champ magnétique est devenu une caution scientifique idéale pour les idées les plus sulfureuses…

Le chemin aura été long avant qu'émerge l'hypothèse de la capacité de l'homme à détecter les champs magnétiques. Même des faits aujourd'hui largement acceptés, comme la présence d'un sens magnétique chez la plupart des espèces migratrices, ont eu beaucoup de difficultés à s'imposer. *"Il y avait au début un énorme scepticisme, chez les biologistes comme chez les physiciens"*, confirme Kenneth Lohmann, biologiste à l'université de Caroline du Nord, à Chapel Hill (Etats-Unis). Evoquée dès le début du siècle dernier, l'hypothèse d'un sens magnétique chez certains oiseaux migrateurs n'a été reconnue par la communauté scientifique qu'à partir des années 1960. Et ce, grâce à l'idée ingénieuse des chercheurs allemands →

→ Wolfgang Wiltschko et Friedrich Merkel. *"Ils ont placé des rouges-gorges dans des cages en papier carbone, pour que les oiseaux laissent des traces en grattant du côté vers lequel ils voulaient s'envoler"*, raconte Hervé Cadiou, chercheur à l'université de Strasbourg. En présence d'un champ magnétique terrestre perturbé, les oiseaux avaient tendance à se diriger vers une autre direction que celle qu'ils privilégiaient habituellement. Après application d'un champ artificiel, de telles désorientations ont par la suite été observées chez des espèces migratrices variées – oiseaux, poissons, tortues, langoustes, et même fourmis. Aujourd'hui, personne ne doute plus du fait que de nombreux animaux, pour se repérer dans leurs longs trajets migratoires, utilisent les variations dans la direction des lignes de champ magnétique qu'ils traversent.

À CHACUN SA "BOUSSOLE" MOLÉCULAIRE

Mais l'homme n'est pas une espèce migratrice. Et des millions d'années d'évolution le séparent de la tortue. Rien n'incitait donc à penser que nous partagerions avec elle, ou quelque autre espèce, la faculté de ressentir le champ magnétique. Sauf que les chercheurs se sont aperçus, ces trente dernières années, que cette "magnétoréception" est présente dans presque toutes les branches de l'arbre de la vie ! Rats-taupes, mouches, bactéries, plantes… autant de familles d'espèces non-migratrices dont les comportements ont fini par révéler qu'elles étaient aussi magnétoréceptrices ! Même les grands mammifères seraient concernés. A partir de photos prises par satellite, l'équipe de Hynek Burda, de l'université de Duisburg-Essen (Allemagne), a en effet observé en 2009 que les vaches et les cerfs ont tendance à s'aligner parallèlement à l'axe nord-sud, sauf à proximité des lignes à haute tension, qui perturbent justement le champ magnétique autour d'elles. *"Nous sommes en train d'analyser des données pour d'autres animaux, et je peux déjà vous dire que la magnétoréception est présente chez bien d'autres espèces"*, affirme le chercheur.

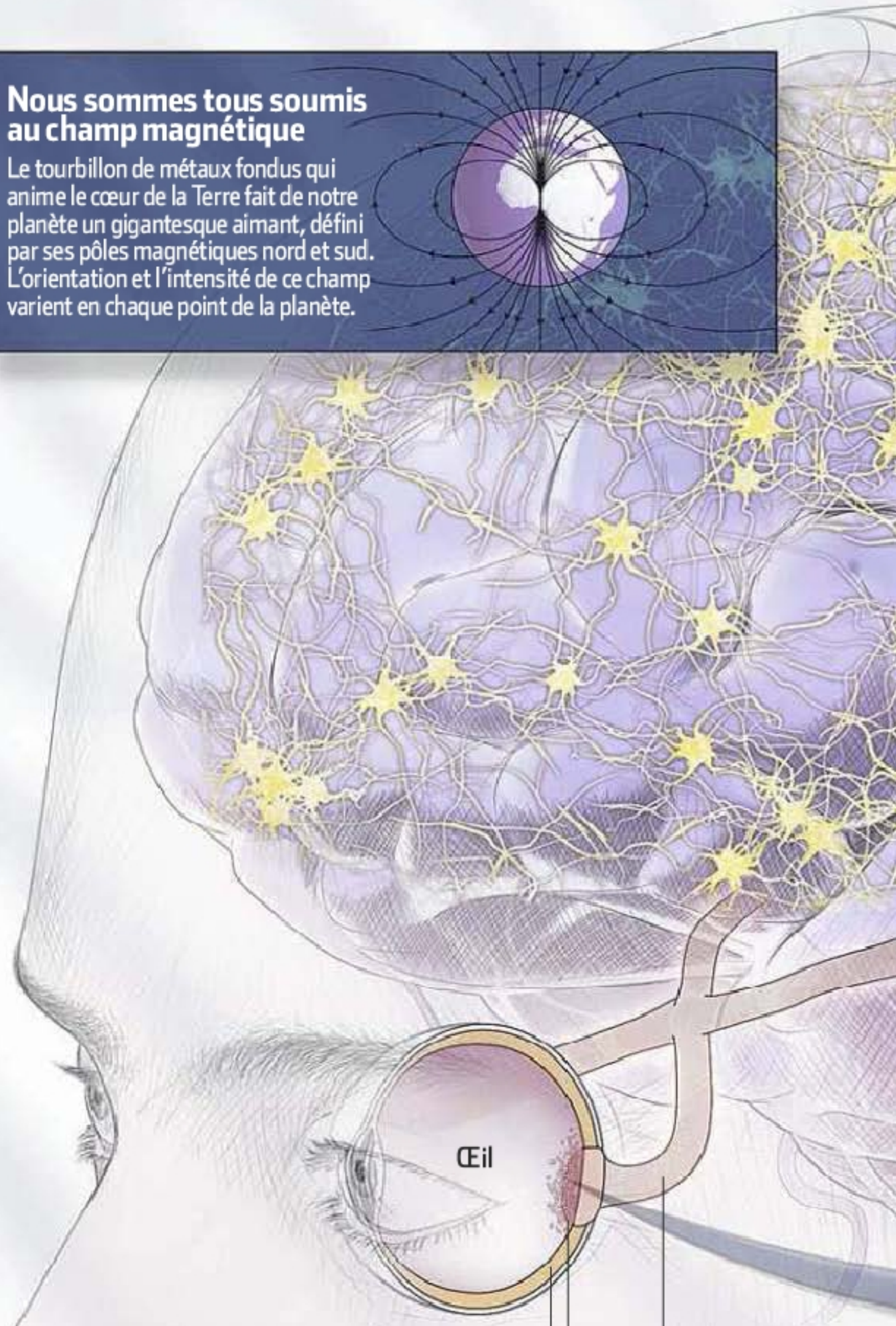
Si des bactéries, des plantes et même des vaches peuvent ressentir le champ magnétique… alors pourquoi pas l'homme ? Jusqu'à récemment, cette idée était largement méprisée, notamment à cause d'études controversées sur le comportement humain. Dans les années 1970 et 1980, le biologiste anglais Robin Baker, qui enseignait alors à l'université de Manchester, avait testé la capacité de ses étudiants à identifier →

Les secrets de notre sixième sens magnétique

La perception des forces magnétiques pourrait passer par deux mécanismes biologiques : soit par l'action de la magnétite sur le cerveau, soit par celle du cryptochrome sur la rétine ; à moins que l'homme ne bénéficie de l'activité de ces deux molécules à la fois.

Nous sommes tous soumis au champ magnétique

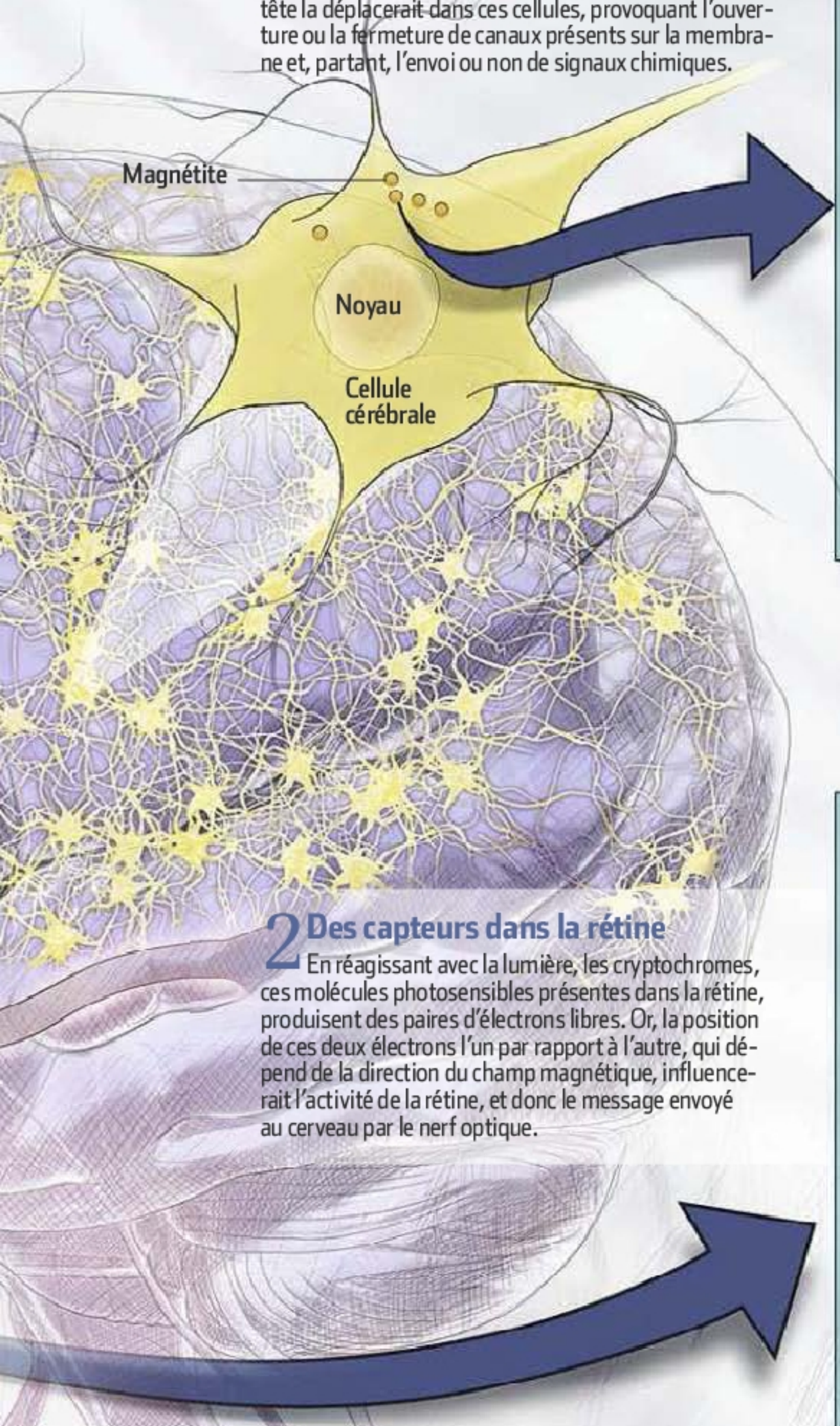
Le tourbillon de métaux fondus qui anime le cœur de la Terre fait de notre planète un gigantesque aimant, défini par ses pôles magnétiques nord et sud. L'orientation et l'intensité de ce champ varient en chaque point de la planète.

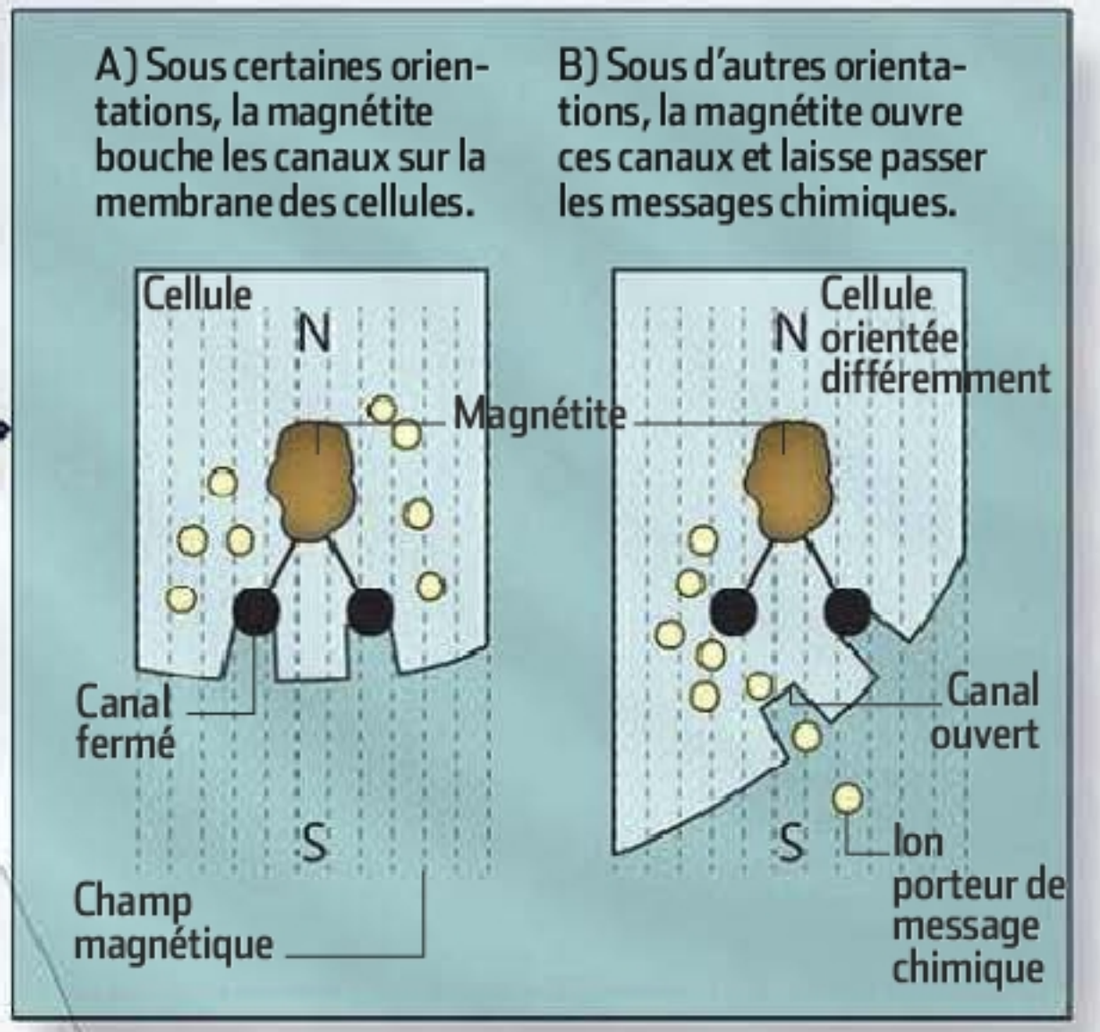


WWW.ILLUSTRER.FR

1 Une boussole dans le cerveau

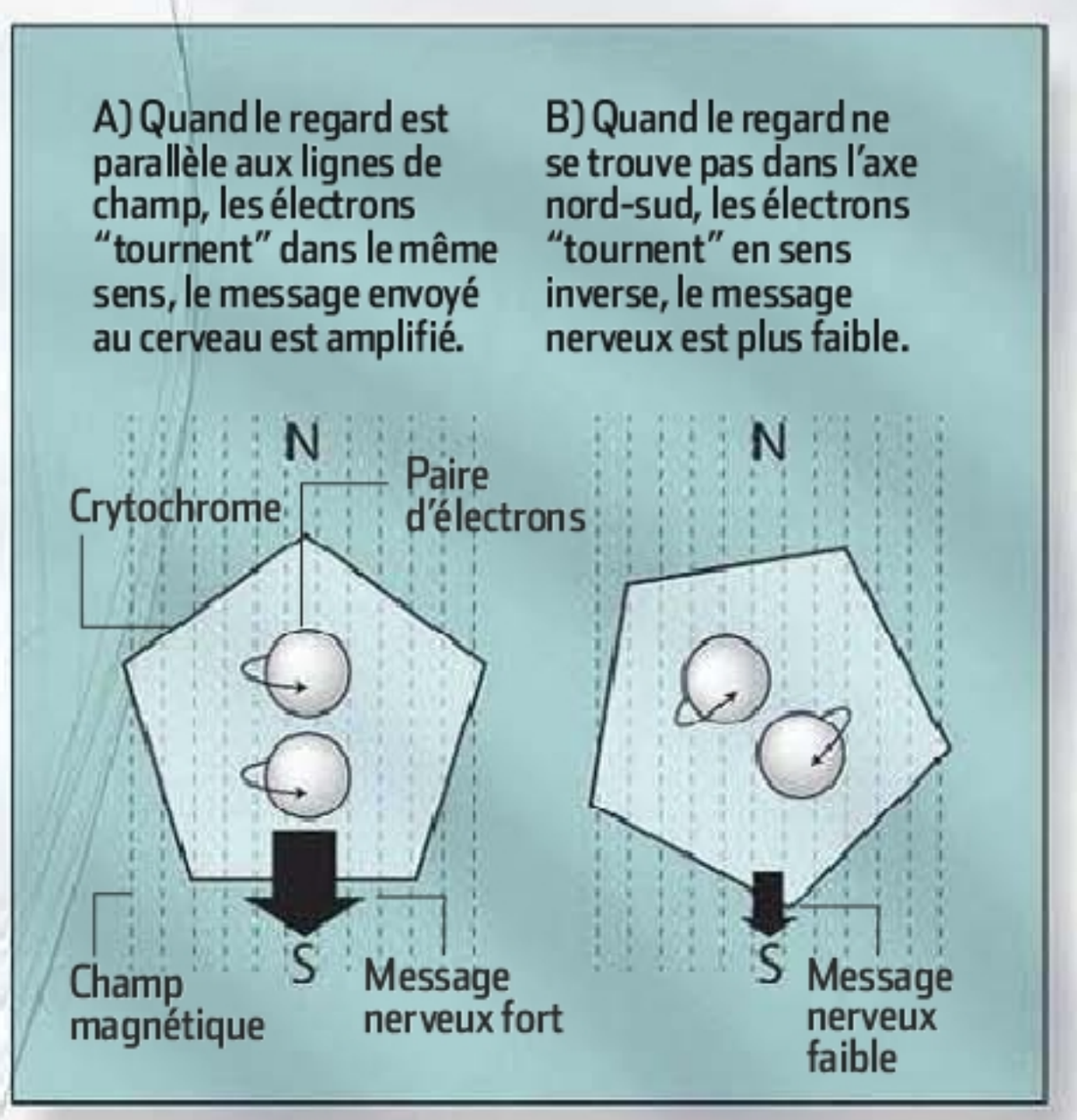
De la magnétite, molécule aux propriétés magnétiques toujours orientée selon l'axe nord-sud, a été repérée dans des cellules du cerveau. Chaque mouvement de la tête la déplacerait dans ces cellules, provoquant l'ouverture ou la fermeture de canaux présents sur la membrane et, partant, l'envoi ou non de signaux chimiques.





2 Des capteurs dans la rétine

En réagissant avec la lumière, les cryptochromes, ces molécules photosensibles présentes dans la rétine, produisent des paires d'électrons libres. Or, la position de ces deux électrons l'un par rapport à l'autre, qui dépend de la direction du champ magnétique, influencerait l'activité de la rétine, et donc le message envoyé au cerveau par le nerf optique.



LIGNES À HAUTE TENSION : DES CRAINTES FINALEMENT JUSTIFIÉES ?

Si notre corps est capable de ressentir le champ magnétique… les ondes électromagnétiques peuvent-elles le perturber ? Pour les lignes à haute tension, qui produisent des champs assez intenses – contrairement au wi-fi, aux portables ou aux antennes-relais –, l'hypothèse d'un sens magnétique humain relance la question. Il faut dire que la réponse est aujourd'hui loin d'être claire… Certes, quelques études suggèrent que vivre à proximité de lignes à haute tension pourrait augmenter le risque d'apparition de leucémies infantiles. Mais toutes les agences de santé à travers le monde considèrent que les preuves restent insuffisantes pour établir de manière certaine leur dangerosité. Le Centre international de recherche sur le cancer ne les classe même pas comme cancérogènes "probables", mais seulement comme "possibles", au même titre que le café. Parmi leurs arguments : l'absence de mécanisme biologique pouvant expliquer des effets délétères. Dans ce contexte, l'hypothèse d'un sens magnétique chez l'homme représente donc une piste d'explication intéressante. En effet, des études ont suggéré, pour expliquer les effets potentiels des ondes électromagnétiques sur la santé humaine, que celles-ci perturberaient notre rythme veille/sommeil. Or, le champ magnétique est lui-même impliqué dans la régulation des rythmes biologiques des espèces magnétoréceptrices, comme cela a été démontré, notamment, chez la mouche et la plante. La présence d'un sens magnétique chez l'homme pourrait donc constituer une première piste solide pour enfin faire la lumière sur cette question.

^ La dangerosité des champs intenses émis par ces lignes n'a jamais pu être établie ; mais le débat reste ouvert.

→ la direction dans laquelle ils étaient orientés, dans un lieu inconnu et les yeux bandés. Ses résultats, publiés dans la revue *Science* en 1980, firent beaucoup de bruit: les étudiants auraient montré une capacité naturelle à se situer dans l'espace… sauf lorsqu'un aimant avait été fixé sur leur front ! Mais l'excitation suscitée par cette découverte allait rapidement s'effondrer, car aucun des chercheurs ayant tenté de reproduire les travaux de Baker ne retrouva ces résultats. L'hypothèse de la capacité humaine à ressentir le champ magnétique terrestre en ressortit fortement discréditée.

Elle fut ressuscitée par la découverte de molécules sensibles au champ magnétique chez différentes espèces, dont l'homme. Une piste ouverte au début des années 1970… par hasard. A l'époque, *"le microbiologiste Richard Blakemore découvre que, lorsqu'il met un pot de sédiments marins près d'un agitateur magnétique, utilisé pour remuer des solutions liquides, il s'y dessine un tourbillon"*, raconte Hervé Cadiou. Le chercheur britannique remarque alors que ce tourbillon est créé par des bactéries cachées dans les sédiments, capables de s'orienter par rapport au champ magnétique grâce à une molécule très particulière : la magnétite… utilisée pour fabriquer les aiguilles des boussoles ! Ce minéral aux propriétés magnétiques forme de longues chaînes qui s'accrochent aux membranes cellulaires. A la manière de l'aiguille d'une boussole, ces chaînes sont toujours orientées dans l'axe nord-sud, ce qui oblige mécaniquement les bactéries à en faire de même. *"Ces bactéries, qui vivent dans des milieux très particuliers, à faibles concentrations en oxygène, nagent toujours le long des lignes de champ magnétique, ce qui leur permet de ne pas se perdre"*, explique Damien Faivre, de l'Institut Max-Planck.

F.ACERBIS/SIGNATURES

JARGON

Le champ magnétique est un ensemble de forces induites par un aimant ou par un courant électrique. Avec la gravitation et les forces nucléaires faible et forte, il fait partie des 4 forces fondamentales qui régissent notre univers.

Ainsi, les êtres vivants sont capables de produire leurs propres boussoles ! Cette magnétite pourrait-elle constituer la clé du sens magnétique chez les animaux ? Pour le savoir, les chercheurs se sont lancés dans la traque de ce précieux minéral, au cœur de nombreuses cellules, organes et espèces… Un travail laborieux, mais payant : cette boussole moléculaire a été identifiée chez plusieurs animaux, dans des cellules de la muqueuse olfactive de la truite, dans la partie supérieure de becs de pigeons et… dans le cerveau humain ! De quoi donner forme à une première hypothèse d'un mécanisme susceptible d'être à l'œuvre en nous : chaque mouvement de la tête entraînerait celui de la magnétite – toujours orientée dans l'axe nord-sud – par rapport aux cellules qui la contiennent. Ces mouvements provoqueraient mécaniquement l'ouverture de canaux dans la membrane des cellules, ce qui permettrait l'envoi de messages chimiques à des cellules nerveuses en contact direct avec elles (voir infographie p. 78). Mais cela n'a encore jamais été démontré chez l'homme. Et, pour de nombreux chercheurs, la magnétite pourrait n'être, dans notre espèce, qu'un simple déchet cellulaire…

UN DEUXIÈME RÉCEPTEUR DANS LA RÉTINE

La découverte d'un deuxième mécanisme va cependant finir de les convaincre. Ce mécanisme est pour la première fois envisagé à la fin des années 1990 avec la découverte du cryptochrome, une molécule sensible à la lumière, présente chez les plantes et dans la rétine de nombreux animaux, dont l'homme. En réagissant à la lumière, cette molécule produit des radicaux libres, des particules chargées électriquement et dont la position des électrons les uns par rapport aux autres influence les réactions chimiques qui se produisent dans la rétine. Or, la position de ces électrons dépend elle-même de la direction du champ magnétique ! Des modifications de ce dernier pourraient donc se traduire par des variations d'activité dans la rétine. De quoi imaginer une seconde forme de magnétoréception, qui passerait par exemple par l'apparition de différentes taches, plus ou moins lumineuses, à l'intérieur du champ visuel, selon l'orientation du regard par rapport aux lignes de champ magnétique (voir infographie).

Cette hypothèse est renforcée par de nombreuses observations, à commencer par une étude de 1993 montrant que les rouges-gorges sont capables de s'orienter par rapport au champ magnétique uniquement sous des lumières bleues et vertes, auxquelles le cryptochrome est spécifiquement sensible. D'autres résultats tendant →

ILS ONT DONNÉ UN NOUVEAU SENS À UNE ESPÈCE

Et si nous pouvions induire notre propre sens magnétique ? C'est en tout cas l'exploit que viennent d'accomplir, chez la levure, Keiji Nishida et Pamela Silver, de Harvard. En supprimant le gène responsable de l'élimination de l'excès de fer dans les cellules, ces derniers ont obtenu des levures… attirées par les aimants ! En plus de l'exploit que constitue le fait de conférer un tout nouveau sens, transmissible aux générations suivantes, à une espèce, cette expérience ouvre la possibilité d'étudier, chez la levure, les mécanismes de magnétoréception potentiellement à l'œuvre dans les neurones humains.

LE PARANORMAL CRÉDIBILISÉ ?

FENG SHUI : une possible justification

Va-t-on tous se mettre à dormir la tête vers le nord ? Les théories, comme celle associée au *feng shui*, qui insistent sur l'orientation des personnes dans leurs activités quotidiennes, pourraient trouver une justification dans la découverte d'un sens magnétique humain. Si les vaches, les cerfs et les renards préfèrent l'axe nord-sud… pourquoi pas l'homme ? La question est légitime, mais il faut rappeler que, pour l'instant, rien ne prouve, ni même ne suggère, que dormir ou travailler dans une orientation particulière a un quelconque effet sur le bien-être physique ou mental !

→ à impliquer ce mécanisme ont été retrouvés chez de nombreuses espèces, comme la mouche du vinaigre ou l'arabette des dames, célèbre plante de laboratoires. L'une de ces espèces est *Homo sapiens*… et la démonstration est à la hauteur des réticences de la communauté scientifique sur le sujet !

QUEL IMPACT SUR NOTRE ORGANISME ?

En 2011, l'équipe de Thorsten Ritz, de l'université de Californie, à Irvine (Etats-Unis), a ainsi créé des mouches mutantes, dénuées de cryptochrome, et donc incapables de s'orienter par rapport à un champ magnétique. Or, après que le gène du cryptochrome humain leur fut transféré, ces mouches ont retrouvé leur sens magnétique. Preuve que le cryptochrome humain est, lui aussi, capable de détecter le champ magnétique ! Une découverte qui renforce les conclusions des études menées par Franz Thoss dans les années 2000. Ce chercheur allemand a montré, en soumettant plusieurs personnes à un test de détection de *stimuli* lumineux d'intensités croissantes, que l'œil humain détectait plus facilement la lumière quand le regard était dirigé parallèlement aux lignes de champ magnétique. La différence de sensibilité était suffisamment faible pour expliquer que, en dehors de tout cadre expérimental, personne ne se soit jamais aperçu de cette incroyable faculté !

Aujourd'hui, les indices sont là, nombreux et solides : l'homme possède tous les outils moléculaires et tous les circuits cellulaires pour capter les champs magnétiques. Quand certaines espèces n'exploitent que la magnétite ou que le cryptochrome, d'autres, comme l'homme, pourraient bénéficier de l'activité de ces deux récepteurs à la fois. Reste à découvrir si cette information est bien prise en compte par notre cerveau, et comment celle-ci pourrait, sans que nous en soyons conscients, se répercuter sur le fonctionnement de notre organisme. Quelques études publiées, mais jamais répliquées, ont évoqué des différences dans l'activité électrique du cerveau ou dans la rapidité des mouvements oculaires de personnes endormies, en fonction de l'orientation dans laquelle ces dernières étaient allongées. Mais des études plus sérieuses, menées sur de grands échantillons de population, manquent encore. Peut-être les récentes découvertes permettront-elles enfin à de tels projets d'être lancés.

Les chercheurs demeurent très sceptiques sur la capacité de l'homme à déduire son orientation du champ magnétique, aucune étude, depuis celle de Baker, n'ayant mis en évidence une

ENFOUI EN NOUS SE CACHERAIT DONC UN SIXIÈME SENS… QUE NOUS SOMMES INCAPABLES D'UTILISER !

telle faculté. *"Si cela existe vraiment, je ne m'y fierais pas pour trouver ma direction"*, s'amuse Thorsten Ritz. Et ces découvertes sont loin de fournir une explication scientifique aux pratiques des sourciers et des magnétiseurs ou au *feng shui* (voir ci-dessus). Mais elles devraient renforcer le débat sur un autre sujet brûlant : la

S.MALLON/GETTY - C.GRAY/GETTY - S.ELLERINGMANN/LAIF-REA

MAGNÉTISEURS : un terme trompeur

Guérir grâce aux mains d'un magnétiseur posées sur une partie du corps ou une photo… voilà qui fait rêver ! Mais la découverte d'un potentiel sens magnétique humain ne donne aucun crédit à ces allégations, fondées sur la théorie du magnétisme animal. Développée par le médecin Franz-Anton Mesmer au XVIIIe siècle, la théorie selon laquelle l'homme pourrait émettre un fluide vital au potentiel thérapeutique n'a jamais été validée scientifiquement.

SOURCELLERIE : une très fragile piste d'explication

Les sourciers devraient être contents : l'hypothèse d'un sens magnétique humain renforce l'idée qu'ils pourraient détecter des sources d'eau souterraines *via* les perturbations de champ magnétique. Mais cela n'explique pas pourquoi seuls certains auraient cette capacité… et en quoi une baguette amplifierait le signal. Aucune étude n'a démontré la faculté des sourciers à détecter des sources d'eau plus souvent que par le simple hasard.

question des risques sanitaires liés aux ondes électromagnétiques issues des lignes à haute tension (voir encadré p. 80).

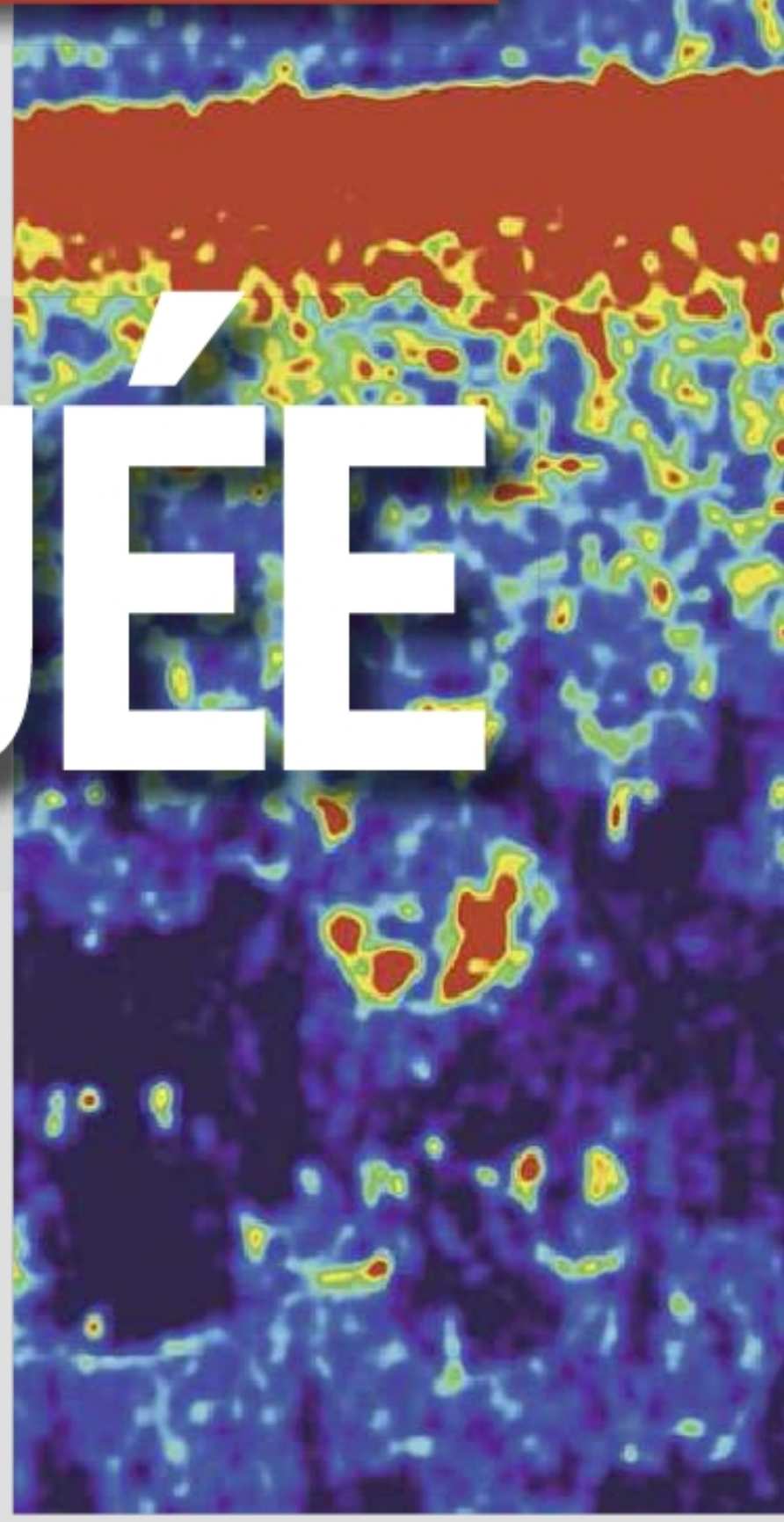
Pourquoi aurions-nous conservé un sens que nous ne savons visiblement pas comment employer ? *"Peut-être qu'il y a très longtemps, nos ancêtres s'en servaient pour s'orienter, et que nous avons, depuis, perdu cette capacité"*, propose Franz Thoss. Autre hypothèse : malgré la présence dans notre organisme de tous les outils permettant de percevoir le champ magnétique, nous n'aurions jamais développé les moyens d'intégrer cette information et de l'utiliser pour notre orientation. C'est déjà le cas des plantes, dont le champ magnétique influence la croissance (voir *S&V* n° 1074). Si elles ne tirent aucun profit de ce sens magnétique, elles auraient cependant conservé le cryptochrome pour ses autres fonctions essentielles – réception de la lumière et régulation des rythmes biologiques quotidiens. Peut-être la magnétoréception a-t-elle été conservée de la même manière chez l'homme, malgré son inutilité…

L'une des grandes difficultés, pour tirer cette affaire au clair, est que l'influence du champ magnétique terrestre est très faible, donc difficile à démontrer. *"Cela a freiné les avancées"*, regrette Margaret Ahmad, de l'université Pari-VI. Mais le frein principal est probablement d'ordre psychologique. Ce domaine dans lequel peu d'équipes osent se lancer *"porte encore les stigmates d'une imagerie populaire associée aux mages et aux magnétiseurs"*, explique Hervé Cadiou, qui reconnaît que *"beaucoup d'études non rigoureuses ont été menées sur ce sujet dans le passé, et ont fait beaucoup de tort à la recherche"*.

Grâce à l'entêtement de quelques chercheurs, un impressionnant chemin a quand même été parcouru. Il y a cinquante ans, le sens magnétique n'était qu'un fantasme. Or, on admet aujourd'hui que ce phénomène, qui a longtemps relevé du domaine de l'étrange, irrigue presque toutes les branches de l'arbre de la vie. Et après tout, que la vie soit sensible aux forces qui la bercent, en tous points du globe, depuis son apparition… cela est-il vraiment si étrange ?

ON PEUT ENFIN SAVOIR SI UNE PHOTO EST TRUQUÉE

Supprimer ou insérer un élément, modifier ici, accentuer là… A l'ère du numérique et de Photoshop, la falsification des images est devenue aussi aisée que difficile à repérer. C'était avant Tungstène, un logiciel capable de traquer la moindre retouche. Et ça marche ! Démonstration en images.

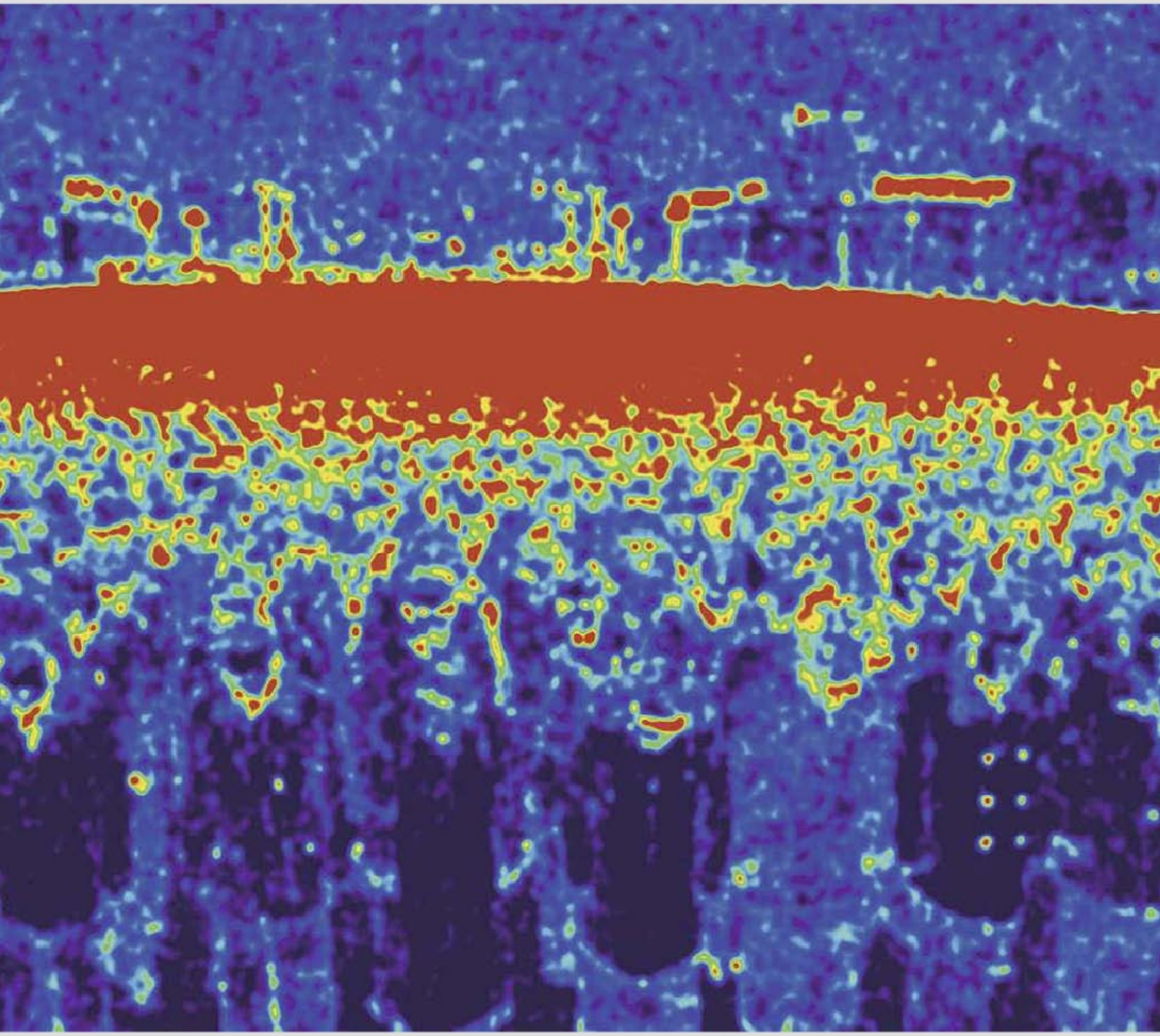


PAR MURIEL VALIN

TUNGSTÈNE, LE LOGICIEL QUI DISTINGUE LE VRAI DU FAUX

Regardez cette tache rouge : elle révèle que le cliché d'origine (à g.), pris le 28 décembre 2011 lors des funérailles de Kim Jong-il, l'ex-dirigeant de la Corée du Nord, a été largement retouché, pour renforcer la densité de la foule. Un trucage mis au jour par l'analyse de Tungstène : ce logiciel, conçu par deux informaticiens français, décortique les fichiers numériques des images et détecte toutes les manipulations.

DR - EXO MAKINA

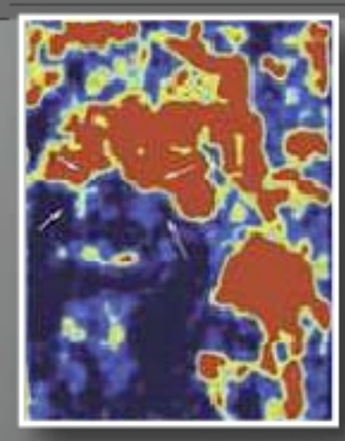


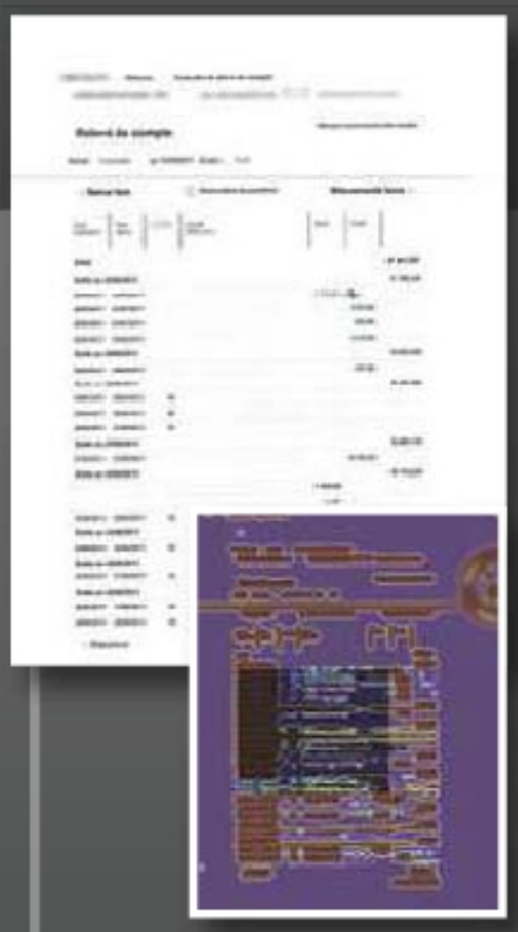
QUAND TUNGSTÈNE DÉVOILE LES FALSIFICATIONS

Mort d'Oussama Ben Laden

Portrait diffusé en mai 2011

Tous les points de l'image ne viennent pas d'un même capteur électronique. Ainsi, les taches rouges et jaunes d'une part, bleues d'autre part, n'ont pas été prises par le même appareil. Il s'agit là d'un photomontage: la barbe et la partie inférieure du visage de Ben Laden ont été "collées" sur la photo d'un autre corps, au visage tuméfié.

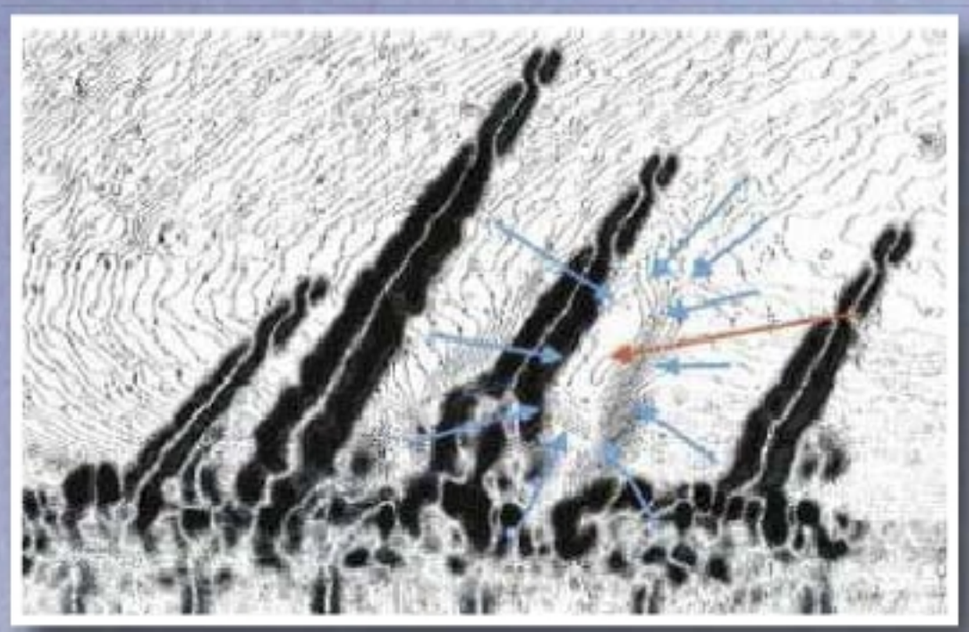




Relevé de compte

Document présenté comme preuve judiciaire fin 2011

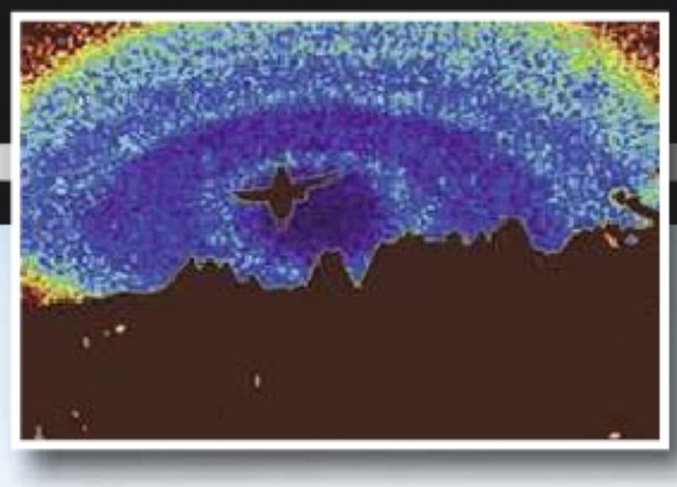
L'analyse a détecté des traces d'anciennes écritures (les auréoles colorées) qui ne correspondent pas au texte plus récent. Ce document a en réalité été obtenu à partir de la superposition de quatre documents différents!



DR - EXO MAKINA - AFP

Ovni volant en Californie

Image relayée sur Internet en 2007



Le logiciel perçoit un vignettage anormal : autrement dit, le halo et les bordures plus sombres qu'on observe habituellement aux quatre angles d'une photo apparaissent ici, à gauche, juste au-dessus des arbres. Un défaut qui prouve que l'image n'est pas d'origine : le ciel a été modifié pour gommer ou… insérer des détails.

Missiles en Iran

Photo diffusée en 2008

L'analyse révèle plusieurs anomalies : les pixels sont identiques à deux endroits de la photo (les deux missiles de droite et les nuages de poussière au sol), tandis que la lumière se diffuse de manière aberrante le long de la trajectoire d'un des missiles (flèches). Verdict : le troisième missile en partant de la gauche et le panache de poussière à sa base ont été dupliqués à partir du missile de droite puis collés… vraisemblablement pour dissimuler quelque chose.

WHITE HOUSE/AFP IMAGE FORUM - N.CELIS/AFP - EXO MAKINA - DR - AFP IMAGE FORUM

QUAND TUNGSTÈNE CERTIFIE L'AUTHENTICITÉ

Festivités pour le Nouvel an chinois

Image relayée sur Internet en janvier 2012

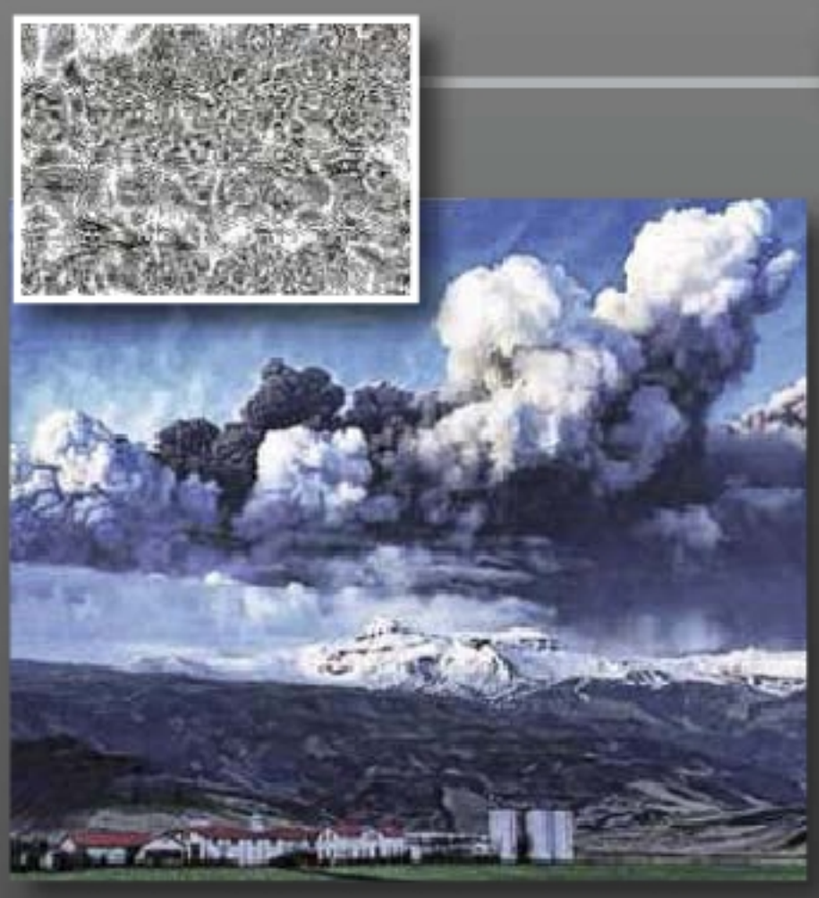
La flamme soufflée par ce cracheur de feu présente curieusement l'allure d'un dragon. Alors que la Chine entre justement dans l'année du dragon, la coïncidence semble un peu forte ! Pourtant, l'analyse ne décèle aucun trucage.

QUAND TUNGSTÈNE RÉVÈLE LES RETOUCHES

Retransmission de l'arrestation de Ben Laden à la Maison Blanche

Cliché diffusé en mai 2011

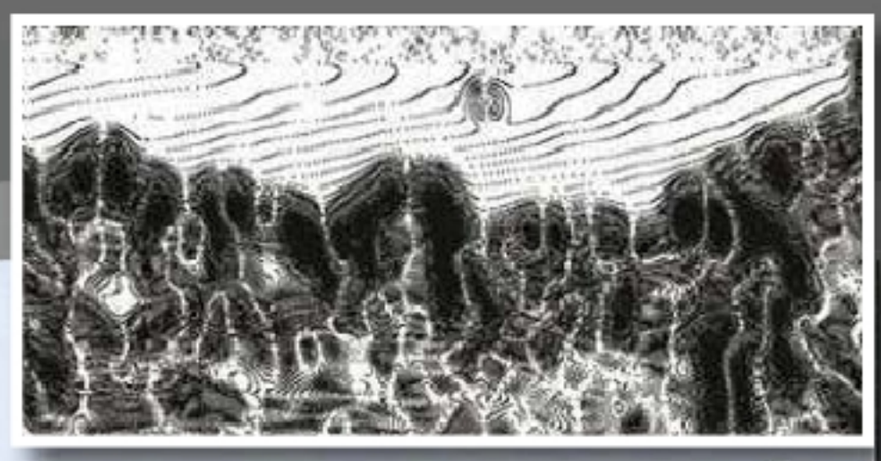
Voici une scène très travaillée : Hillary Clinton et la partie gauche du visage du président Barack Obama ont été éclairés, l'éclat des décorations militaires rehaussé, certains documents floutés, d'autres au contraire rendus plus nets.



Eruption du volcan islandais Eyjafjöll

Image publiée en avril 2010

Cette photo a tout d'une image de synthèse. L'analyse révèle des lignes de dégradés totalement déstructurées, qui ne correspondent à aucune lumière naturelle. Si les contours ont bien été conservés, toutes les lumières et ombres ont été accentuées.



Bande de Gaza

Photo diffusée en mai 2007

Un missile est photographié en plein vol, juste avant son explosion. Mais la netteté de l'engin suscite la méfiance. Le cliché est analysé pour vérifier si le missile fait bien partie intégrante de l'image. Verdict : là non plus, aucune falsification à signaler ; la photo est authentique.

Photos de mode aux corps sublimés, images de presse déformées, photos de guerre trafiquées, documents falsifiés… Depuis l'avènement du tout numérique, on croyait la guerre perdue : celle opposant les "truqueurs", qui cherchent à corriger discrètement le contenu de certains clichés, aux "traqueurs", qui s'efforcent, eux, de vérifier l'authenticité des images pour le compte des services de renseignements, de la justice, de la défense ou de la presse. Du moins, on était entré dans l'ère du soupçon où, grâce aux logiciels de traitement d'images numériques, tels Photoshop, n'importe qui semblait pouvoir devenir un falsificateur aux retouches indécelables.

Hé bien, non ! Car une réponse antifraude est en train de faire ses preuves de manière spectaculaire. Son nom : Tungstène. Il s'agit du premier logiciel au monde capable de détecter en quelques minutes – quelques heures quand l'image est complexe – d'éventuelles retouches numériques sur le fichier d'une photo, même quand on ne dispose pas de l'original. *"Tout a commencé en 2009 par une demande des ministères de la Défense et de l'Intérieur, qui cherchaient à se doter d'un outil de détection*, se souvient Roger Cozien, cofondateur avec Dominique Haglon de l'entreprise française eXo maKina, qui a conçu le logiciel. *Cela faisait quelques années que plusieurs équipes de chercheurs dans le monde, surtout aux Etats-Unis, travaillaient sur le sujet ; mais il n'existait alors aucun programme capable de révéler une anomalie sur une photo."*

DANS LA GUERRE DES IMAGES, TUNGSTÈNE MARQUE UNE VRAIE DATE

Les deux experts en informatique développent une stratégie inédite, strictement mathématique, qui analyse les clichés grâce à trois méthodes (voir encadré ci-dessous) : une approche optique, qui recherche les aberrations lumineuses ; une approche algébrique, qui traque les défauts dans les fichiers porteurs de l'image ; et une approche "archéorithmique", qui reconstitue les interventions dans l'historique du fichier, jusqu'à l'appareil qui a fait la prise de vue. En quelques mois, un prototype est prêt. Tungstène est capable d'analyser le fichier numérique d'une photographie (enregistrée en format jpeg, tiff, bmp ou pdf) et d'identifier les zones suspectes (rayons lumineux incohérents, couleurs aberrantes, clonage d'objet, suppression d'information…) en les colorisant.

Missiles iraniens dupliqués, photos d'un bombardement à Gaza authentifiées : la Défense, l'Intérieur et l'agence de presse AFP, qui mettent le logiciel à l'épreuve, sont rapidement conquis. La consécration internationale arrive en mai 2011, avec l'analyse ultrarapide de l'image prétendue du cadavre de Ben Laden (voir p. 86). *"Le 2 mai, à 7h30, nous avons reçu un appel du* Nouvel Observateur, *qui avait un doute sur une image circulant sur les télés et Internet*, se souvient Roger Cozien. *Une heure plus tard, nous avons pu affirmer qu'il s'agissait d'un faux : différentes parties de la photo ne venaient pas du même capteur électronique. L'image était un photomontage, fait à partir de deux clichés : le*

TROIS ARMES POUR DÉCELER LES TRUCAGES

Tungstène utilise trois méthodes pour débusquer les éventuelles retouches.

▫ **Méthode optique :** En étudiant le codage de la lumière et de la couleur, le logiciel est capable de repérer les aberrations : une lumière qui diffuse étrangement, plusieurs sources lumineuses sur une seule photo…

▫ **Méthode algébrique :** Suivant son format d'enregistrement et sa qualité, le fichier présente des structures mathématiques qui obéissent à des lois connues. Si la photo est truquée, ces structures sont modifiées : le logiciel repère ces anomalies.

▫ **Méthode dite "archéorithmique" :** Un fichier numérique garde en mémoire des caractéristiques directement liées au capteur de l'appareil photo. Le logiciel peut analyser l'image pour voir si toutes les zones ont été prises par un même appareil, identifier ce dernier (modèle, marque), et déduire le nombre de fois où l'image a été enregistrée.

bas du visage et la barbe de Ben Laden, et le haut du visage d'un autre cadavre."

Depuis, l'AFP utilise régulièrement le logiciel. *"Cet outil nous est très précieux car jusqu'ici, l'analyse d'images se faisait de manière empirique, avec l'œil de notre éditeur*, explique Antonin Thuillier, chargé d'exploiter ce nouvel outil au sein de l'agence de presse. *Aujourd'hui, nous pouvons vérifier scientifiquement toutes les photos qui nous paraissent bizarres. Nous lançons aussi le logiciel si la source n'est pas fiable ou si les images portent une charge informative très importante. Une situation qui se produit environ une fois par mois à l'AFP."* Le journaliste vient justement d'analyser des images de bombardement en provenance de Syrie, envoyées par des rebelles. Verdict: elles sont authentiques.

UNE BATAILLE SANS FIN

Le logiciel est tout aussi apprécié du côté de la Défense. *"Même si cela ne conduit pas à reconstituer l'apparence originale de l'image, un pas important a été franchi"*, estime un ancien cadre du ministère, utilisateur de Tungstène. Idem, selon plusieurs sources, du côté des services du renseignement militaire. Dès lors, la fin du trucage est-elle annoncée? *"Non*, répond franchement Roger Cozien. *Cette guerre entre truqueurs et détecteurs de trucages ne sera probablement jamais terminée, car la bataille est constamment remise à jour par l'arrivée de nouvelles technologies. Mais avec Tungstène, fabriquer un trucage indécelable devient plus compliqué."*

Le logiciel continue à être développé. De l'aveu même de son créateur, certains fichiers, trop vieux, trop petits ou compressés avec de nouveaux modes d'encodage, résistent parfois à l'analyse. Ces travaux d'authentification pourraient également être déclinés aux fichiers vidéo. *"Il y a aussi d'énormes besoins dans ce domaine, mais le volume d'informations y est bien plus grand, ce qui rend le travail plus long et complexe"*, commente Jean-Luc Dugelay, chercheur à Eurecom (Sophia Antipolis), spécialiste en traitement d'images.

Pour l'heure, l'objectif est d'améliorer ces techniques de détection de retouches puis de les tester sur de très larges bases de données. Un plus grand groupe de recherche, comprenant eXo maKina mais aussi d'autres laboratoires et entreprises experts en traitement du signal (Télécom Bretagne, C-S…), financé par la Direction générale de l'armement (DGA), travaille sur un stock de 6 000 photos.

"On veut créer une émulation. L'objectif est de détecter au plus tôt les tentatives de manipulation, en automatisant dès que possible les traitements", explique Antoine Grolleau, en charge du projet à la DGA.

On en est encore loin. Faire la distinction entre le développement artistique jouant sur le contraste et l'exposition d'une part, et les altérations visant à modifier le sens d'autre part, reste hors de portée des automates. *"L'intelligence humaine demeure nécessaire pour faire cet arbitrage"*, commente l'ancien cadre du ministère de la Défense. Le plan des prochaines batailles semble tracé. Les traqueurs ont déjà marqué un point. Reste à voir la réaction des truqueurs. ▮

L'ARGENTIQUE SAVAIT Y FAIRE

Falsifier n'est pas une spécificité du numérique. Loin s'en faut! *"La photographie a longtemps été perçue comme une source d'information authentique que personne n'osait remettre en question*, explique Françoise Denoyelle, spécialiste de l'histoire de la photographie. *Mais il faut avoir en tête que dans les années 1930, à l'Ecole Louis-Lumière, les élèves qui venaient se former au métier de photographe avaient jusqu'à huit heures de cours par semaine consacrées à l'apprentissage technique de la retouche."* Dès l'invention de la photographie, on grattait les plaques de verre avec des plumes, avant de les peindre pour enlever certains détails ou embellir des visages. Ciseaux, gouache, encres grises, négatifs masqués, coloriés, coupés, remontés ou recadrés: les outils restaient rudimentaires. Mais les images étant reproduites dans la presse ou les livres, il n'était pas toujours facile, sans la pellicule originale, de repérer des retouches, même grossières.

v A l'époque de Staline, Nikolai Yezhov, responsable du NKVD, fut effacé des photos officielles.

DAVID KING COLLECTION

LA TERRE A DEUX LUNES!

On croyait la Lune unique : erreur ! Car des calculs l'ont établi : issu de la lointaine ceinture d'astéroïdes, un petit géocroiseur orbite en permanence autour de la Terre. Une seconde lune qu'il s'agit à présent de prendre sur le vif.

PAR MATHILDE FONTEZ

FOTOLIA - DR

C'est l'histoire d'un couple mal assorti. Tandis qu'elle est lumineuse et se donne en spectacle chaque nuit ou presque, lui, brun ténébreux, prend garde de demeurer à l'abri des regards. Quand elle joue une chorégraphie réglée au millimètre, il se perd en pirouettes chaotiques. Elle est gironde et majestueuse ; lui n'est qu'une minuscule boule de roche cabossée. Elle est fiable, il est inconstant. Elle est rassurante, il est mystérieux… Ces deux-là sont pourtant de la même espèce, celle des satellites naturels de la Terre. On croyait notre Lune unique ; on la voyait comme un astre solitaire à qui les étoiles ne tiennent compagnie que par illusion d'optique ; on se trompait. Trois astronomes viennent en fait de montrer que l'astre de nos nuits a un partenaire de ballet. Mikael Granvik de l'université d'Helsinki, Jérémie Vaubaillon de l'Institut de mécanique céleste et de calcul des éphémérides →

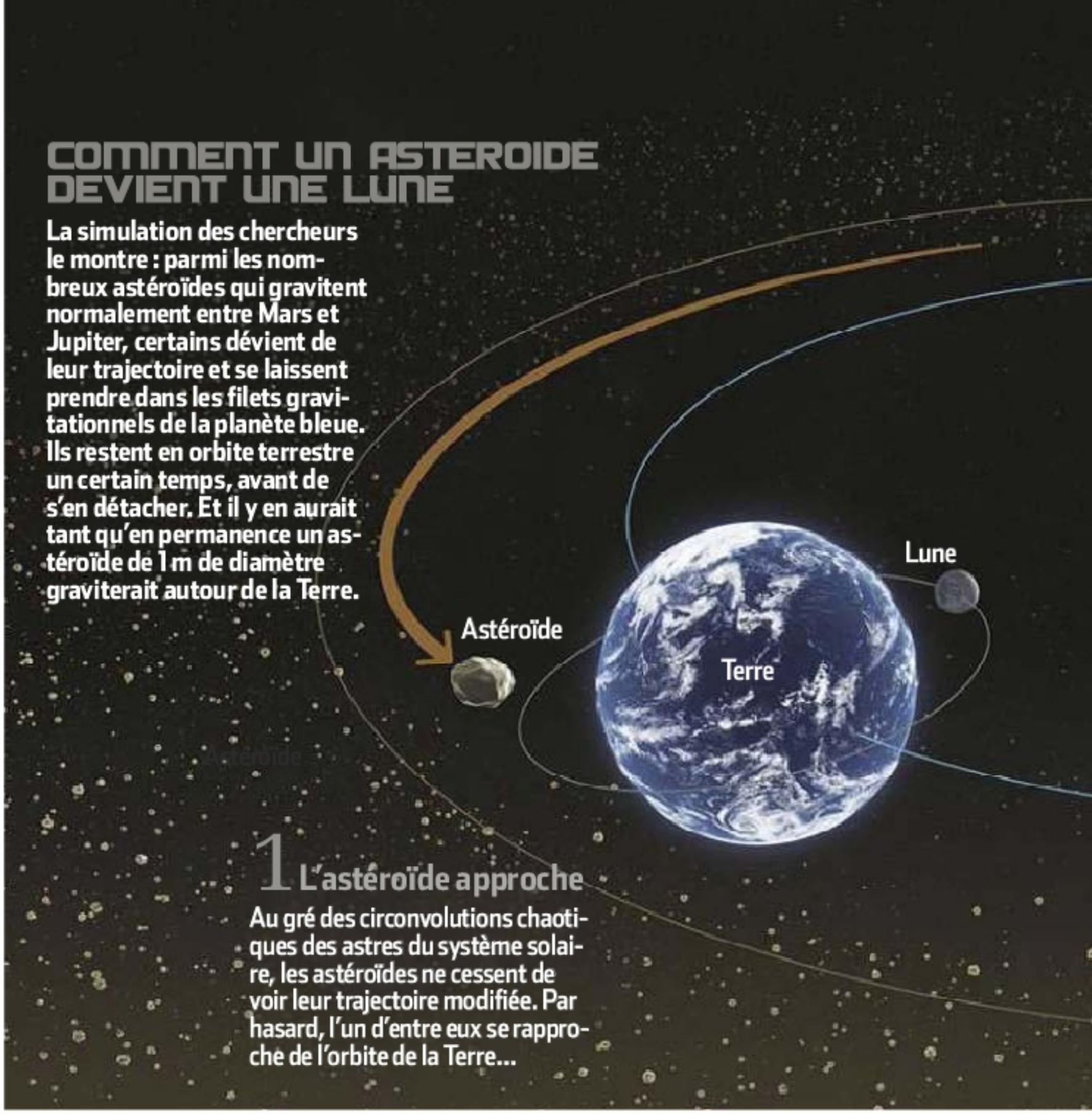
→ de Paris et Robert Jedicke de l'observatoire d'Hawaï ont découvert que la Terre a non pas une, mais deux lunes !

La traque méthodique qui vient de porter ses fruits n'a pas eu lieu dans le ciel… mais sur le papier. Car les trois chercheurs sont des théoriciens. Spécialistes de mécanique céleste, ils évaluent les astéroïdes qui, au lieu de graviter avec la majorité de leurs semblables entre Mars et Jupiter, se sont égarés jusqu'à s'approcher de la Terre.

ASTÉROÏDES "GÉOCROISEURS"

C'est donc tout naturellement que leur est venue l'idée de calculer si les "astéroïdes géocroiseurs" pouvaient être arrachés de leur orbite solaire et rejoindre la Lune autour de la Terre. "*L'idée qu'un astéroïde puisse se faire capturer par la Terre n'est pas neuve*, précise Mikael Granvik. *On s'est convaincu depuis longtemps que c'est possible, notamment en observant les planètes géantes.*" C'est une question purement mécanique: à force d'être ballottés au gré des mouvements des autres astres du système solaire, de petits corps peuvent voir leur trajectoire se modifier, leur course se ralentir. Et si par hasard, ils frôlent l'orbite d'une planète alors que leur vitesse est au plus bas, ils peuvent quitter l'influence du Soleil, tels des seconds rôles délaissant le danseur étoile d'un ballet pour aller valser avec un autre partenaire. Seulement jusque-là, les modèles en trois dimensions nécessaires pour simuler leurs trajectoires n'existaient pas.

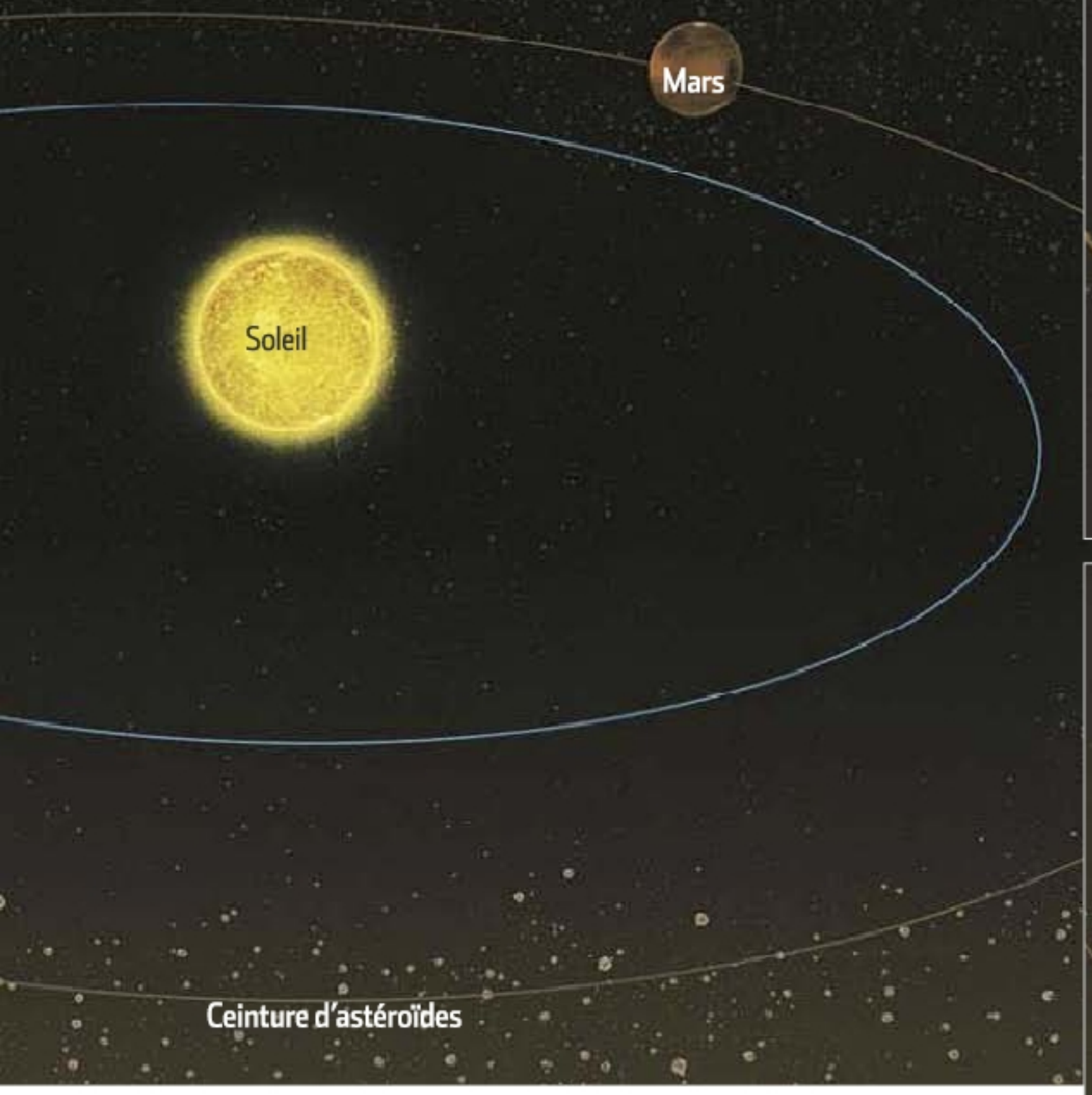
Il faut dire que le calcul dans lequel se sont lancés les trois chercheurs est loin d'être trivial. Certes, les planètes, les astéroïdes, les satellites et autres comètes ne sont soumis qu'à une force: la gravitation. Certes, nul besoin d'invoquer les complexes équations de la relativité générale pour décrire un tel système – celles de Newton suffisent. Seulement, cette apparente simplicité est trompeuse. Car c'est une certitude depuis la fin du XIXe siècle, grâce aux travaux du mathématicien Henri Poincaré: prédire la trajectoire d'un astéroïde donné pour savoir s'il a une chance de se satelliser autour de la Terre est théoriquement impossible, l'écheveau des forces qui animent le système solaire, entre l'attraction lointaine mais puissante du Soleil et les minuscules interactions des planètes, ne pouvant être démêlé par le calcul



MIKAEL GRANVIK
SPÉCIALISTE DE MÉCANIQUE CÉLESTE, UNIVERSITÉ D'HELSINKI

La très grande surprise a été de réaliser qu'il y a en permanence un astéroïde en orbite autour de la Terre !

M.PIRINEN/GETTY IMAGES - A.DAGAN



mathématique. "*Je comprends que cela paraisse fou, mais c'est un fait : si l'on sait décrire la trajectoire de deux billes en interaction gravitationnelle, dès qu'il y a trois corps – la Lune, la Terre, le Soleil, par exemple – on ne peut plus résoudre*", résume Alain Albouy, à l'Institut de mécanique céleste et de calcul des éphémérides de Paris.

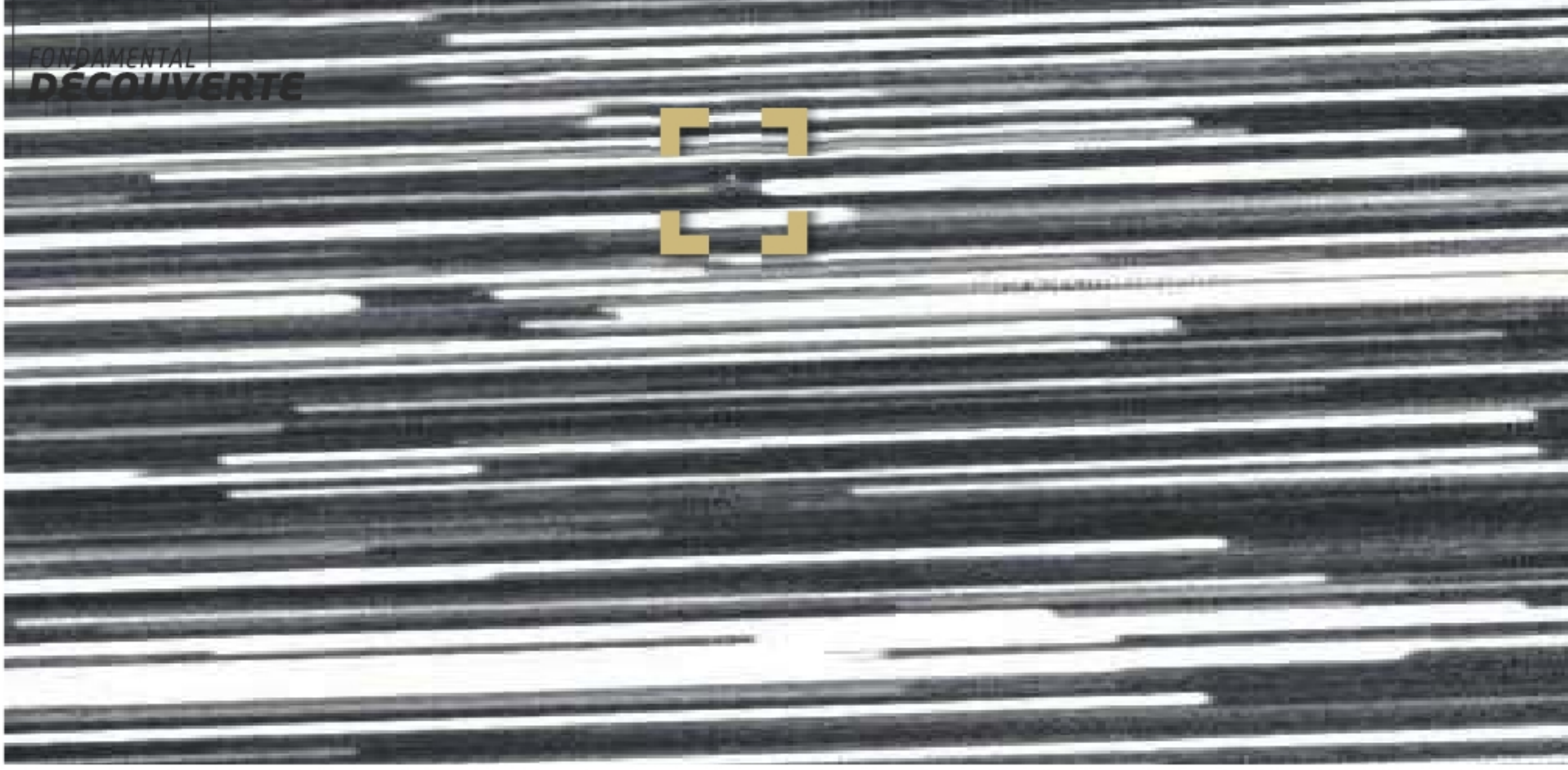
LE SUPERCALCULATEUR JADE

"*Nous n'avions donc pas le choix : pour s'attaquer au problème, il fallait faire de la statistique*, tranche Mikael Granvik. *Il nous fallait regarder l'évolution de millions d'astéroïdes à l'aide d'une simulation pour voir combien allaient se satelliser.*" Les chercheurs en ont finalement pris un milliard. Un milliard d'astéroïdes virtuels qu'ils ont placés dans le grand jeu du système solaire, avant de mettre le tout en mouvement. "*C'est le plus gros calcul que j'ai jamais fait de ma vie !*", précise Jérémie Vaubaillon. Grâce au supercalculateur Jade, basé à Montpellier, il n'aura pourtant fallu attendre le verdict que deux jours. Résultat : la probabilité de capture d'un astéroïde est tellement élevée qu'il y a toutes les chances qu'à chaque instant, il y en ait toujours un autour de la Terre. Il peut parfois y en avoir deux, parfois aucun… mais, le plus souvent, il n'y en a qu'un. Autrement dit, une deuxième lune tourne presque toujours autour de notre planète.

Pour les chercheurs, la surprise est totale : "*On avait bien l'intuition que des astéroïdes de temps en temps se laissaient attraper par la Terre, mais jamais on n'aurait pensé qu'il y en avait toujours un en orbite !*", s'enflamme Mikael Granvik. "*On ne la voit pas, mais elle est là, quelque part au-dessus de nos têtes*", résume, songeur, Jérémie Vaubaillon. Les chercheurs ont même pu brosser son portrait

UN MODÈLE INÉDIT, QUI INTÈGRE 1 MILLIARD D'ASTÉROÏDES VIRTUELS

type : un bloc de poussières agglomérées de 1 m de diamètre, gravitant à quelques centaines de milliers de kilomètres de la Terre (à peine plus loin que la Lune), dont la trajectoire ne cesse d'être perturbée par les →



→ aléas des mouvements des corps du système solaire et dont l'équilibre orbital est très précaire. "*La simulation montre que ces satellites sont temporaires*, confirme Mikael Granvik. *Certains finissent au bout de quelques semaines par tomber sur la Terre, d'autres demeurent en orbite plusieurs centaines d'années… Mais la grande majorité reste stable autour de notre planète une dizaine de mois.*"

L'ASTÉROÏDE, UNE MINE D'OR

Des caractéristiques qui rappellent celles d'un petit corps découvert par hasard le 14 septembre 2006 : 2006 RH_{120}. "*Il s'agit d'un objet de quelques mètres de diamètre qui a gravité autour de la Terre de juillet 2006 à juillet 2007*", précise Mikael Granvik. Les spécialistes ont d'abord cru que ce n'était qu'un bout de fusée datant des missions Apollo ; les mesures de sa luminosité ont finalement montré qu'il était composé de roches. "*Lorsqu'en mars 2009, l'analyse de 2006 RH_{120} a révélé qu'il s'agissait d'un satellite temporaire de la Terre, le premier jamais observé, cela faisait seulement quelques mois que nous travaillions sur le projet,* se rappelle Mikael Granvik. *Trois ans plus tard, nos prédictions théoriques enfin abouties se voient exactement validées par ce seul exemple connu !*"

Cette seconde Lune peut sembler finalement bien décevante. Ce n'est qu'un vulgaire morceau de roche, un satellite minuscule et éphémère. Rien à voir avec l'astre imposant qui éclaire nos nuits et gouverne nos océans. On peut même se demander s'il mérite le nom de "lune"… Mais ces considérations sont loin de doucher l'enthousiasme des trois chercheurs, tout occupés qu'ils sont à rêver d'exploiter leur trouvaille. "*Nous avons là de la matière extraterrestre à portée de main !*, s'enflamme ainsi Mikael Granvik. *C'est une opportunité qu'il faudrait saisir.*" Car sous leurs atours de gros cailloux, les astéroïdes sont de véritables mines d'or pour les astrophysiciens. "*On les soupçonne d'avoir apporté l'eau et les premières molécules de vie sur Terre, et ils gardent intacte la composition du système solaire juste après sa naissance !*", énumère Patrick Michel, à l'observatoire de Nice.

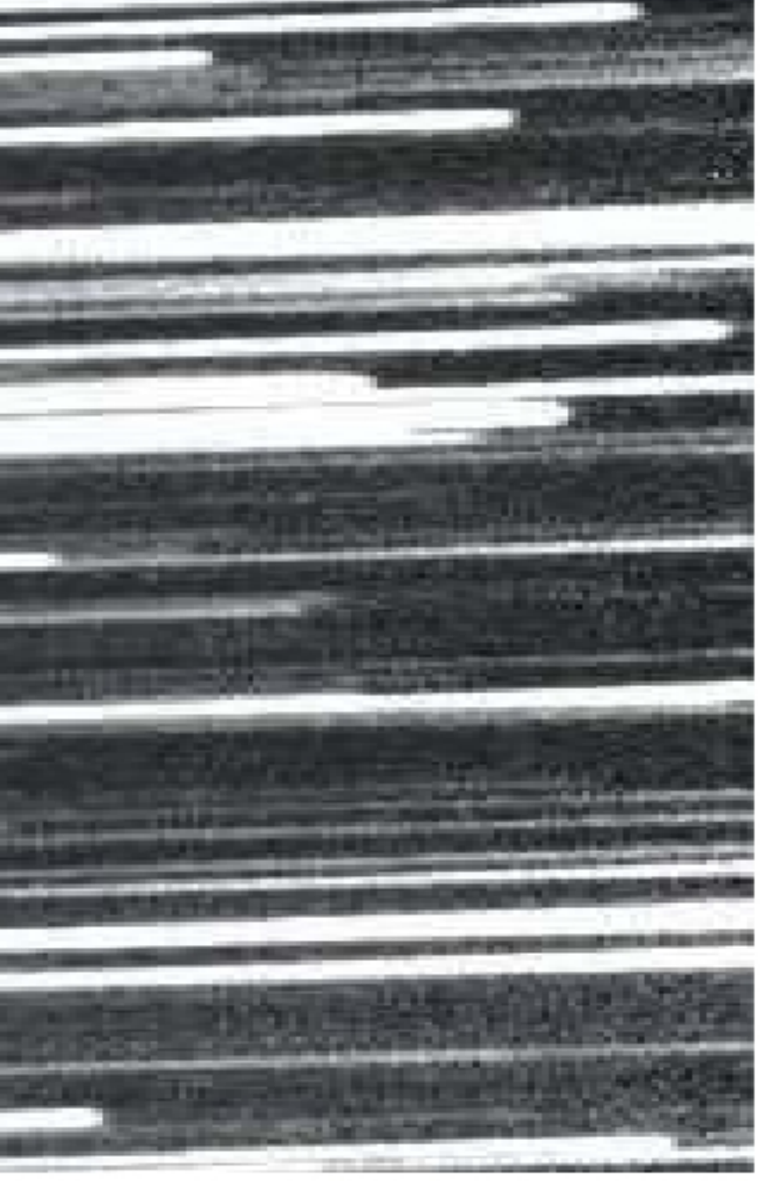
Il a fallu un temps de pose de plus de 17 minutes pour qu'au milieu des éblouissantes traînées laissées par les étoiles lointaines, un petit point blanc apparaisse : un bout de roche de quelques mètres de diamètre, baptisé 2006 RH_{120}, qui a gravité autour de notre planète de juillet 2006 à juillet 2007. Voici la seule lune temporaire à avoir été immortalisée.

Du reste, l'étude de ces petits corps rocheux est devenue une priorité pour les agences américaine et européenne. Deux missions sont déjà programmées : les sondes *Osiris Rex* (Nasa) et *Marco Polo R* (ESA) devraient s'envoler en 2018 et 2020 vers des astéroïdes qui évoluent à plusieurs centaines de millions de kilomètres de la Terre. Mais pourquoi aller si loin ? Notre seconde Lune, mille fois plus proche, ne pourrait-elle pas devenir notre nouvel eldorado ? Paul Allen, le directeur des investigations sur les missions dédiées aux astéroïdes à la Nasa, n'est pas loin de le penser : "*C'est une alternative sérieuse ! La mission nécessiterait moins de carburant et serait plus courte : quelques jours seulement suffiraient pour atteindre cette Lune.*"

PROCHAIN DÉFI : LOCALISER LA DEUXIÈME LUNE *VIA* LE FUTUR TÉLESCOPE "LSST"

Tous ne partagent cependant pas cet enthousiasme. Detlef Koshny, spécialiste du sujet à l'ESA s'est d'abord emballé quand nous lui avons soumis l'idée, avant de faire brusquement machine arrière en prenant connaissance de la

P.BIET WHISTLE, GREAT SHEFFORD OBSERVATORY - LSST



UNE LUNE À DÉCROCHER

A peine découverte, pas encore localisée et déjà, la deuxième Lune de la Terre est l'objet de tous les fantasmes. "*On pourrait envoyer un microsatellite pour la survoler*, propose ainsi Mikael Granvik, l'un des auteurs de la découverte. *Cela nous permettrait de procéder à une analyse spectrale de la surface et de photographier d'éventuels cratères.*" "*L'idéal serait d'avoir la chance d'assister à la chute de l'une de ces lunes dans l'atmosphère terrestre*, défend de son côté Patrick Michel, spécialiste des astéroïdes à l'observatoire de Nice. *Nous pourrions ainsi remettre nos collections de météorites dans leur contexte.*" Mais la mission ultime, ils l'avouent, serait de ramener la deuxième Lune tout entière pour analyse. "*Nous pourrions comprendre comment sa surface a été modifiée par le vent solaire et corriger le principal biais qui ternit nos observations d'astéroïdes*", justifie Mikael Granvik. Les astrophysiciens, eux aussi, rêvent désormais de décrocher la Lune.

< Encore en construction, le Large Synoptic Survey Telescope devrait être capable, dans moins de dix ans, de trouver la deuxième Lune de la Terre.

minuscule taille du satellite: "*Pour l'instant, nous ne sommes pas capables de contrôler un atterrissage à moins de quelques mètres près… alors, s'amarrer à un satellite de 1 m paraît vraiment difficile!*" Lindley Johnson, spécialiste des astéroïdes géocroiseurs à la Nasa, pointe, lui aussi, les défis à relever pour mener une telle mission: "*Déjà, maintenir des astronautes à la surface d'astéroïdes de quelques dizaines de mètres est un défi. Le simple fait de donner un coup de marteau les fait décoller!*" A ces difficultés s'ajoute celle de la durée de vie limitée du satellite: comment faire pour cibler un objet qui ne reste qu'un an en orbite alors qu'il en faut cinq pour mettre sur pied une mission? "*Difficile, mais pas impossible*, tranche Paul Allen. *Cela mérite d'être étudié sérieusement. Nous allons en parler dans les mois qui viennent, c'est sûr!*"

AUX ALENTOURS DE 2020?

Mais avant d'envisager une mission, il faudra localiser cette deuxième Lune. Or, seule une dizaine de télescopes sont capables de capter la lumière d'un si petit astre, et ils sont loin de couvrir tout le ciel. "*On est presque aveugle pour les objets de moins de 1 km de diamètre*, admet Mikael Granvik. *La détection de 2006 RH_{120} a été un énorme coup de chance.*" Le chercheur imagine bien regarder si la seconde Lune s'installe sur une orbite préférentielle: en comparant les trajectoires de tous les satellites issus de sa modélisation, il espère voir émerger des zones de plus grande probabilité qui pourraient à l'avenir être ciblées. Mais l'idéal serait un grand télescope qui scanne la totalité du ciel, tel… le Large Synoptic Survey Telescope, qui est en train d'être édifié au Chili. Dès 2020, cet instrument devrait être capable de trouver des corps de quelques mètres à plusieurs millions de kilomètres. Il devrait donc voir notre seconde Lune. De quoi faire un pied de nez savoureux à la politique spatiale américaine. Car il y a deux ans, Barack Obama provoquait un certain émoi en annonçant que prochain "*grand pas*" de l'humanité ne se fera pas sur la Lune, mais sur un astéroïde. Et finalement, cela reviendra peut-être au même… ▮

FAITS & CHIFFRES

8686 astéroïdes géocroiseurs ont déjà été repérés. Mais les télescopes ne voient que les corps de **plusieurs centaines de mètres**. En réalité, il y aurait **des centaines de millions** de petits astéroïdes de **1 m de diamètre**, autant de lunes potentielles pour la Terre.

CANCER DU COL DE L'UTÉRUS

LE FIASCO DU VACCIN

Deux vaccins pouvaient donner l'espoir de vaincre le cancer du col de l'utérus. Mais, en France, faute d'une campagne de vaccination digne de ce nom, la situation risque de devenir pire qu'avant ! Un comble au pays de Pasteur…

PAR CAROLINE TOURBE

Plus d'inconvénients potentiels que d'avantages à long terme. Le verdict est accablant : la campagne de vaccination contre les papillomavirus est un fiasco sanitaire au pays de Pasteur. Cinq ans après l'arrivée dans les cabinets médicaux des vaccins contre des virus responsables du cancer du col de l'utérus, moins de 40 % des jeunes femmes ciblées ont finalement accepté la vaccination. Quand on sait qu'une couverture vaccinale devient efficace autour de 70 %, le mot échec sonne presque comme un euphémisme. Le Haut Conseil de la santé publique l'a d'ailleurs reconnu au mois d'octobre dernier : *"La couverture vaccinale* […] *ne permet pas d'espérer un impact significatif à terme de cette vaccination sur l'incidence des cancers du col de l'utérus."* Autrement dit, l'objectif fixé ne sera pas atteint. Le nombre de femmes touchées en France (3 000 nouveaux cas et 1 000 décès par an) ne diminuera pas vraiment grâce aux vaccins.

Mais il y a plus embarrassant. Cette campagne pourrait malencontreusement provoquer l'émergence de souches virales mutantes plus virulentes ou la propagation de virus atypiques contre lesquels il n'existe pas de protection. Virologistes, médecins et épidémiologistes

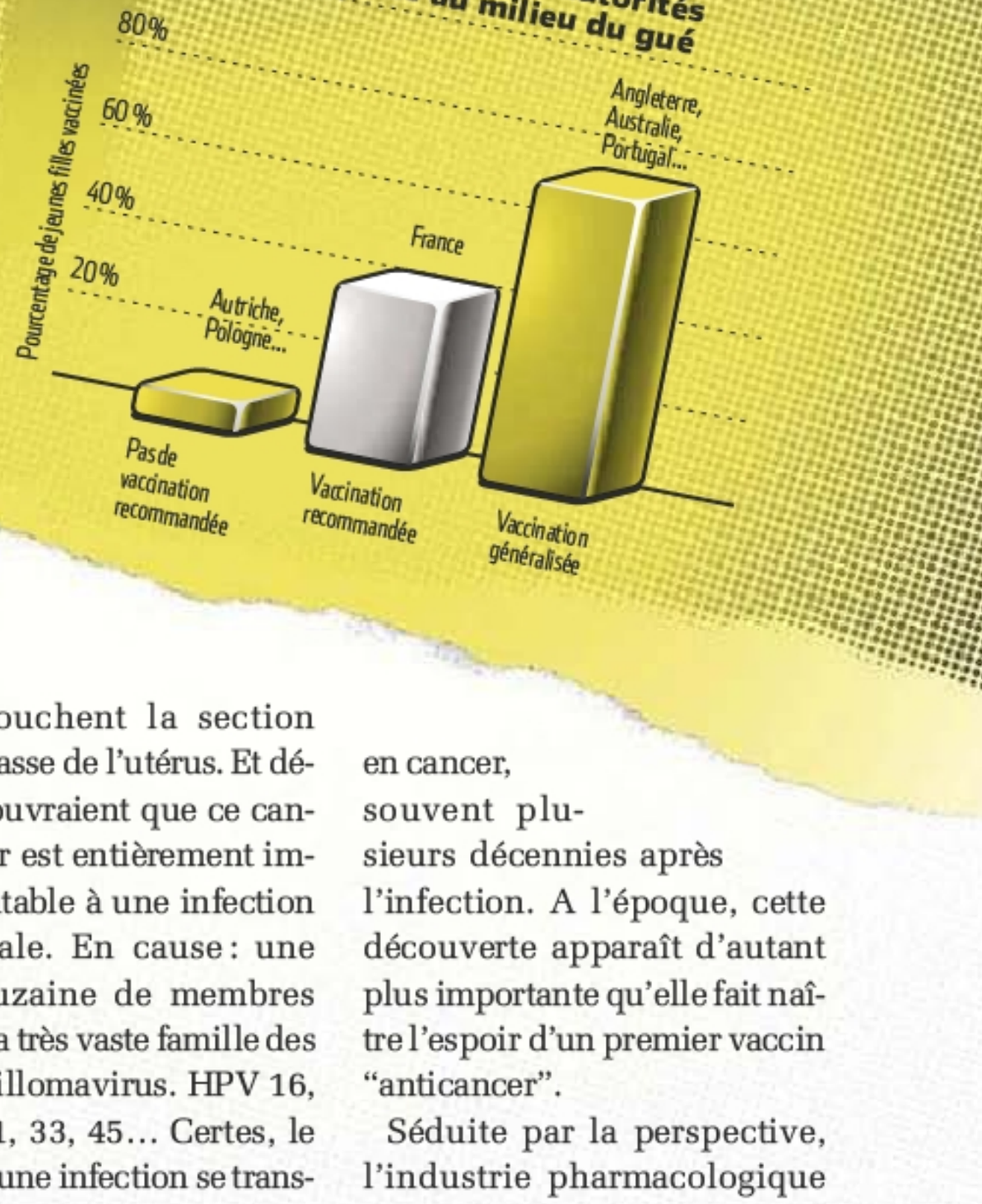
P.NARAZZI/SPL/PHANIE - DR

La faible couverture vaccinale ne permet pas d'espérer un impact significatif sur les cancers du col de l'utérus

HAUT CONSEIL DE LA SANTÉ PUBLIQUE

AVIS RENDU LE 21 OCTOBRE 2011

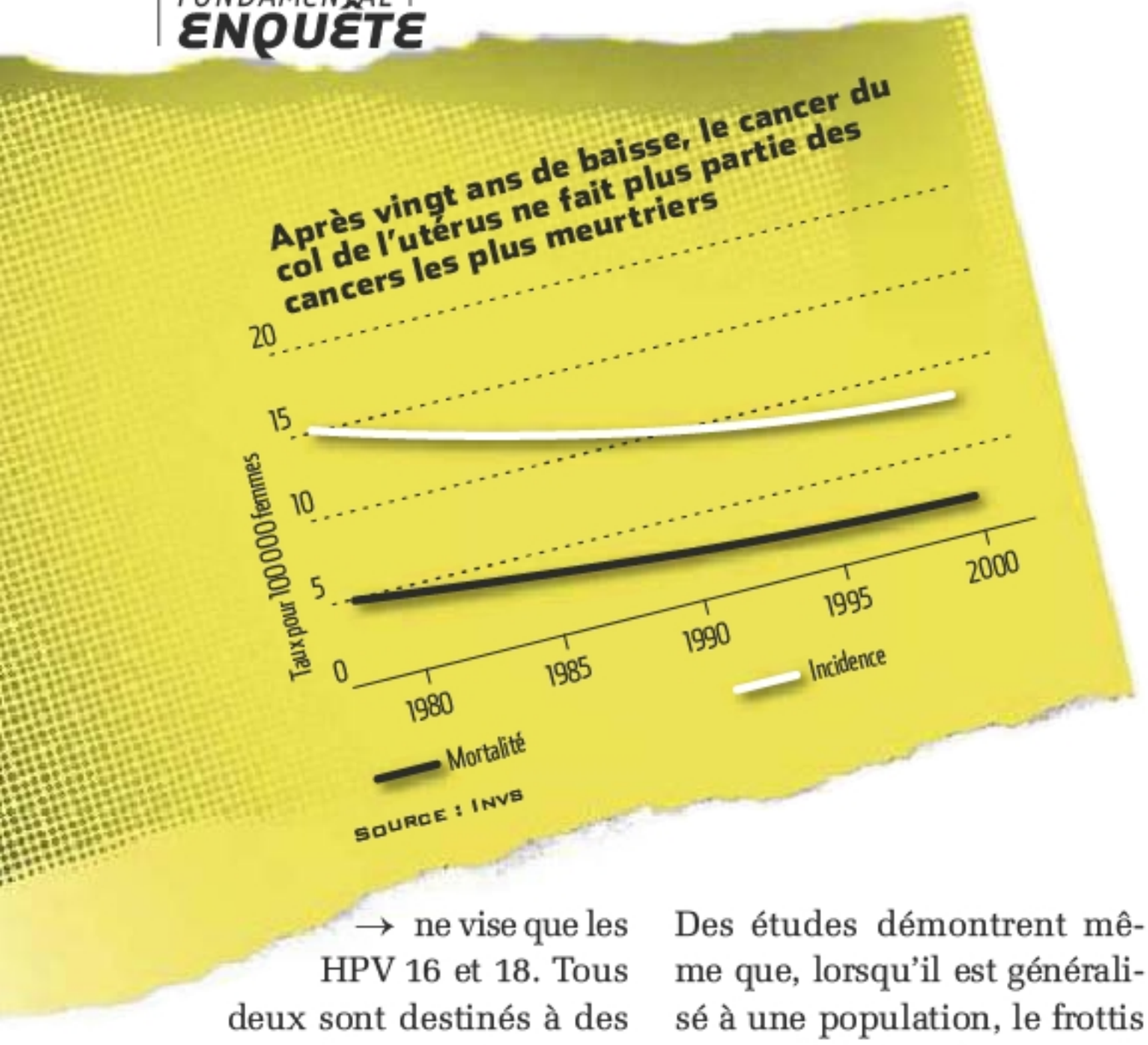
La couverture vaccinale varie selon les recommandations des autorités et laisse la France au milieu du gué



savent bien que l'on ne joue pas impunément avec l'équilibre qui règne dans le monde énigmatique des virus.

L'avenir semblait pourtant radieux. Au cours des années 1980, cancérologues et microbiologistes accumulaient les données sur les tumeurs qui touchent la section basse de l'utérus. Et découvraient que ce cancer est entièrement imputable à une infection virale. En cause : une douzaine de membres de la très vaste famille des papillomavirus. HPV 16, 18, 31, 33, 45… Certes, le risque qu'une infection se transforme en tumeur reste faible, de l'ordre de 0,3 % ; mais tous ces virus, transmis lors de relations sexuelles, peuvent potentiellement provoquer des lésions sur le col de l'utérus, dont certaines vont dégénérer lentement en cancer, souvent plusieurs décennies après l'infection. A l'époque, cette découverte apparaît d'autant plus importante qu'elle fait naître l'espoir d'un premier vaccin "anticancer".

Séduite par la perspective, l'industrie pharmacologique investit rapidement. Les géants Merck-Sanofi Pasteur et GlaxoSmithKline développent dès les années 1990 deux vaccins concurrents, le Gardasil, qui cible quatre souches (HPV 16, 18, 6 et 11), et le Cervarix, qui →



→ ne vise que les HPV 16 et 18. Tous deux sont destinés à des très jeunes filles ou à des jeunes femmes qui n'ont pas commencé leur vie sexuelle et sont donc indemnes de toute infection. Selon les modélisations épidémiologiques avancées par les laboratoires, qui reposent sur de grandes études internationales, le Gardasil et le Cervarix protégeraient contre les souches oncogènes les plus courantes dans la population. De fait, au moins 70 % des tumeurs seraient induites par les HPV 16, 18, 6 et 11… et pourraient donc être évitées ! Entre 2005 et 2007, tout est fin prêt : les deux vaccins arrivent sur le marché des pays industrialisés.

UNE POLITIQUE SANS MOYENS

L'accueil ne se révèle pourtant pas aussi unanime qu'espéré. Car une méthode existe déjà pour prévenir la grande majorité des cancers du col de l'utérus : le dépistage par frottis cervico-utérin. Ce prélèvement permet aux médecins de détecter les lésions, quelle que soit la souche virale responsable, puis de les traiter par une intervention chirurgicale qui prévient l'apparition de la tumeur. Des études démontrent même que, lorsqu'il est généralisé à une population, le frottis permet de réduire le risque de cancer de 80 % à 90 %. En se diffusant dans les pays riches, le dépistage a ainsi participé à la réduction très nette du nombre de cas (moins de 7 cas pour 100 000 femmes aujourd'hui en France, contre plus de 15 avant les années 1980). Au point que depuis le début des années 2000, le cancer du col de l'utérus ne fait plus partie des cancers les plus meurtriers dans les pays industrialisés, à la différence des pays en voie de développement où il fait toujours des ravages (40 cas pour 100 000 femmes dans certaines régions d'Afrique). *"Les modélisations sur l'utilité des vaccins ont toujours vu leur validité contestée, particulièrement en France, et certaines sont effectivement 'border-line'* [limites] *comme dans le cas des papillomavirus"*, estime Bernard Bégaud, directeur du service pharmaco-épidémiologie et évaluation de l'impact des médicaments à l'Inserm. Et pour cause : *"On ne peut pas affirmer que cette vaccination diminuera significativement le nombre de cancers du col, et*

BERNARD BÉGAUD
DIRECTEUR DU SERVICE PHARMACO-ÉPIDÉMIOLOGIE ET ÉVALUATION DE L'IMPACT DES MÉDICAMENTS (INSERM)

> ***Dans un pays comme la France, les bénéfices de cette vaccination restent difficiles à démontrer***

^ Le frottis cervico-utérin permet de dépister efficacement tous les types de cancer du col de l'utérus (ici, des cellules infectées par des papillomavirus).

F.GUENET/INSERM - SPL/PHANIE

encore moins dans quelle proportion. La réponse sera disponible dans 15 à 20 ans, le temps nécessaire pour qu'un cancer se développe. De plus, les vaccins ne dispensent pas les femmes du dépistage, puisque seul le frottis est efficace contre toutes les lésions, y compris celles provoquées par la douzaine de papillomavirus oncogènes qui ne sont pas ciblés dans les vaccins." Enfin, pour que la vaccination permette une réduction significative des cas, il faut immuniser entre 70 % et 80 % des jeunes filles et avoir une protection efficace pendant au moins dix ans. Pour raisonner à l'échelle de la population, les experts en santé publique font le solde entre le bénéfice et le risque *via* des valeurs moyennes attendues (nombre moyen de cas évités, de personnes vaccinées, d'effets secondaires attendus…). De ces valeurs moyennes émergent des modélisations qui incitent, ou non, à se lancer dans une campagne de vaccination. *"Or, le pari vaccinal contre les papillomavirus est complexe… puisque les bénéfices attendus pour la population sont difficiles à démontrer. Les risques d'effets indésirables par contre vont, eux, automatiquement augmenter avec le nombre de personnes vaccinées, et cela même si la sécurité de ces vaccins n'est pas spécifiquement mise en cause"*, analyse Bernard Bégaud. Un pari d'ailleurs jugé →

DES HISTOIRES DE GROS SOUS

"Le rapport coût-efficacité de la campagne de vaccination contre les papillomavirus doit être réévalué", estiment des experts de la Caisse d'assurance-maladie dans une étude publiée en mars 2011. Selon eux, le rapport entre la somme allouée aux remboursements des vaccins par rapport à la couverture obtenue n'est pas satisfaisant. Le coût d'une vaccination ? Environ 400 € en France, remboursés à 65 % par la Sécurité sociale. Un prix très élevé qui constitue une véritable manne pour les laboratoires français Merck-Sanofi Pasteur et britannique GlaxoSmithKline qui distribuent respectivement le Gardasil et le Cervarix. D'ailleurs, faut-il y voir un lien ? En France, les jeunes filles sont très majoritairement vaccinées avec le Gardasil, les autorités ayant émis, de 2007 à 2010, une "recommandation préférentielle" pour ce vaccin qui cible quatre souches de papillomavirus, contre deux pour son concurrent anglais. Etrange : au même moment, les autorités anglaises arrivaient aux conclusions inverses… en se basant sur les mêmes données ! Résultat : les vaccins ont pu s'installer dans leur pays d'origine sans réelle concurrence…

JARGON

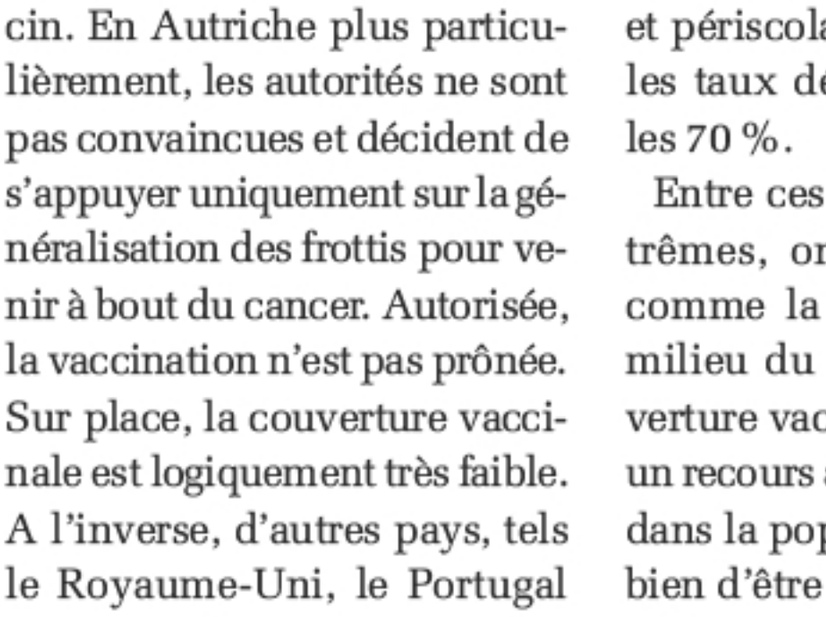
Papillomavirus
Ces virus très communs peuvent infecter peau et muqueuses, et sont à l'origine de tumeurs appelées papillomes. Si certaines sont bénignes (verrues), d'autres évoluent vers des cancers. Une douzaine de souches sont particulièrement impliquées dans les tumeurs de la section basse de l'utérus.

Campagnes de vaccination : 20 ans de ratés

En France, deux grandes polémiques vaccinales ont marqué les esprits. Dans les années 1990 d'abord, la campagne contre l'hépatite B (à droite), bien que largement relayée, a en effet subi de plein fouet la polémique sur les risques de sclérose en plaques. Plus récemment, pendant l'hiver 2009, les centres de vaccination contre la grippe aviaire (ci-dessus) sont restés vides. Les Français n'ont-ils plus confiance en leurs vaccins ?

→ trop périlleux par d'autres pays. Certains, comme l'Autriche ou la Pologne ont en effet décidé de se passer dudit vaccin. En Autriche plus particulièrement, les autorités ne sont pas convaincues et décident de s'appuyer uniquement sur la généralisation des frottis pour venir à bout du cancer. Autorisée, la vaccination n'est pas prônée. Sur place, la couverture vaccinale est logiquement très faible. A l'inverse, d'autres pays, tels le Royaume-Uni, le Portugal ou l'Australie, parient, eux, sur une utilisation massive des vaccins alliée au dépistage. Les injections sont systématiquement proposées en milieux scolaire et périscolaire et, aujourd'hui, les taux dépassent ou frôlent les 70 %.

Entre ces deux stratégies extrêmes, on trouve des pays comme la France. Restée au milieu du gué, avec une couverture vaccinale trop faible et un recours au frottis mal diffusé dans la population, elle risque bien d'être la grande perdante. Si les autorités recommandent certes de généraliser vaccination et dépistage, elles le font sans se donner les moyens d'y parvenir. Injections et dépistage se font en effet dans les cabinets médicaux privés sur la base du simple volontariat, en dehors de toute campagne systématique. Un endroit où beaucoup de jeunes filles ou de femmes ne vont pas ou peu. En effet, même à l'intérieur d'un pays riche comme la France, les différences de revenus ne sont pas sans conséquences. Des études économiques ont ainsi montré que les femmes les moins aisées ont moins recours au frottis que les autres. En octobre dernier, le Haut Conseil de la santé publique ne pouvait que constater ce que les autorités auraient dû anticiper : *"Il est probable que les jeunes filles qui se font vacciner soient le plus souvent celles qui adhéreront ultérieurement au dépistage"*, alors que *"l'impact de la vaccination sera d'autant meilleur qu'elle concernera les femmes qui ne seront pas compliantes* [c'est-à-dire qui ne se plieront pas] *au dépistage"*. Autrement dit, ce sont les femmes les plus attentives à leur santé qui ont recours au vaccin



ISABELLE HEARD

VIROLOGISTE, CO-DIRECTEUR DU CENTRE NATIONAL DE RÉFÉRENCE DES PAPILLOMAVIRUS (INSTITUT PASTEUR)

Autour de 40 %, la vaccination n'est pas un rempart, mais favorise déjà la prolifération de souches dangereuses

QUAND LES SOUCHES RÉSISTENT…

C'est un cas d'école de résistance au vaccin : selon une étude génétique menée en 2008 par des chercheurs de l'Institut Pasteur, les bactéries *Bordetella pertussis*, celles qui sont responsables des cas de coqueluche actuels, ne correspondent plus aux souches qui ont servi de base à la fabrication des vaccins dans les années 1960.

Cette observation portait sur des souches bactériennes isolées à partir d'échantillons collectés dans une dizaine de régions du monde. Elle prouve le succès des campagnes de vaccinations massives engagées dans ces pays, et notamment en France, mais aussi les puissantes capacités d'adaptation des microbes face aux parades inventées par la médecine. Sous l'influence des vastes campagnes vaccinales, les souches en circulation se sont modifiées au point de réussir à infecter des personnes qui avaient pourtant été immunisées avec les vaccins classiques.

et au dépistage. La double protection pour elles. La "double peine" pour les autres. Le comble de l'inefficacité et la preuve d'une *"immaturité de la santé publique en France"*, estime Bernard Bégaud.

UN NIVEAU DE COUVERTURE VACCINALE CRITIQUE

Mais comment en est-on arrivé là ? En 2006, le Comité technique des vaccinations remet son premier avis sur l'utilité d'une vaccination massive, suivant le chemin de l'Australie ou du Royaume-Uni. Mais cette stratégie se heurte au souvenir d'un échec cuisant : celui de la vaccination contre l'hépatite B. Soupçonné d'avoir provoqué des cas de sclérose en plaques, le vaccin est le dernier en date à avoir bénéficié d'une aussi large diffusion et d'une campagne soutenue en milieu scolaire. *"Relancer une telle procédure pour un vaccin contre les papillomavirus était inenvisageable,* commente Anne-Marie Moulin, membre du Haut Conseil et historienne de la vaccination. *La grande époque d'une vaccination considérée comme un acte de citoyenneté est définitivement révolue."* L'épisode désastreux de la pandémie de grippe aviaire, redoutée mais jamais confirmée avec des centres de vaccination déserts au milieu de l'hiver 2009, est venu confirmer cette défiance grandissante pour la grande œuvre pasteurienne. Le piège s'est refermé sur ceux qui voulaient encore croire qu'une simple recommandation aurait suffi à emporter l'adhésion de la population française.

On pourrait cependant arguer qu'une demi-vaccination vaut toujours mieux que pas de vaccination du tout. *"Mais c'est parfois pire !"* Celle qui parle ainsi n'a rien d'une Pasionaria antivaccin. Isabelle Heard est même tout le contraire. Co-directeur du Centre national de référence des papillomavirus à l'Institut Pasteur, la virologiste fait partie de ceux que les autorités sanitaires ont chargés de veiller aux conséquences de la vaccination. Et le moins que l'on puisse dire, c'est qu'elle a la dent dure contre les choix opérés à l'époque par les agences françaises. Ce qui gêne le plus Isabelle Heard, c'est la couverture vaccinale : *"Autour de 40 %, c'est le niveau critique. Là où non seulement le vaccin n'agit pas comme un rempart contre la circulation des virus dans la population… mais où, en plus, ce faible taux de couverture vaccinale pourrait exercer une pression de sélection sur les virus circulants."* Car les microbiologistes le savent : dans le monde en mouvement perpétuel des microbes, les vaccins sont des armes à surveiller de près. Un peu à la manière des antibiotiques, ils peuvent modifier les populations virales ou bactériennes, laissant potentiellement la place à de nouveaux pathogènes ! *"La nature a horreur du vide,* rappelle Isabelle Heard. *Rien ne dit que la vaccination contre les quatre souches présentes dans les vaccins ne favorisera pas la prolifération des autres souches réputées dangereuses et contre lesquelles il n'existe pas de vaccin pour l'instant."* Comme en témoigne le cas récent du →

S.LAVOUÉ - C.CASANOVA/SAGAPHOTO - I.HOOTON/SPL/COSMOS

EN SAVOIR PLUS

Il est possible de consulter le site du Haut Conseil de la santé publique. Tous ses avis motivés sur les vaccins contre les papillomavirus y sont disponibles (http://www.hcsp.fr).

< Avec des dizaines de millions de doses déjà écoulées, le vaccin contre le cancer du col de l'utérus a été adopté dans de nombreux pays industrialisés. Où il est systématiquement associé à une politique de dépistage.

→ Prevenar, le vaccin contre les méningites à pneumocoques chez les enfants. Au début de la vaccination, il protégeait contre sept souches de la bactérie. Mais les cas de méningites provoqués par les souches non couvertes par le vaccin se sont multipliés. Au point que les autorités ont dû, au printemps 2010, recommander la vaccination contre six souches supplémentaires.

VACCINE-T-ON CONTRE LES BONS VIRUS ?

Sous surveillance également, l'apparition de mutations dans les souches ciblées par les vaccins. Des mutations qui leur permettraient d'échapper à la réponse immunitaire générée par la vaccination, comme dans le cas du vaccin contre la coqueluche (voir encadré p. 103). *"Evidemment, l'industrie déclare qu'il ne va rien se passer. Mais nous sommes tous dans l'expectative"*, rappelle Isabelle Heard. D'autant qu'aucune étude indépendante n'existe sur la répartition des papillomavirus en France. Et de préciser : *"La campagne a débuté contre quatre souches de papillomavirus dont nous ignorions précisément la place dans les infections. Nous savons par des études internationales, notamment menées aux Etats-Unis, que les HPV 16 et 18 sont bien les plus représentés dans les lésions précancéreuses et les cancers, mais nous sommes seulement en train de vérifier ces données sur la population française avec une toute première étude indépendante, c'est-à-dire sans aucun financement des laboratoires. Elle seule permettra de savoir si les souches présentes dans les vaccins sont bien celles qui devaient être ciblées en priorité…"* Avec cinq ans de retard.

MAUVAISE COUVERTURE VACCINALE ET DÉPISTAGE MAL DIFFUSÉ : L'ÉCHEC EST TOTAL

Cinq ans après les débuts de la campagne de vaccination, la France doit sortir de l'ornière. Reste à savoir comment… En rendant la campagne de dépistage et de vaccination plus agressive afin de toucher plus de femmes et, de la sorte, assurer une couverture digne de ce nom ? Ou vaut-il mieux adopter un moratoire sur les recommandations vaccinales et se concentrer uniquement sur le dépistage ? De leur côté, les laboratoires promeuvent une vaccination de rattrapage jusqu'à 23 ans. Car, selon eux, les jeunes filles qui viennent de commencer leur vie sexuelle dans l'année peuvent avoir échappé à toute infection ou être uniquement touchées par des souches non contenues dans les vaccins. Un argument peu crédible, puisque les souches choisies pour les vaccins sont justement censées être celles qui concernent le plus les jeunes filles.

La prochaine fois qu'un outil vaccinal aussi complexe à manier apparaîtra, il faudra sérieusement se demander si la population française suivra… et peut-être, dans le doute, vaudra-t-il mieux cette fois s'abstenir. ■ DR

SCIENCE & VIE

présente

NOUVEAU

DÉSORMAIS TOUS LES 2 MOIS

REVELATIONS EXCLUSIVES

SECRET

STRATEGIE

INTERVIEW

IMAGES D'ARCHIVES

CAMERA AU POING

TACTIQUE

L'ART DE LA GUERRE

ENQUETES

RECONSTITUTIONS

SCOOPS

GENIE MILITAIRE

orbc.

HIER, TOUT COMMENCE

LA POMPÉI DES PLANTES

IL Y A 300 MILLIONS D'ANNÉES...

Préservée intacte sous une pluie de cendres, une forêt immémoriale vient d'être mise au jour en Mongolie. Une découverte riche de surprises. Plongée dans les nervures du temps.

PAR YVES SCIAMA

^Les paléobotanistes ont réussi à reconstituer la canopée clairsemée qui couvrait cette zone de la Chine à l'époque du Permien.

Ses découvreurs le qualifient de "Pompéi végétale". Les exceptionnelles conditions de fossilisation qui ont donné naissance au site de Wuda, dans le nord de la Mongolie, sont en effet exactement les mêmes que celles générées par le Vésuve en l'an 79 de notre ère. A savoir une interminable pluie de cendres brûlantes et denses éjectées par un volcan, qui dévasta tout sur son passage, ensevelissant la totalité du paysage sous un linceul de poussière. Si Pompéi bouleverse encore les visiteurs par ses vestiges humains, Wuda, lui, frappe par son extrême ancienneté: d'après sa position par rapport à des couches géologiques connues, il date de 300 millions d'années – 298 exactement. Soit le début du Permien, une période qui précède non seulement l'apparition des dinosaures, mais même celle des plantes à fleur!

Pour que ce trésor nous parvienne intact, il aura fallu trois coups de chance successifs. *Primo*, la cendre volcanique →

COURTESY OF J.WANEY ET AL./PNAS/ADADEMY OF SCIENCES NANJING

DES PLANTES MYSTÉRIEUSES

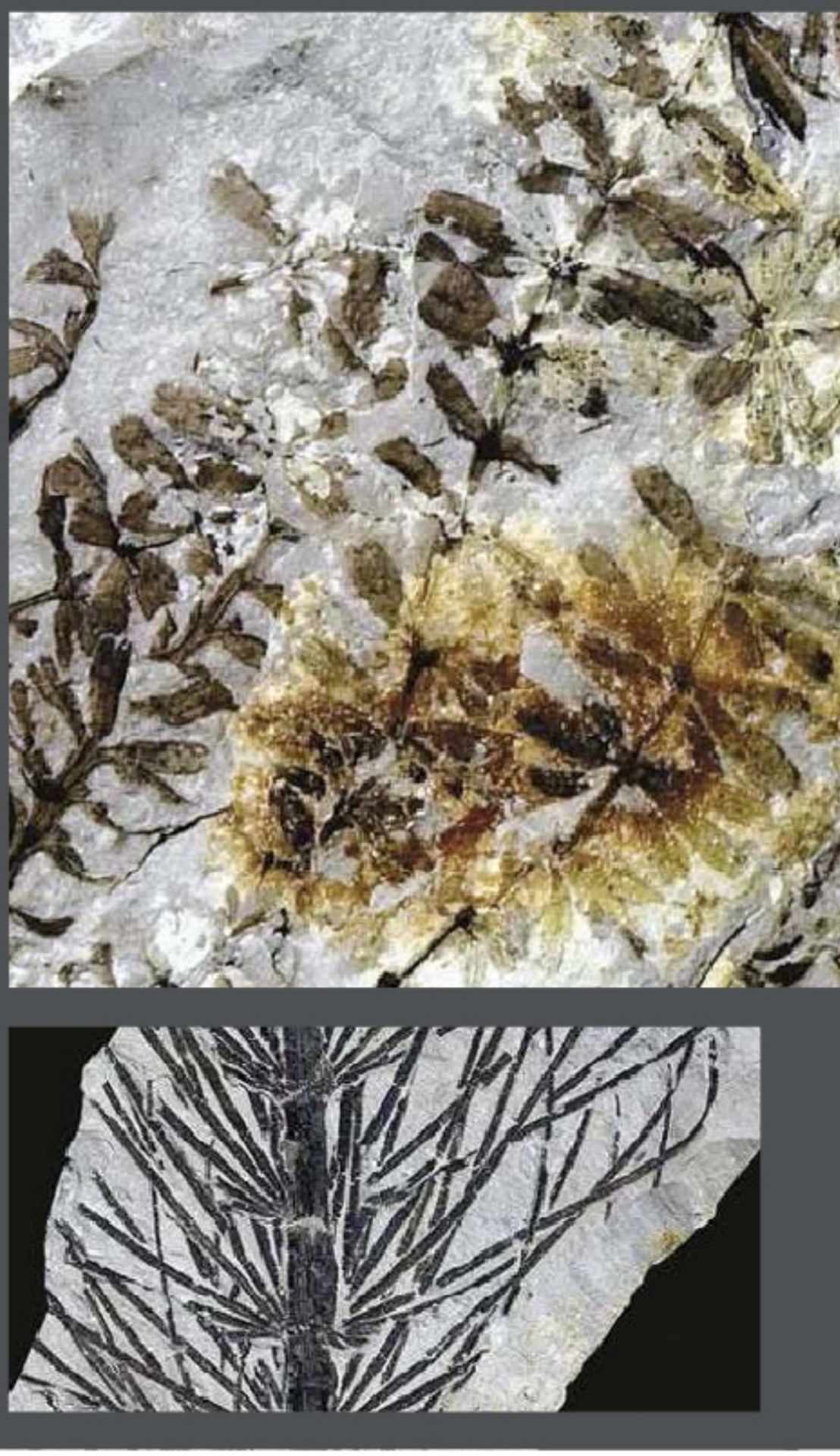
Le site contient le premier exemple connu d'un peuplement végétal dominé par les noeggerathiales, un groupe à la classification incertaine. Nervures conservées avec une précision inouïe, pinnules (les "petites feuilles" dont sont faites les grandes) visibles à différents stades de développement, organes reproducteurs… Une véritable manne pour les paléobotanistes !

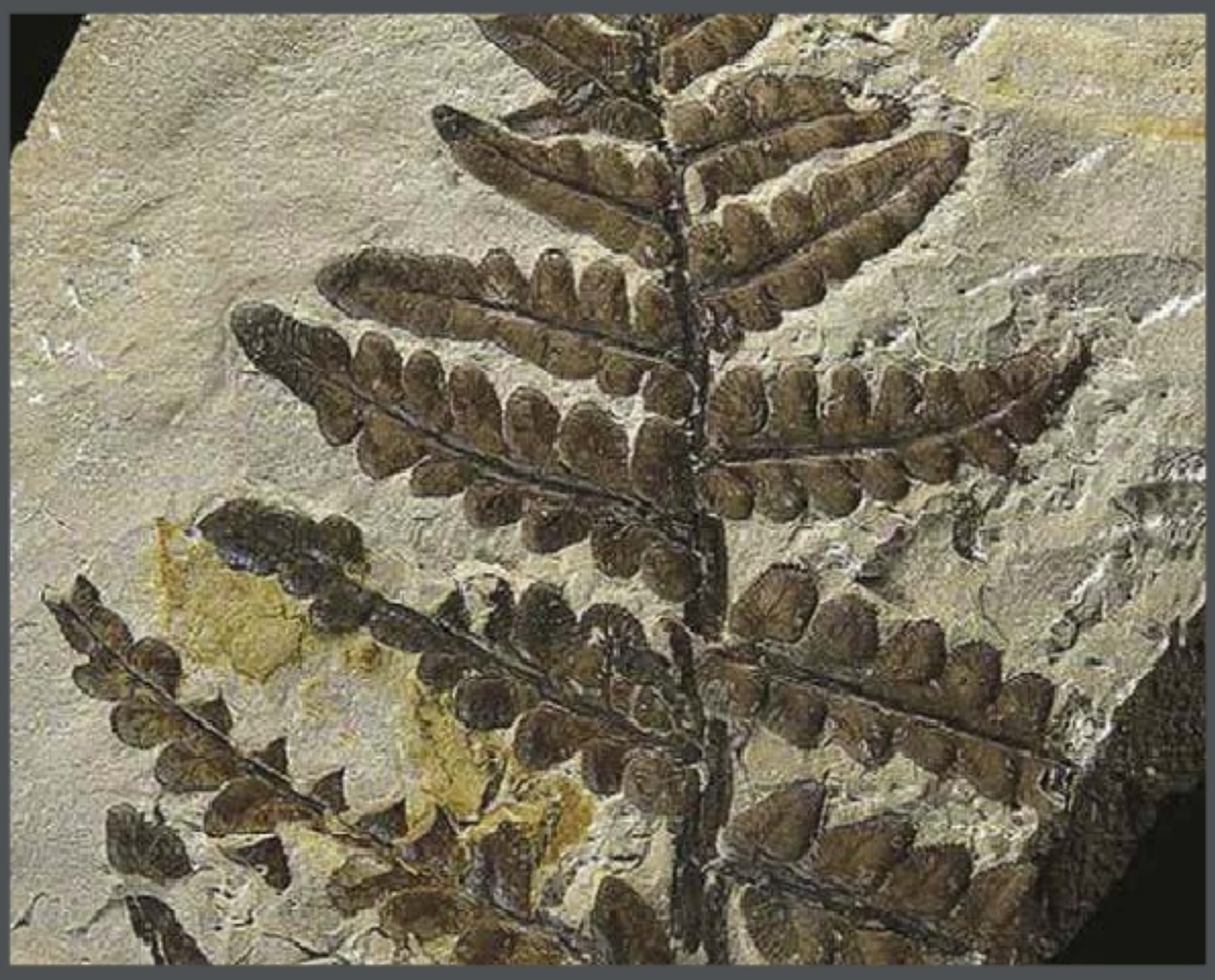
→ compactée (dite tuf), qui constitue l'écrin de ces végétaux, fut rapidement recouverte par des couches géologiques la protégeant de l'érosion. *Secundo*, ces couches se sont transformées en charbon. Grâce à quoi, une intense activité minière se poursuit depuis près d'un siècle dans la région. Enfin, troisième coup de chance: la veine de charbon située juste au-dessus du tuf a pris feu, forçant l'exploitant de la mine à la faire décaper… et dévoilant soudain l'exceptionnel herbier fossile.

UN VÉRITABLE ALBUM PHOTO

Devant ce trésor qui vient d'être exhumé du fond des âges, les paléontologues ont d'abord entrepris de le subdiviser en petits carrés de 10 cm de côtés, qu'ils ont minutieusement analysés. Car le gisement mongol a ceci de rarissime que pratiquement chaque plante a été conservée à son emplacement, alors que les reconstitutions, ailleurs, sont le plus souvent issues de déductions et d'approximations incertaines. De plus, le site est exceptionnellement étendu, puisqu'il totalise plus de 1000 m², une surface considérée comme suffisante par les spécialistes pour véritablement définir un écosystème.

Plusieurs dizaines d'espèces de plantes, réparties en six familles, ont d'ores et déjà été différenciées. Au final, c'est une quasi-photographie du paysage d'il y a 300 millions d'années qu'offre ce site: de la poussière agglomérée surgit un paysage marécageux structuré en une couche herbacée au sol, une canopée de fougères arborescentes qui monte à une quinzaine de mètres, cette dernière étant percée de hauts arbres isolés pouvant dépasser 25 m. Un écosystème extraordinairement préservé, plus proche de celui des débuts de la vie terrestre que de notre époque, qui va constituer un précieux matériau d'étude – en particulier pour comprendre l'évolution de la biodiversité. ▮





LE RÈGNE DES FOUGÈRES

Aujourd'hui discrètes et marginales, les fougères étaient le groupe dominant de la flore de Wuda. Elles existaient principalement sous des formes arborescentes, de fort diamètre, et pouvaient atteindre jusqu'à 15 m. Les chercheurs ont également trouvé des fougères herbacées, et même des fougères grimpantes, de type liane, aujourd'hui disparues.

AUX ORIGINES DU BOIS

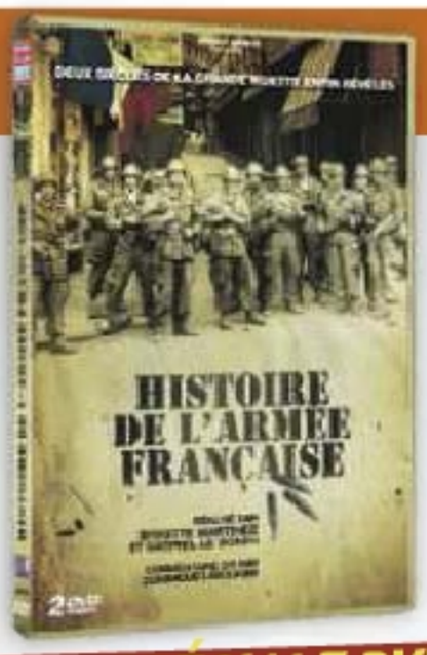
Ces lycopsides et sphénopsides – des groupes qui comportent encore quelques représentants au sein des flores actuelles – sont sans doute les premières plantes qui ont "inventé" les vaisseaux conducteurs de sève ; celles donc qui ont permis l'apparition du bois. Des feuilles et des tiges (à g.), mais aussi des organes reproducteurs (à d.) ont été retrouvés.

L'ANCÊTRE DES SAPINS

En dépit de leurs formes évoquant des palmiers, ces cycadophytes sont de très lointains ancêtres de nos conifères. Elles se reproduisaient grâce à des cônes chargés de graines, situés à leur sommet. Celles visibles sur l'image ci-contre pourraient être des samares, autrement dit des graines porteuses d'adaptations ("ailes", membranes) facilitant leur dispersion par le vent.

COURTESY OF J.WANEY ET AL./PNAS/ADADEMY OF SCIENCES NANJING

LES DVD DU MOIS



Un documentaire de référence

De 1789 à nos jours, deux siècles de la grande muette enfin révélés. Première puissance militaire en Europe à la veille de la Révolution, outil de conquête sous Napoléon, instrument de défense… Et toujours une preuve de force!

OFFRE SPÉCIALE DVD

Histoire de l'armée française
2 DVD - Couleur - 3h30 - 19,99 €

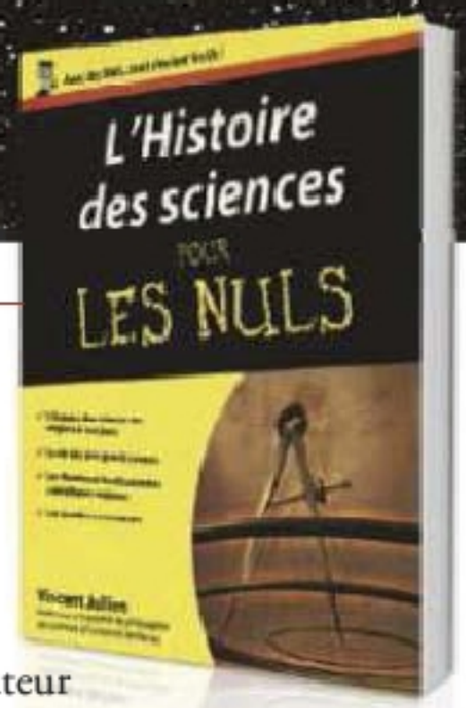
LES 2 COFFRETS DVD
36,95 €
au lieu de ~~38,98 €~~

Inoubliable Saint-Exupéry…

Unique, ce coffret hommage comprend la maquette de son avion, un livret biographique et 2 DVD retraçant sa destinée hors du commun.

Coffret collector Saint-Exupéry
DVD 1 le film *Saint-Exupéry, la dernière mission*, Couleur 1h43. **DVD 2**, documentaire *À la recherche de Saint-Exupéry*, Couleur 53 min.
Dim. avion: 15,5 x 21,5 cm.
Livret 24 pages. **18,99 €**

Ludique, passionnant et… instructif!

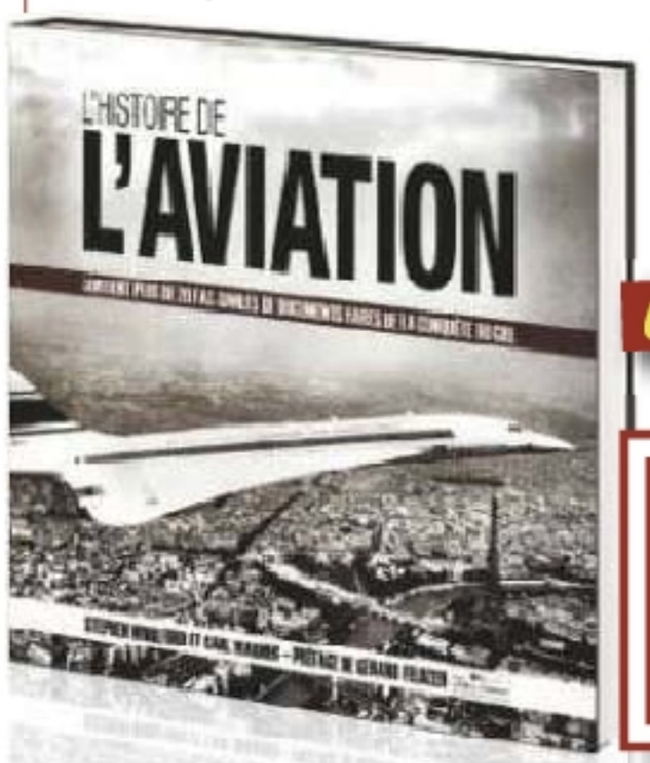


Des mathématiques à la physique en passant par la biologie et les sciences de la Terre, ce livre retrace l'évolution des grandes disciplines depuis l'Antiquité. Amateur ou scientifique éclairé, régalez-vous d'anecdotes biographiques!

L'histoire des sciences pour les nuls
526 pages - Dim. 23 x 20 cm - Éd. First - 22,90 €

Un panorama complet sur l'aviation

Ce magnifique ouvrage retrace l'histoire de l'aviation, des anciens cerfs-volants chinois aux fusées et avions à réaction, avec de nombreux documents rares et inédits, et photographies de modèles mythiques.



L'histoire de l'aviation
Dim. 30 x 26 cm - 64 pages
Éd. Gründ - 39,95 €

OFFRE SPÉCIALE «Histoire»

LES 2 LIVRES
59,71 €
au lieu de ~~62,85 €~~
FRAIS DE PORT OFFERTS

LE COIN DES OBJETS

Sans fil, ces haut-parleurs sont ultra-pratiques!

Compatible Ipod®/Iphone® et autres lecteurs MP3, cette station d'accueil est idéale pour écouter de la musique chez vous ou en voyage. Ses haut-parleurs donnent un son de bonne qualité avec une transmission sans fil jusqu'à 30 mètres.

OFFRE SPÉCIALE
79,99 €
ENVOI EN 72H PAR COLISSIMO OFFERT

Station d'accueil Ipod®/Iphone®/Mp3 haut parleur sans fil
Lecteur et chargeur pour ipod®/iphone®. Entrée aux-in jack 3.5mm. 2 haut-parleurs transmission sans fil rechargeable sur la station. Puissance = 2 x 4 watts. Bouton contrôle volume sur chaque haut-parleur. Télécommande et adaptateur secteur inclus.

Sélectionné dans les Technofolies de Science&Vie n°1134!

La seule radio à brancher à votre douche!

Écoutez vos émissions FM préférées sous votre douche avec cette radio dernière génération. Elle fonctionne dès que l'eau coule, grâce à une micro-turbine intégrée … et aussi après la douche, avec sa batterie intégrée. Facile à installer, vissez-la entre la sortie du robinet et le tuyau flexible.

Radio de douche étanche et sans pile
Compatible avec 90% des modèles de douche.
Dim. 13x 7,5 x4,25 cm.
Bouton marche/arrêt.
Boutons de recherche automatique des fréquences.
FM: 87,5 - 108 MHz.
Batterie AAA Ni-Mh.

46,90 € seulement
FRAIS DE PORT OFFERTS

Visuels non contractuels

La boutique SCIENCE&VIE

Chaque mois, La Boutique *Science&Vie* sélectionne pour vous des livres, idées cadeaux et des objets scientifiques ou insolites.

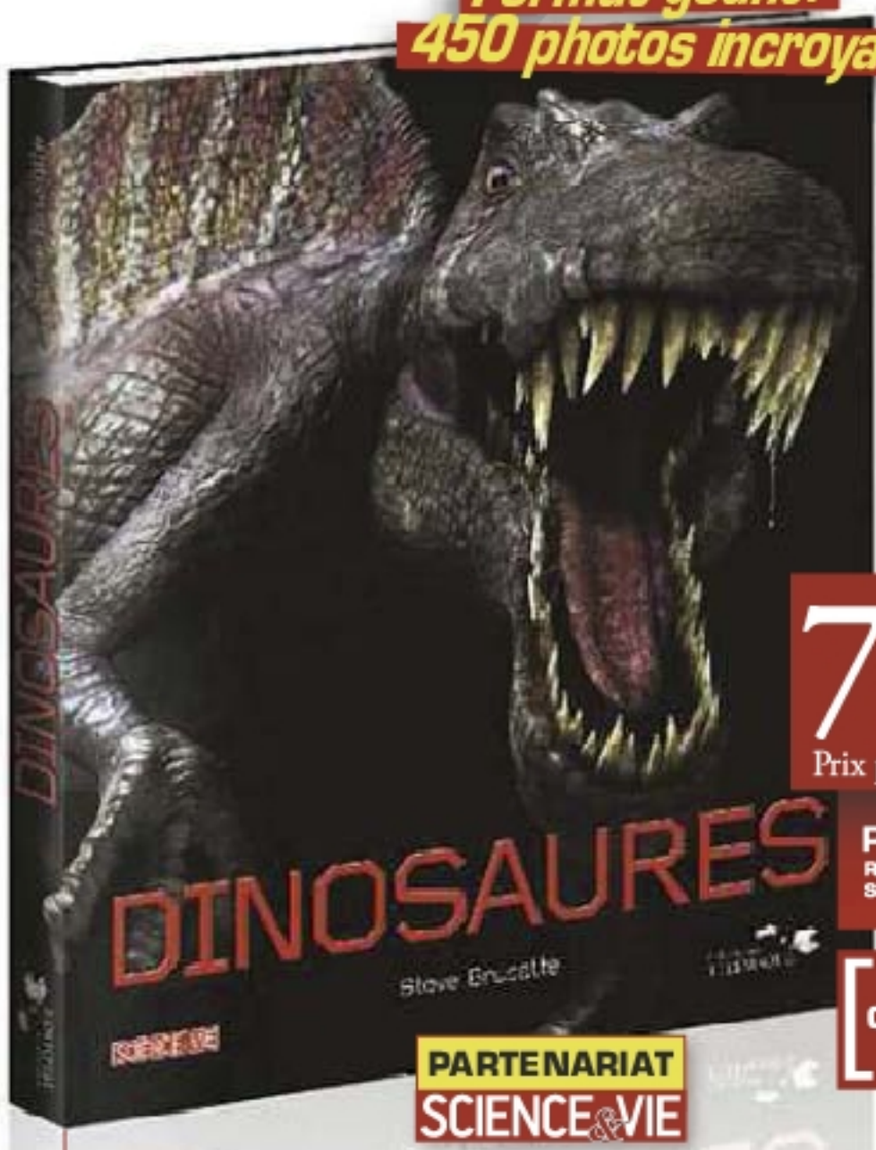
NOUVEAU SITE INTERNET !

+ simple, + rapide, + de choix...

Retrouvez ces articles et plein d'autres livres, objets scientifiques ou insolites sur :

www.laboutiquesciencetvie.com

Frais d'envoi offerts sur internet jusqu'au 15/06/2012 !



76 €
Prix public : ~~80 €~~

PRIX ABONNÉS RÉDUCTION SPÉCIALE **-5%**

FRAIS D'ENVOI **COLISSIMO 72H OFFERTS**

Un ouvrage spectaculaire

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

Dinosaures

Format : 35,5 x 43 cm - 224 pages - 450 photos couleurs

POUR COMMANDER

Par courrier Renvoyez le bon de commande avec votre règlement à :
La Boutique SCIENCE&VIE - BP 30306 - 37542 Saint-Cyr-sur-Loire Cedex

Par téléphone au 03 44 62 52 20
(Paiement par CB uniquement)

Par internet : www.laboutiquesciencetvie.com

BON DE COMMANDE

Articles	Réf.	Quantité	Prix	Sous-total
L'histoire de l'aviation	359 596	x	**39,95 €**	= €
L'histoire des sciences pour les nuls	359 588	x	**22,90 €**	= €
Offre spéciale « Histoire » 2 livres	359 604	x	**59,71 €**	= €
Dinosaures	305 441	x	**75,53 €**	= €
2 DVD Histoire de l'armée française	359 620	x	**19,99 €**	= €
Coffret collector Saint-Exupéry	359 612	x	**18,99 €**	= €
Offre spéciale 2 coffrets DVD Armée française + St Exupéry	359 638	x	**36,95 €**	= €
Station d'accueil Mp3 - haut parleur sans fil	359 653	x	**79,99 €**	= €
Radio de douche sans pile	359 646	x	**46,90 €**	= €
			SOUS-TOTAL	€

FRAIS D'ENVOI (cocher la case de votre choix)		
	☐ Envoi normal	**5,90 €**
	☐ Envoi Colissimo suivi (72h)	**8,90 €**
Frais d'envoi offerts dès 39 € de commande !	☐ **Ma commande atteint 39 €** Envoi Coliéco	**GRATUIT**
	TOTAL	€

Offres valables en France métropolitaine uniquement dans la limite des stocks disponibles jusqu'au 30/07/2012. Délai de livraison des produits : maximum 3 semaines après l'enregistrement de votre commande sauf si envoi par Colissimo (4 jours max.). Selon l'article L121-20 du code de la consommation, vous disposez d'un délai de 7 jours pour changer d'avis et nous retourner votre colis dans son emballage d'origine complet. Le droit de retour ne peut être exercé pour les enregistrements vidéo descellés. Les frais d'envoi et de retour sont à votre charge. En application de l'article 27 de la loi du 6 janvier 1978, les informations ci-contre sont indispensables au traitement de votre commande. Elles peuvent donner lieu à l'exercice du droit d'accès et de rectification auprès de Mondadori. Par notre intermédiaire, vous pouvez être amené à recevoir des propositions d'autres organismes. Cochez la case si refus ☐.

À RENVOYER DANS UNE ENVELOPPE AFFRANCHIE AVEC VOTRE RÈGLEMENT À :
LA BOUTIQUE SCIENCE&VIE - BP 30306 - 37542 SAINT-CYR-SUR-LOIRE CEDEX

242362

> Mes coordonnées

☐ M. ☐ Mme ☐ Mlle

Nom _____ Prénom _____

Adresse _____

Complément d'adresse _____
(résidence, lieu-dit, bâtiment)

CP |_|_|_|_|_| Ville _____

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

E-mail _____
☐ Je souhaite bénéficier des offres promotionnelles des partenaires de *Science & Vie* (groupe Mondadori)

> Mode de paiement

☐ Je joins mon chèque bancaire ou postal à l'ordre de SCIENCE&VIE

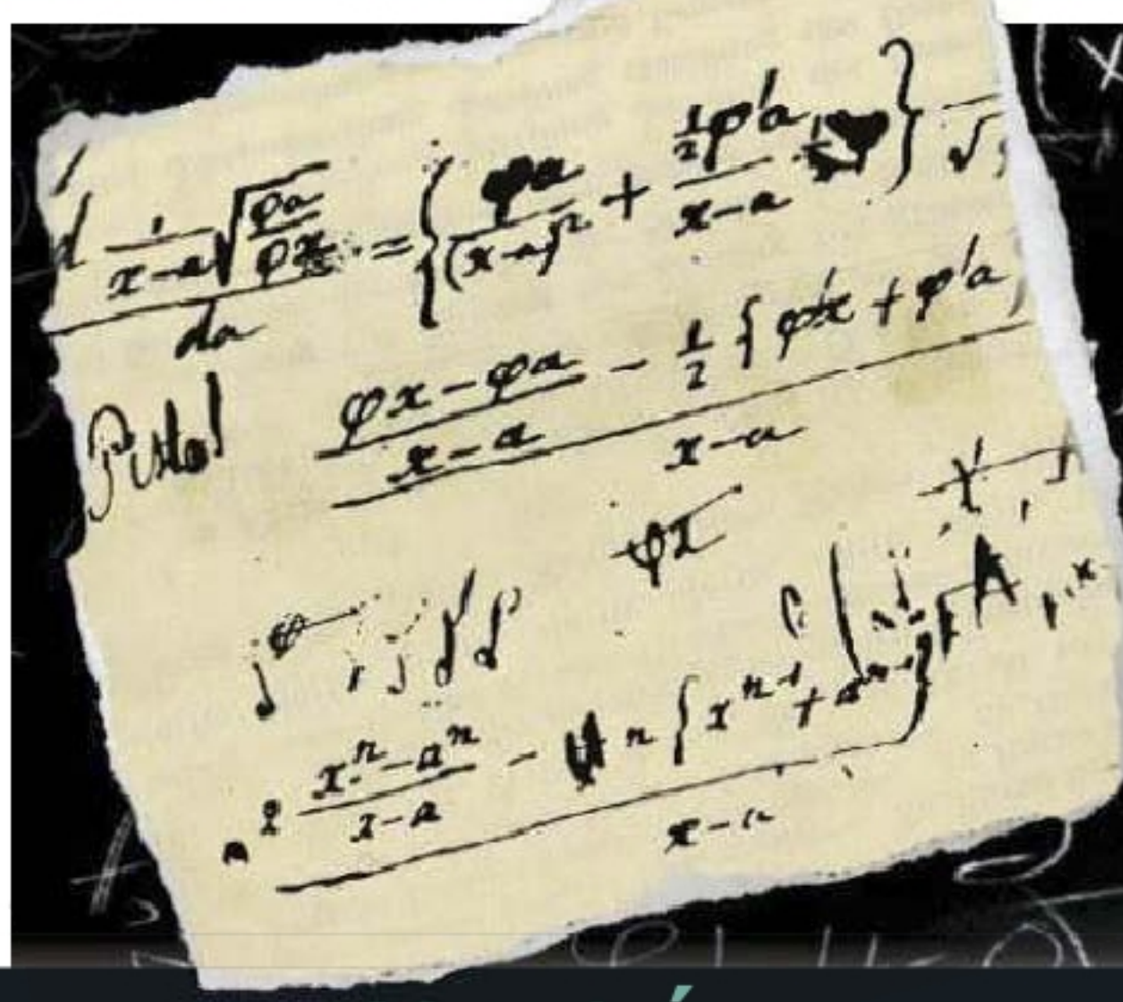
☐ Par carte bancaire : N° |_|_|_|_| |_|_|_|_| |_|_|_|_| |_|_|_|_|

Expire fin |_|_| / |_|_|

Cryptogramme |_|_|_|
Les 3 chiffres au dos de votre CB

Date et signature obligatoires

MONDADORI MAGAZINES FRANCE SAS - RCS 452 791 262 NANTERRE - CAPITAL : 56 957 458 €



◁ Evariste Galois proposait une nouvelle façon de faire des mathématiques... résolument abstraite.

IL Y A 180 ANS, ÉVARISTE GALOIS RÉVOLUTIONNAIT L'ALGÈBRE

OÙ EN SONT LES MATHS MODERN

Fini les calculs ! A l'aube du XIXe siècle, un impétueux génie d'à peine 20 ans réinvente l'algèbre... et fonde les maths modernes. Evariste Galois fait entrer les mathématiques dans l'abstraction grâce à un concept fécond, celui de "groupe". Enfermant cette discipline dans une tour d'ivoire ? Ou lui offrant de nouveaux outils pour lire le monde ? Etat des lieux.

PAR EMMANUEL MONNIER

SPL/COSMOS - REA

ES?

29 MAI 1832
LA LETTRE TESTAMENT D'ÉVARISTE GALOIS
P.114

GROUPES
LA NOTION QUI FONDE LES MATHS MODERNES
P.116

APPLICATIONS
UNE NOUVELLE FAÇON D'ÉLUCIDER LE RÉEL
P.118

DÉBAT
LES MATHS MENACÉES DE DEVENIR TROP ABSTRAITES ?
P.120

29 MAI 1832 LA LETTRE TESTAMENT D'ÉVARISTE GALOIS

Alors qu'un duel l'attend à l'aube, Evariste Galois se dépêche : il doit coucher une ultime fois par écrit ses découvertes sur l'algèbre. Un acte fondateur.

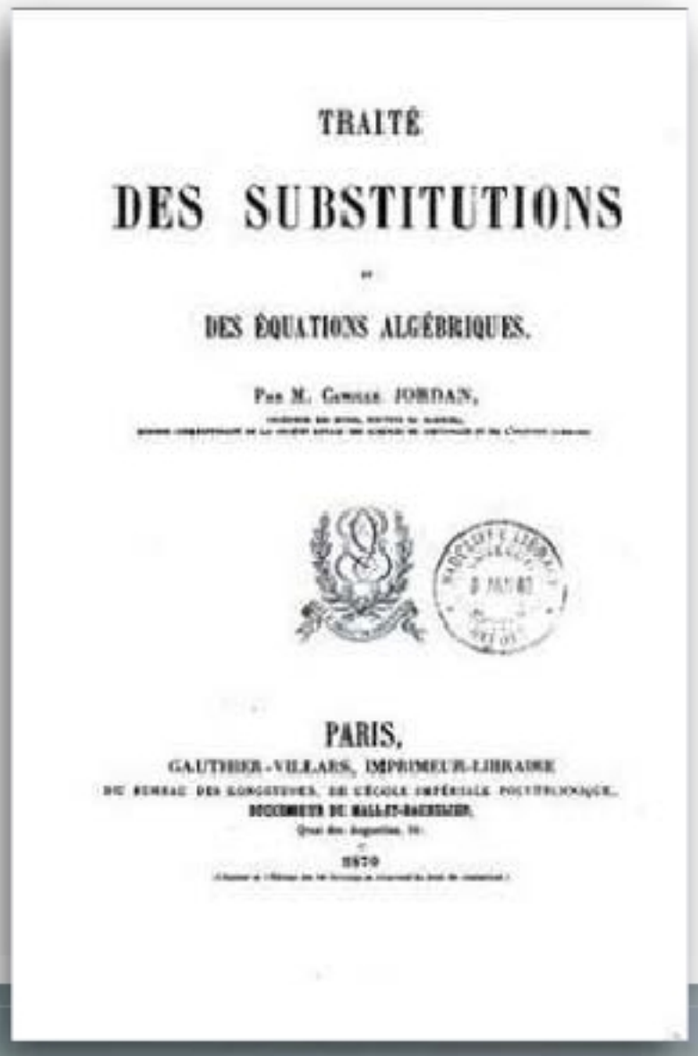
"Je n'ai pas le temps", griffonne le jeune Evariste Galois. Pas le temps de finir les démonstrations qui jalonnent son manuscrit. Cette nuit du 29 mai 1832 sera pour lui la dernière et il le sait: aux premières lueurs de l'aube, un stupide duel au pistolet l'attend. Pour *"une infâme coquette"*, écrit-il, et *"deux dupes"*. Sans expérience des armes, il ne peut espérer en sortir vivant. Quelle injustice de mourir ainsi, à 20 ans, alors qu'il s'apprête à révolutionner l'algèbre! La lettre testament qu'il adresse à son ami Auguste Chevalier, et dans laquelle il reformule à la hâte ses idées principales, est son ultime tentative d'en convaincre ses pairs.

Galois est furieux! Il en veut au grand mathématicien Cauchy de s'être porté souffrant, il y a deux ans, le jour où il devait présenter à l'Académie le mémoire qu'il lui avait confié. Il en veut à cette même Académie d'avoir égaré, quelques mois plus tard, une version remaniée, sur les conseils de Cauchy, pour le grand prix de mathématiques, le privant d'une récompense qui lui semblait acquise. Il en veut surtout à Poisson, mathématicien influent, qui lui avait proposé de réécrire une troisième fois son manuscrit, pour en critiquer ensuite les raisonnements *"ni assez clairs ni assez développés"*. Le sot! Que n'a-t-il vu que lui, Galois, apportait la clé d'une des quêtes les plus anciennes des mathématiques: la résolution des équations algébriques.

AU DIABLE LES VIEUX SAVANTS!

Le problème, depuis des siècles, s'énonce simplement: peut-on trouver un nombre inconnu x tel que $a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + \ldots + a_nx^n = 0$? Des calculs fastidieux avaient permis d'en trouver la formule générale, n'utilisant que les quatre opérations (addition, soustraction, multiplication et division) et l'extraction de racines, pour un exposant n égal à 1, puis 2, 3 et enfin 4. Personne n'était monté jusqu'à 5. Et pour cause! Son fameux mémoire prouve que c'est impossible. Un résultat qui aurait suffi, à lui seul, à faire de lui l'un des plus grands mathématiciens de son temps. Mais son ouvrage va bien plus loin. Il propose une nouvelle façon de faire de l'algèbre, résolument abstraite. Fini les calculs! Pour savoir si une équation peut se résoudre, il ne s'agit plus de rechercher les valeurs numériques que peuvent prendre les solutions, mais de se pencher seulement sur les relations qui se tissent entre ces solutions.

Galois enrage d'être le seul à le comprendre. Au diable ces grands savants incompétents, cette monarchie à qui il doit ses deux séjours à la prison Sainte-Pélagie. Au diable ce curé qui, par calomnie, a poussé son père au suicide il y a presque 3 ans. Et ces examinateurs imbéciles de l'Ecole polytechnique, qui l'ont par deux fois recalé. Il n'a pas le temps de régler ses comptes. Dans quelques heures en effet, ce jeune génie sera mort, frappé d'une balle de pistolet… mais dans quelques décennies, quand les pensées qu'il a jetées ici seront enfin comprises, la postérité lui rendra justice. Et les mathématiques, qui s'enfonceront résolument dans l'abstraction, ne seront plus jamais les mêmes.


TRAITÉ

DES SUBSTITUTIONS

ET

DES ÉQUATIONS ALGÉBRIQUES.

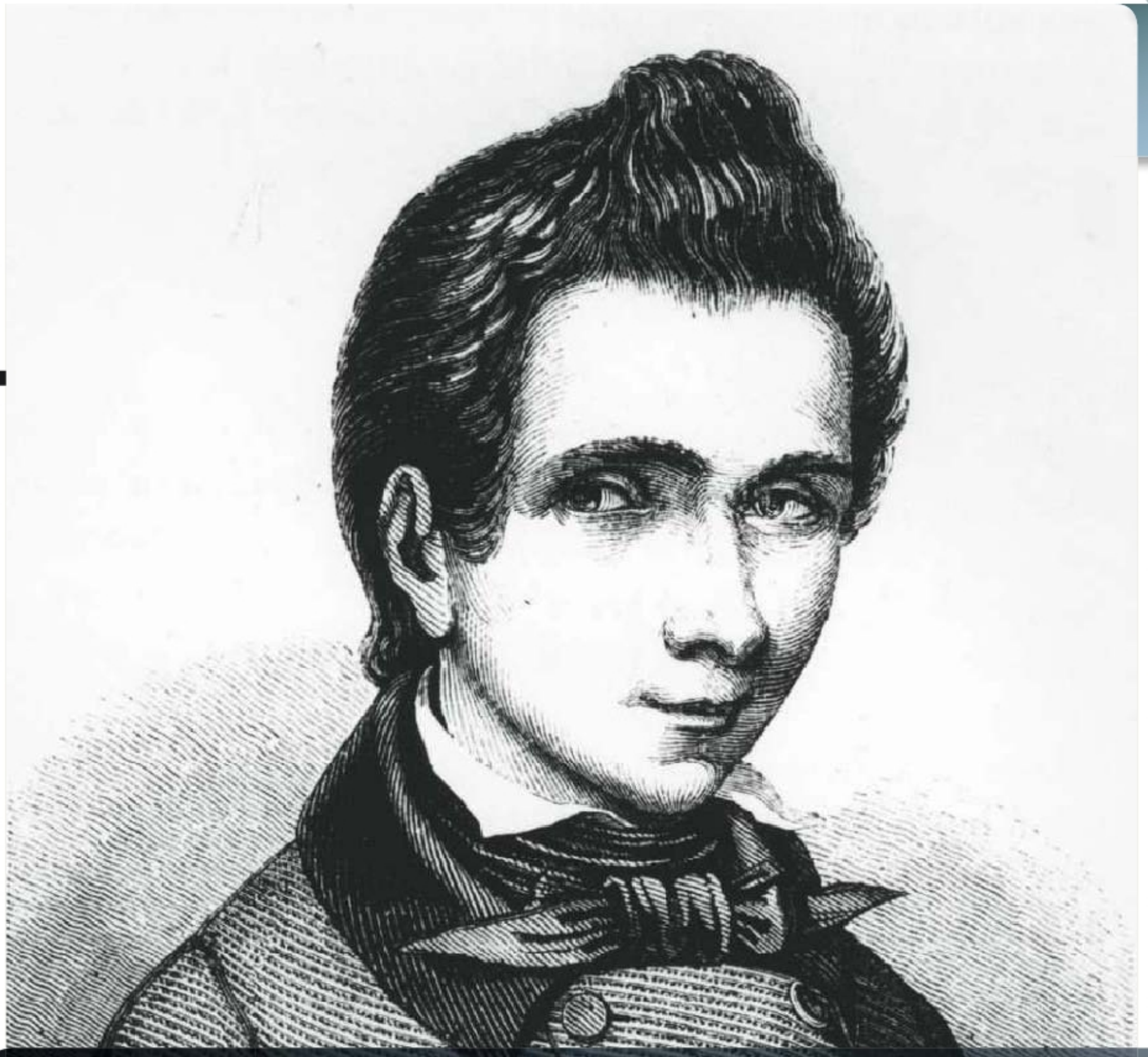
Par M. Camille JORDAN,

PARIS,

GAUTHIER-VILLARS, IMPRIMEUR-LIBRAIRE

1870

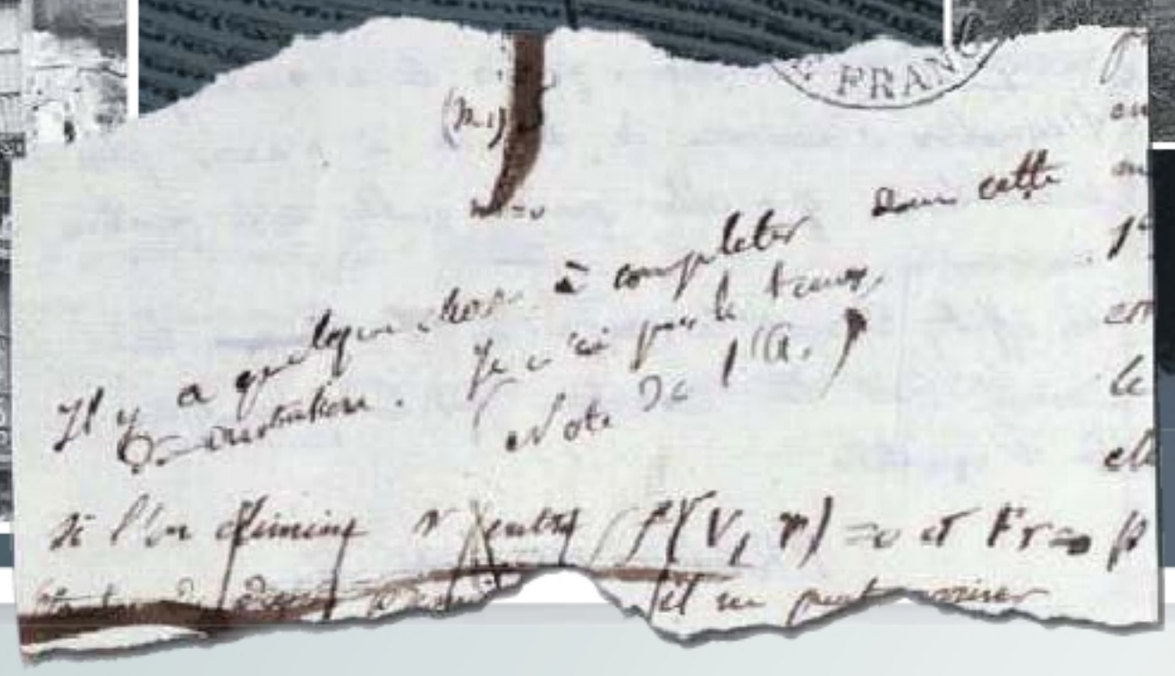
< Recalé par ses pairs, le mémoire d'Evariste Galois était trop en avance sur son temps ; il a fallu attendre 1870 pour qu'il soit enfin compris.



DR - AKG - DR - ARCHIVES CHARMET - BRIDGEMAN/ART LIBRARY

^v *"Il y a quelque chose à compléter dans cette démonstration. Je n'ai pas le tem[p]s."* Dans la nuit précédant son duel, Evariste Galois confie ses ultimes intuitions mathématiques dans une lettre (ci-dessous) et fait faire aux mathématiques un saut décisif dans l'abstraction...

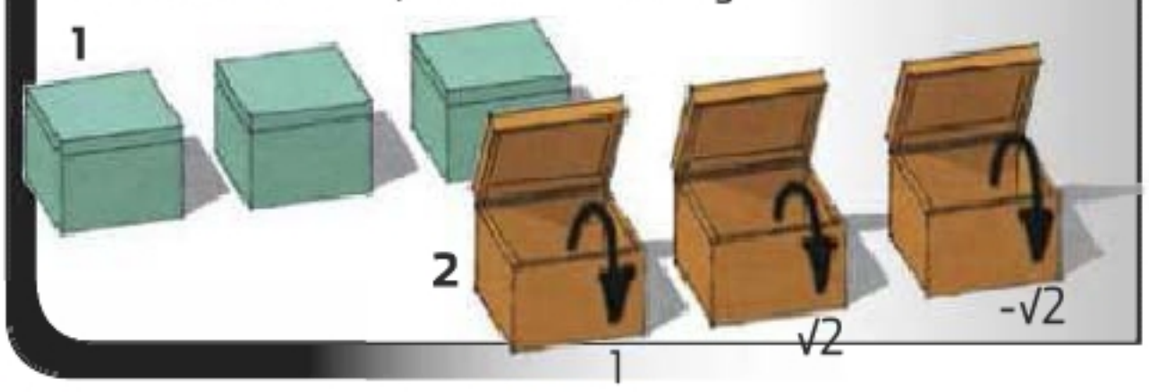
<^ ...Originaire de Bourg-la-Reine (à g. sa maison natale), ce jeune homme de 20 ans, épris de justice et de liberté, va mourir le lendemain d'un coup de pistolet.



GROUPE LA NOTION QUI FONDE LES MATHS MODERNES

1 Alors que l'algèbre classique plonge dans les calculs...

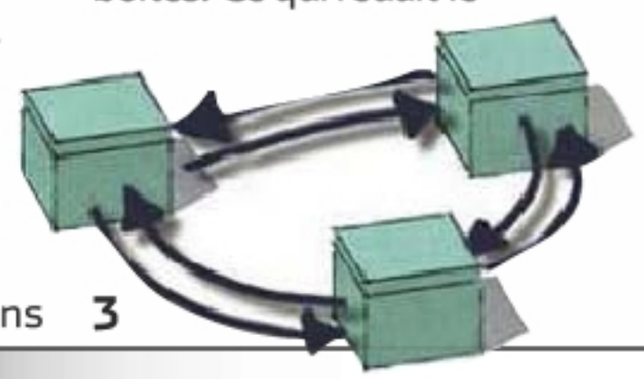
Le problème à résoudre est un des plus vieux des mathématiques : il s'agit de trouver toutes les solutions des équations de la forme "$a_0+a_1x+a_2x^2+...a_nx^n=0$" ($a_0$, a_1, a_2, etc., sont des entiers). Sachant que le nombre de solutions à trouver est égal au degré n de l'équation. Et que, comme les Pythagoriciens s'en étaient déjà rendu compte, ces formulations nécessitent parfois l'utilisation de radicaux ($\sqrt{2}$, $\sqrt[3]{7}$, etc.). Par exemple, l'équation "$2-3x^2+x^3=0$", de degré 3, a trois solutions, baptisées x_1, x_2 et x_3, que l'on peut se représenter comme trois boîtes opaques et fermées : il s'agit de trouver un moyen de formuler la valeur qui se cache à l'intérieur (voir dessin 1). Généralement enseignée au collège et au lycée, la méthode classique est suffisante pour résoudre l'exemple précédent. En l'occurrence, il y a même une solution évidente : le nombre 1 (car $2-3\times1^2+1^3=0$). Voilà déjà pour la première solution x_1. Comment trouver x_2 et x_3 ? En relevant que, 1 étant solution, l'expression $(2-3x^2+x^3)$ se factorise en $(x-1)(x^2-2)$. Et en déduisant que x_2 et x_3 sont solutions de "$x^2-2=0$", une sous-équation dont les solutions sont $\sqrt{2}$ et $-\sqrt{2}$. Bref, les calculs n'ont guère de mal à ouvrir ces trois boîtes particulières (voir dessin 2). Plus généralement, l'algèbre classique a fourni les formules de résolution de toutes les équations de degré 1, 2, 3 et 4. Par contre, pour celles de degré supérieur ou égal à 5, rien à faire : personne n'a jamais trouvé la bonne formule générale.



M.KONTENTE

2 L'algèbre moderne, elle, s'élève vers l'abstraction

Galois prône une approche radicalement nouvelle : il ne s'agit plus d'exprimer ce que l'on sait des solutions, mais ce que l'on ignore. Comment ? En inventant une nouvelle notion, celle de "groupe", qui représente cet état d'ignorance. Prenons un cas concret : l'équation "$2-3x^2+x^3=0$". Avant que cette équation ne soit résolue, les trois boîtes sont parfaitement identiques et interchangeables : puisque le travail de résolution n'est pas commencé et que rien ne permet de les distinguer, elles peuvent être librement interverties entre elles (voir dessin 3). En y regardant de plus près, il existe six façons d'intervertir ces trois boîtes : hormis le cas où chacune reste en place, il est possible d'échanger la première avec la deuxième, la première avec la troisième, la deuxième avec la troisième, ou de toutes les décaler d'un cran, dans un sens et dans l'autre. Or, cet ensemble de 6 substitutions présente une certaine structure (comme le fait que chaque élément a son inverse). Pour les mathématiciens, cette qualité (ainsi que d'autres) en font un "groupe". Et ce groupe mesure bien une ignorance : il liste toutes les ambiguïtés qui empêchent d'identifier les solutions. Et indique donc aussi le chemin qu'il reste à parcourir pour résoudre l'équation. Reprenons le cas précédent. Que se passe-t-il quand on découvre que le nombre 1 est solution ? La symétrie entre les boîtes est brisée. La première ne peut plus être confondue avec les deux autres (voir dessin 4). La seule confusion possible réside dorénavant entre les deux dernières boîtes. Ce qui réduit le



La théorie de Galois s'attaque au vieux problème algébrique de la résolution des équations. En suivant les pensées du mathématicien plutôt que ses calculs, elle invite à une abstraction déroutante, et terriblement efficace. Les maths ne seront plus jamais les mêmes.

groupe : au lieu des six éléments précédents, il n'en compte plus que deux (l'opération qui laisse tout en place et celle qui inverse les boîtes 2 et 3). Une réduction qui montre que l'ignorance, elle aussi, a reculé.

La théorie de Galois consiste à analyser comment s'opèrent de telles réductions. Le point clé (et trop subtil pour être décrit plus précisément) consiste à faire le lien avec l'utilisation de radicaux dans la formulation des solutions. Pour l'essentiel, il suffit de savoir que le recours à un radical (racine carrée, cubique, quintique, etc.) permet de réduire le groupe d'un facteur égal au degré de la racine (2 pour la racine carrée, 3, pour la cubique).

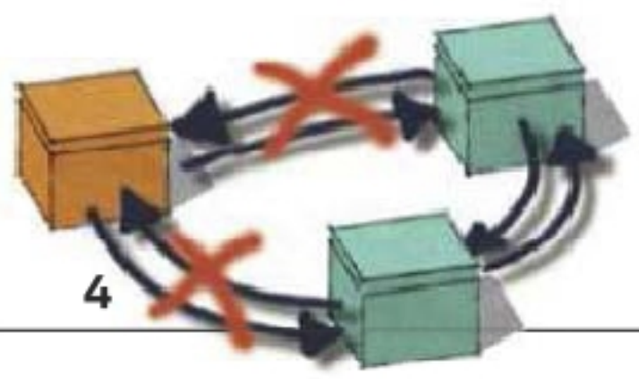
Pour illustrer cette remarque un peu déroutante, poursuivons la résolution de notre équation, où il s'agit encore de trouver x_2 et x_3, solutions de $x^2-2=0$. La réponse est connue : $x_2=\sqrt{2}$ et $x_3=-\sqrt{2}$. L'usage de cette racine carrée permet donc maintenant d'écrire des formules qui différencient les deux dernières boîtes (voir dessin 5). Le groupe se réduit donc à sa plus simple expression : il n'a plus qu'un élément (celui qui laisse chaque boîte à sa place). Ce qui est le signe que le travail de résolution est terminé, qu'il n'y a plus d'ambiguïté entre les boîtes, et que chacune est bien identifiée. Cet exemple permet aussi de constater que l'adjonction d'une racine carrée a bien réduit le groupe de moitié (il n'a plus qu'un élément au lieu de deux).

Cet exemple ne permet cependant pas de comprendre toute la puissance de la théorie de Galois, qui ne se déploie que sur les équations générales. Regardons l'équation générale du second degré par exemple : le groupe associé ne contient que deux éléments (la substitution entre x_1 et x_2, ainsi que l'identité), ce qui suffit pour affirmer qu'une certaine racine carrée permettra toujours de le réduire convenablement. Un raisonnement lapidaire qui ne donne pas les formules exactes des solutions, mais suffit à démontrer leur existence.

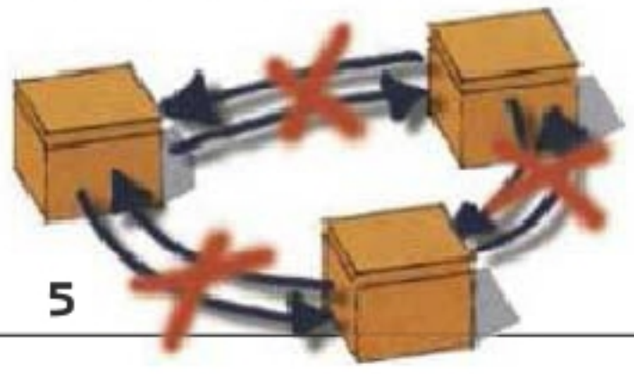
Regardons maintenant l'équation du troisième degré : le groupe contient 6 éléments (les mêmes que ceux décrits plus haut) et peut être convenablement réduit d'un facteur 3 puis 2 par adjonction d'une racine cubique puis d'une racine carrée. Là encore, les solutions sont donc formulables.

C'est pour l'équation générale de degré 5, avec cinq boîtes à mélanger, que ça se corse (voir dessin 6). Le groupe associé contient 120 éléments. Son analyse révèle qu'il peut être réduit en un sous-groupe de 60 éléments, suivant l'introduction d'une racine carrée.

Las ! Il n'existe pas d'autres sous-groupes intermédiaires convenables. La seule façon de réduire ce sous-groupe de 60 éléments serait donc de passer directement au groupe contenant le seul élément d'identité. Autrement dit, de faire une réduction d'un facteur 60. Et cela n'a pas de sens. Car il faudrait pour cela évoquer une "racine-soixantième". Or, puisque 60 est divisible par 2, 3 et 5, une "racine-soixantième" est avant tout une racine carrée, cubique et quintique ($\sqrt[60]{}=\sqrt{}(\sqrt[30]{})$, ou $\sqrt[5]{}(\sqrt[6]{})$). Le groupe devrait donc pouvoir se réduire d'un facteur 2, 3 et 5, et non pas seulement de 60. Puisque ce n'est pas le cas, la conclusion tombe : les équations du cinquième degré ne peuvent pas être résolues par une formule générale. A peine née, l'algèbre moderne vient déjà de mettre un point final à un défi de plus de deux millénaires. **H.P.**



4



5

6

APPLICATIONS UNE NOUVELLE FAÇON D'ÉLUCIDER LE RÉEL

Du nanomonde à l'anthropologie en passant par l'étude des flocons de neige, la notion de "groupes" énoncée par Galois s'est révélée exceptionnellement féconde pour appréhender le monde. Exemples.

SPL/COSMOS - F.SAURER/LOOK AT SCIENCES - PSL/PHANIE - CERN - MEIGNEUX/SIPA

CRISTALLOGRAPHIE

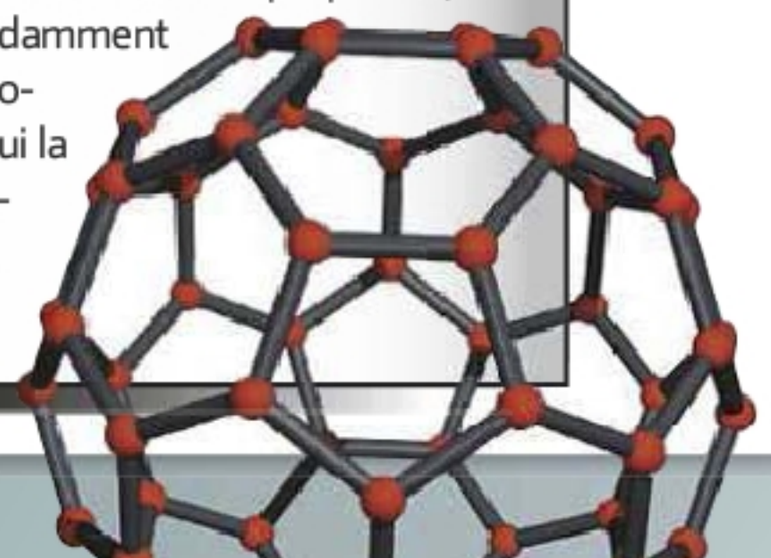
Grouper les cristaux...

Quel est le rapport entre un flocon de neige et la théorie des groupes ? Les symétries ! C'est-à-dire les transformations de l'espace qui, lorsqu'on les applique deux fois sur un même objet, le laissent inchangé. Comme la double réflexion d'une image dans un miroir. Une symétrie, en physique, joue un rôle fondamental : dès qu'elle est présente dans une cause, on la retrouve dans l'effet produit. Prenons le cristal de glace : son arrangement périodique d'un même motif atomique présente différentes symétries dont dépendent ses propriétés, comme celle de réfléchir, ou pas, la lumière. Le physicien classe donc les cristaux davantage en fonction de ces symétries que de leurs constituants. Or, ces symétries, que l'on peut appliquer l'une après l'autre, forment un "groupe" au sens mathématique : une rotation suivie d'une autre donne une troisième rotation. L'étude des propriétés d'un groupe de cristaux se ramène donc souvent à celles du groupe de symétries auquel il appartient.

CHIMIE

... et les molécules

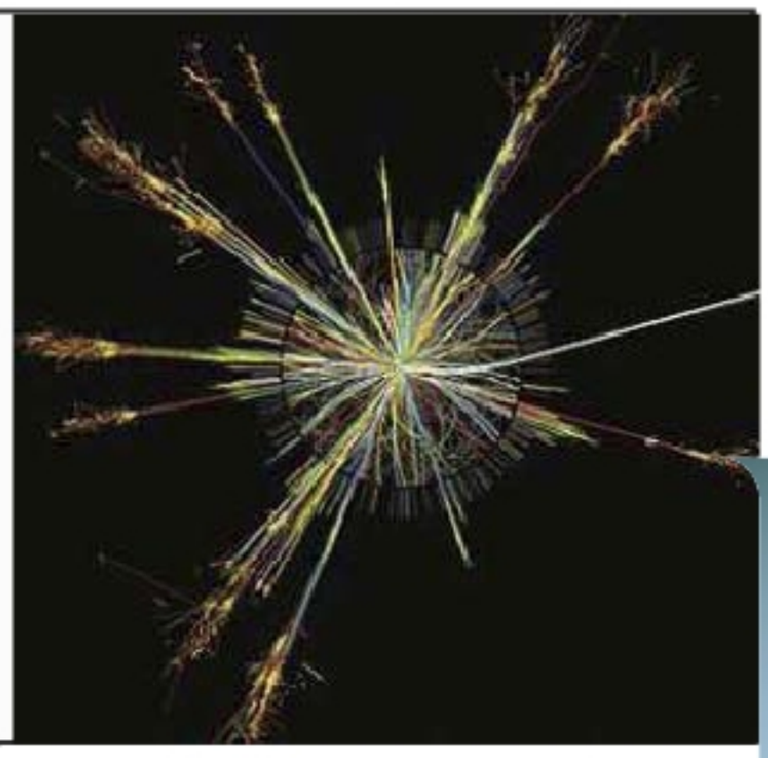
Les molécules présentent différentes symétries par rapport à un point, à un plan, ou restent inchangées après des rotations autour d'un axe... De ces symétries dépendront, ici aussi, beaucoup de leurs propriétés. Ainsi, la molécule d'oxygène étant symétrique par rapport à son centre de gravité, son moment électrique est nul (pas de séparation des charges positives et négatives) : elle n'émet ni n'absorbe de rayonnement infrarouge, et ne participe donc pas à l'effet de serre, contrairement à d'autres moins symétriques comme le méthane, par exemple. L'étude du groupe de symétries auquel la molécule appartient joue donc un rôle clé dans la détermination de ses propriétés, indépendamment des atomes qui la constituent.



CINÉMATIQUE

Suivre la trajectoire d'une particule

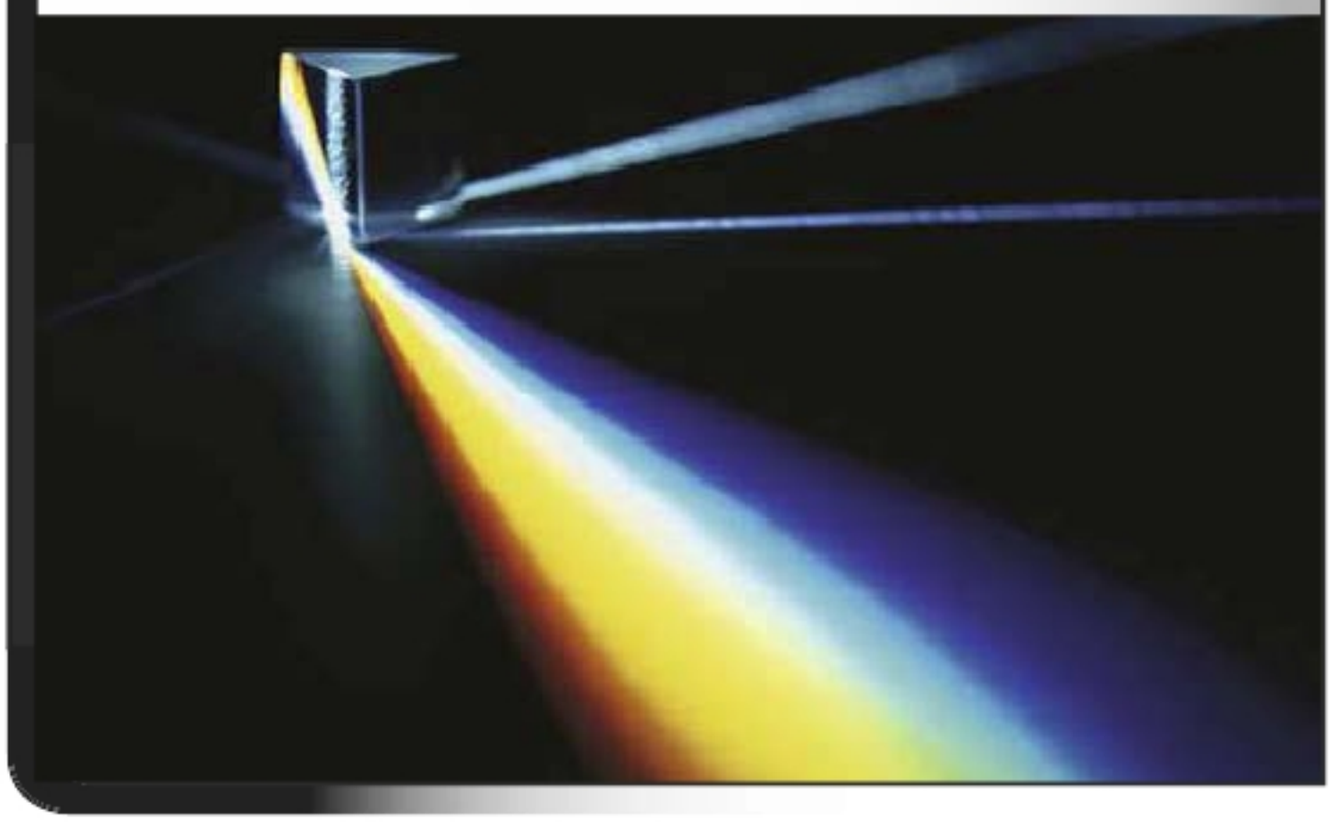
Pour décrire le mouvement d'une balle lancée dans un train vu depuis le quai, il faut savoir passer d'un repère à l'autre, en transformant convenablement les coordonnées d'espace et de temps. Or, en physique classique, ces changements de repères appartiennent mathématiquement à un groupe, "le groupe de Galilée", où le cours du temps n'est jamais modifié: il s'écoule de la même façon d'un repère à l'autre. La relativité d'Einstein s'appuie, elle, sur un autre groupe de transformations, "le groupe de Lorentz", qui modifie les coordonnées spatiales et temporelles. Résultat: le temps de la balle n'est plus le même que celui de l'observateur sur le quai.

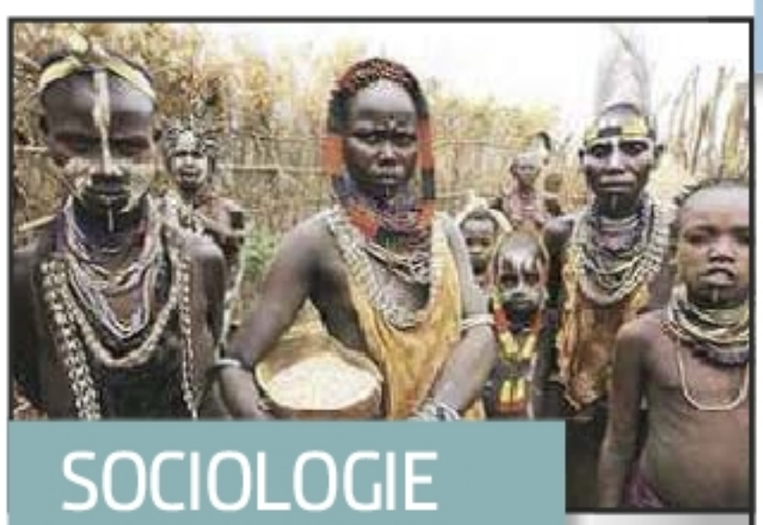


PHYSIQUE QUANTIQUE

Comprendre le nanomonde…

La physique quantique, qui décrit la matière aux échelles nanoscopiques, s'appuie sur l'équation de Schrödinger, dont dépend le comportement de l'objet étudié. Or, plus il y a d'éléments à prendre en compte, plus cette équation devient complexe. Mais elle ne change pas lorsqu'on permute deux particules identiques. La structure de groupe que possède l'ensemble des permutations applicables au système fournit alors des outils mathématiques pour la résoudre. Si ça ne suffit pas, on peut recourir à d'autres groupes, comme celui des symétries, qui permet de décomposer les solutions en éléments plus simples. Voire de renoncer à résoudre l'équation car seule compte, pour prédire ses propriétés, la nature du groupe de symétries auquel le système appartient. Dans tous les cas, l'étude des groupes de transformations (permutations, symétries…) laissant cette équation inchangée permet de prévoir le comportement du système quantique (comme la répartition des niveaux d'énergie).





SOCIOLOGIE

… ou les liens de parenté

Dans les années 1940, Claude Levi-Strauss utilise le concept de groupes pour définir la "structure élémentaire de la parenté". Certaines cultures établissent en effet des nomenclatures qui déterminent les personnes que l'on peut épouser ou pas: cela correspond à une permutation. Levi-Strauss a ensuite considéré d'autres fonctions et les a composées les unes avec les autres pour former une structure appelée en mathématique "groupe de Klein". Certes, les groupes humains sont moins rigides que les groupes mathématiques, et des éléments peuvent toujours faire exception, mais cette théorie des groupes a ouvert la voie à une approche structuraliste en sciences humaines.

DÉBAT LES MATHS MENACÉES DE DEVENIR TROP ABSTRAITES ?

Oubliez les robinets qui fuient ! Place à la théorie des ensembles. Une course folle à l'abstraction qui promet de relever tous les défis mathématiques.

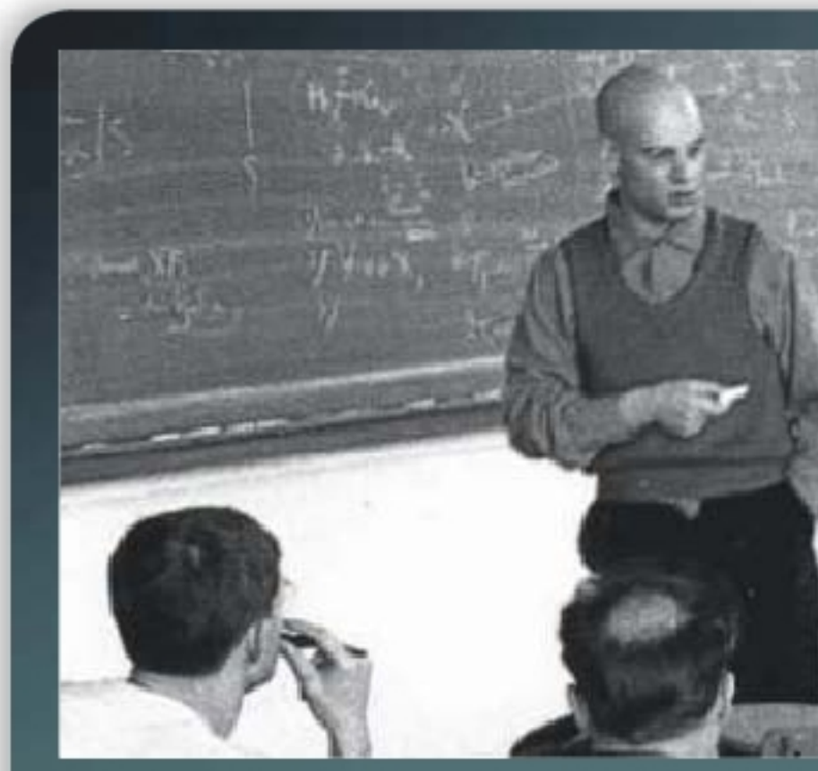
Les mathématiciens n'en font-ils pas un peu trop ? Là où leurs prédécesseurs voyaient une simple droite, les voilà qui décrivent une *"variété affine en bijection avec l'ensemble des nombres réels"*. Et un nombre entier est devenu pour eux l'élément d'un *"monoïde additif commutatif"* plongé dans une structure *"d'anneau intègre"*, peuplé *"d'idéaux principaux"* (donc forcément *"unifères"*). Perdu, l'esprit concret s'interroge : en quoi ce désir de construire des structures toujours plus abstraites éclaire-t-il encore le monde dans lequel nous vivons ?

La révolution des "maths modernes", dans les années 1960-1970, a révélé le fossé qui sépare mathématiciens professionnels et grand public : fini les robinets qui fuient, l'Education nationale s'était mis en tête d'enseigner les mathématiques telles qu'elles se créaient dans les laboratoires. Théories des ensembles et bijections ont donc remplacé les petites recettes de calcul péniblement apprises jusque-là par des générations d'écoliers. Inutile de rappeler que, malgré la bonne volonté des enseignants, cette révolution menée sabre au clair n'a pas rempli ses promesses. Les bonnes intentions étaient pourtant là. Car depuis l'assimilation progressive, à la fin du XIXe siècle, des travaux d'Evariste Galois, il fallait bien reconnaître que les mathématiques avaient considérablement évolué. Et ceux qui avaient pour tâche de les transmettre ne pouvaient plus l'ignorer.

LES MATHS S'ÉTUDIENT ELLES-MÊMES

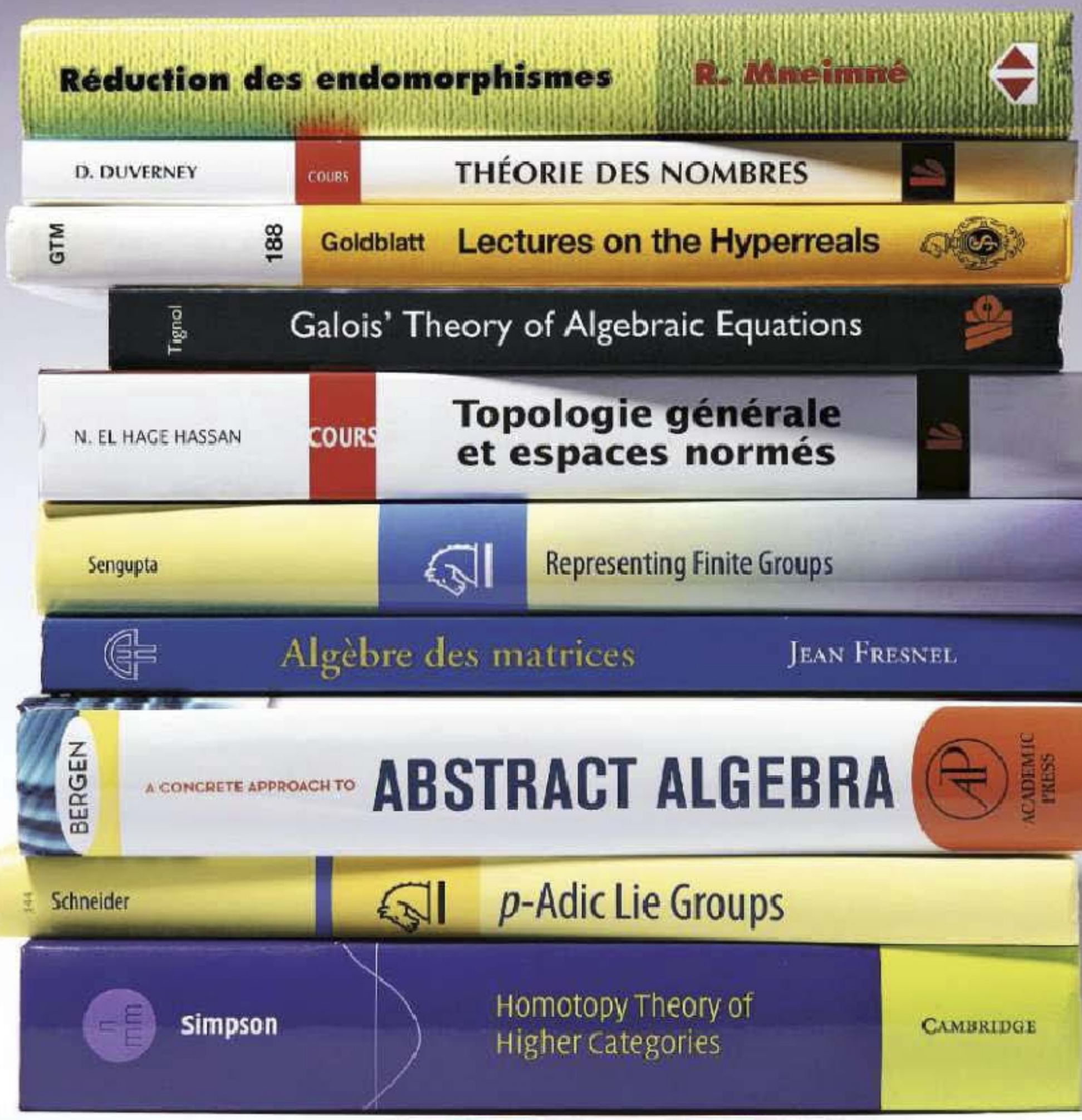
Ainsi, Michel Vaquié, chercheur en géométrie algébrique au département de mathématiques de l'université Paul-Sabatier de Toulouse, se souvient du choc que fut sa découverte de la théorie de Galois : *"Je n'avais fait que des calculs, appris à résoudre que des équations. Là, c'était une manière nouvelle de mettre des objets en relation. Pour la première fois, l'univers mathématique avait des lois, des structures, et le travail du mathématicien était de les mettre en évidence."* Galois propose en effet d'arrêter les longs calculs sur les pommes ou les billes pour se consacrer à des notions plus abstraites comme les ensembles, les lois qu'on peut construire pour associer entre eux les objets qu'ils contiennent et les propriétés que confèrent les lois que l'on s'est données. Un saut décisif dans l'abstraction. *"Les maths se mettent à s'étudier elles-mêmes,* observe Denis-Charles Cisinski, professeur de topologie algébrique dans le même département. *Une théorie mathématique peut elle-même devenir un objet mathématique qu'on étudie au même titre qu'une courbe, un cercle, avec une théorie des théories."* Ainsi, lorsque Galois réunit les relations entre les solutions d'une équation au sein d'un "groupe" (voir p. 116), ce ne sont plus ces solutions qu'il cherche à caractériser, mais les propriétés du groupe lui-même, indépendamment des objets qu'il contient. Comme Cézanne, lorsqu'il affirmait que les pommes qu'il peignait n'étaient qu'un prétexte et que la peinture devait s'émanciper de la chose représentée.

Cette approche va essaimer dans toutes les branches des mathématiques, tant est puissante et transversale l'idée de regrouper des objets et leurs relations au sein d'un ensemble, dans lequel on se donne la possibilité de composer un élément avec un →

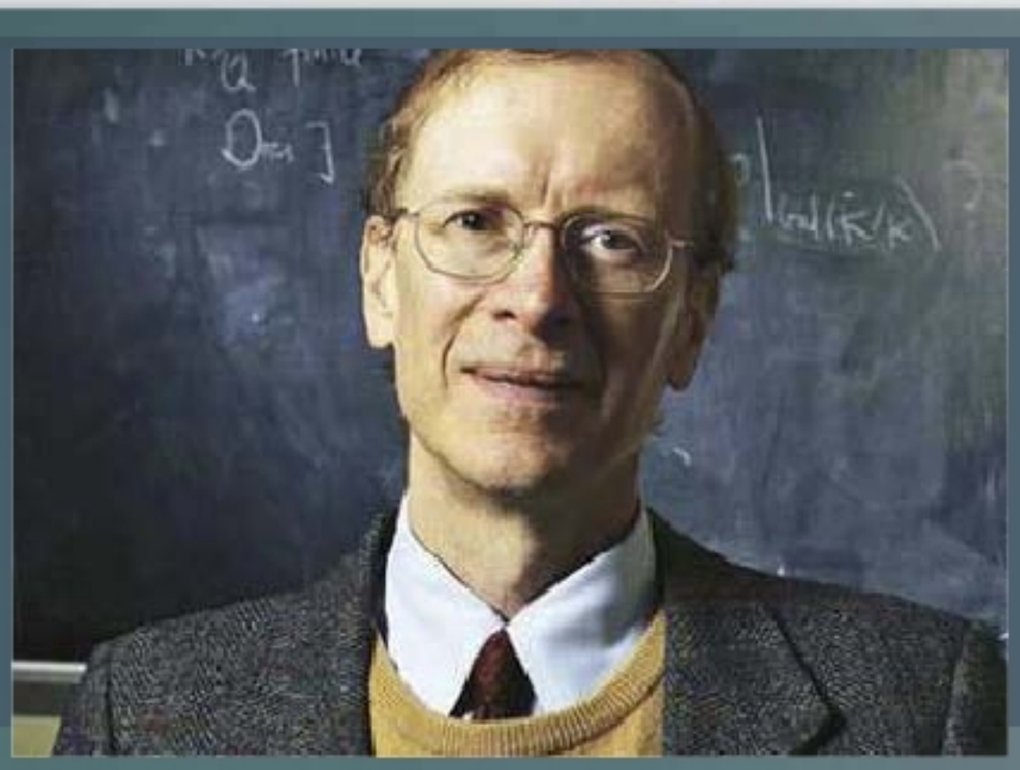


IHES - M.FLORES - COURTESY OF THE PRINCETON UNIV. OFFICE OF COM - F.WOIRGARD/LOOK AT SCIENCES

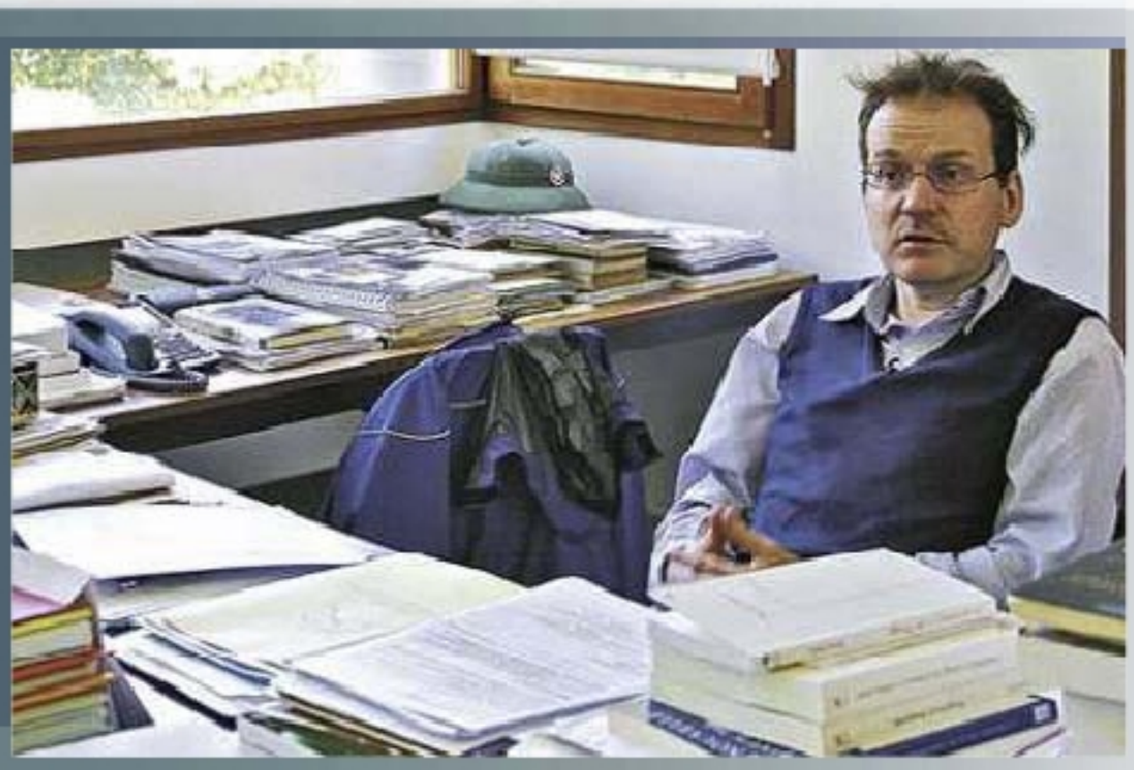
^ Ainsi, le concept de "catégorie" étendu par Alexander Grothendieck dans les années 1960...



< Les mathématiques de laboratoires sont à l'origine d'une littérature abstraite et désincarnée... qui a accouché de concepts très efficaces.



^ ... a permis à Andrew Wiles, en 1995, de démontrer la conjecture de Fermat, sur laquelle des générations se cassaient les dents...



^ ... puis à Laurent Lafforgue de franchir un pas décisif dans la résolution des équations à plusieurs inconnues.

→ autre. Ainsi, après avoir révolutionné l'art de résoudre les équations, la notion de groupe va permettre de reformuler en profondeur toute la géométrie. Le programme d'Erlangen, initié à la fin du XIXe siècle par Félix Klein, propose en effet de définir une géométrie par un groupe donné de transformations (rotations, translations…) et d'objets qu'elles laissent inchangés. Des premiers ponts se créent entre les disciplines mathématiques…

La montée dans l'abstrait s'emballe avec le concept de "catégorie". D'abord introduite dans les années 1940, cette notion est déployée par Alexander Grothendieck pour généraliser l'approche de Galois et refonder toute la géométrie algébrique. L'idée est d'étudier les relations que les différentes structures mathématiques possibles entretiennent entre elles. On peut ainsi considérer la classe de tous les groupes possibles et montrer qu'il existe des processus de transformation d'un groupe en un autre, appelés "morphismes", qui préservent la structure, ce qui permet d'étudier les propriétés de l'un à partir de celles de l'autre. Mais on peut encore monter d'un cran dans l'abstraction. Car les catégories, qui sont des ensembles d'objets, sont elles-mêmes des objets. On peut donc étudier les relations que ces diverses classes de structures mathématiques tissent entre elles. Et démontrer qu'il existe des processus, appelés "foncteurs", qui associent à chaque objet d'une catégorie un objet d'une autre catégorie, et à chaque morphisme de la première catégorie un morphisme de la seconde… établissant de fécondes équivalences: une fois ce lien entre deux catégories établi, des propriétés démontrées sur l'une peuvent immédiatement être étendues à l'autre.

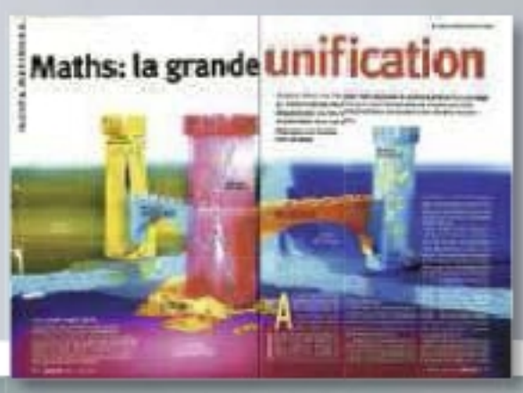
DES CONCEPTS RAPIDES À ÉNONCER

Catégories, puis catégories de catégories, puis catégories de catégories de catégories… Les preuves de l'efficacité de cette vertigineuse montée en abstraction abondent. Ainsi, c'est en utilisant de telles correspondances entre la famille des courbes elliptiques et celle des formes modulaires, deux types d'objets *a priori* très différents, que le Britannique Andrew Wiles a démontré en 1995 la célèbre conjecture de Fermat, sur laquelle des générations s'étaient cassé les dents (voir S&V n° 1038, p. 66). En 2002, c'est en établissant des correspondances entre théorie des nombres (arithmétique des corps), algèbre (théorie des représentations des groupes) et analyse (étude de certaines fonctions dites automorphes) que fut en partie généralisée la théorie de Galois: comme celui-ci l'avait fait avec la notion de groupe, Laurent Lafforgue a livré des objets dont l'étude permet de déterminer s'il est possible de résoudre des équations algébriques à plusieurs inconnues, au lieu d'une seule inconnue pour Galois (voir S&V n° 989, p. 80).

L'abstraction permet également de réduire le temps nécessaire pour assimiler un bagage mathématique qui s'alourdit toutes les décennies. Car monter en abstraction permet de résumer en quelques mots de grands pans de mathématiques. *"En topologie algébrique, certaines démonstrations nécessitaient dans les années 1950 des articles entiers. Aujourd'hui, elles prennent une ligne"*, souligne Denis-Charles Cisinski, citant *a contrario* l'exemple emblématique de la classification des groupes finis: *"Un sujet tellement technique que personne ne comprend vraiment tout. Le seul qui était réputé en avoir une bonne vision globale, Daniel Gorenstein, est mort. Il y a donc toute une partie des mathématiques censée avoir résolu une grande question tellement compliquée qu'il n'y a plus personne pour pouvoir dire si elle est correcte ou pas. Développer des concepts et monter en abstraction, ça sert aussi, sur le long terme, à éviter ça."* Tout réexprimer avec des concepts, certes plus abstraits, mais au final plus simples et rapides à énoncer: les mathématiciens semblent résolus à poursuivre cette vertigineuse escalade. Les futures générations n'auront donc guère le choix: mieux vaut pour elles se réconcilier au plus vite avec les maths "modernes". ▮

DANS *SCIENCE & VIE*

Dans les années 1960, alors que la volonté d'introduire les "maths modernes" dès la classe de sixième divise enseignants et scientifiques, *Science & Vie* prend position contre cette réforme. *"Dans la pratique courante, même au niveau de l'ingénieur, la théorie des ensembles ne sert à rien. C'est ennuyeux"*, pouvait-on lire dans le numéro de juin 1965. Onze ans plus tard, notre mensuel critique toujours *"les mystiques de l'abstraction"* et se félicite de l'abandon de la réforme.



Mais malgré leur complexité, les mathématiques abstraites n'ont pas été abandonnées par la suite dans *S&V*: démonstration du théorème de Fermat dans les années 1990, "grande unification"

des maths modernes expliquée en 2000, ainsi qu'un important dossier consacré à "L'échec des maths à l'école" (septembre 2001). A l'inverse, notre magazine se faisait cette fois l'écho des inquiétudes de la communauté mathématique française, pour qui les élèves ne faisaient plus que *"des vérifications, sans comprendre ni raisonner"*. **G.S.**

SCIENCE&VIE

EN PRATIQUE

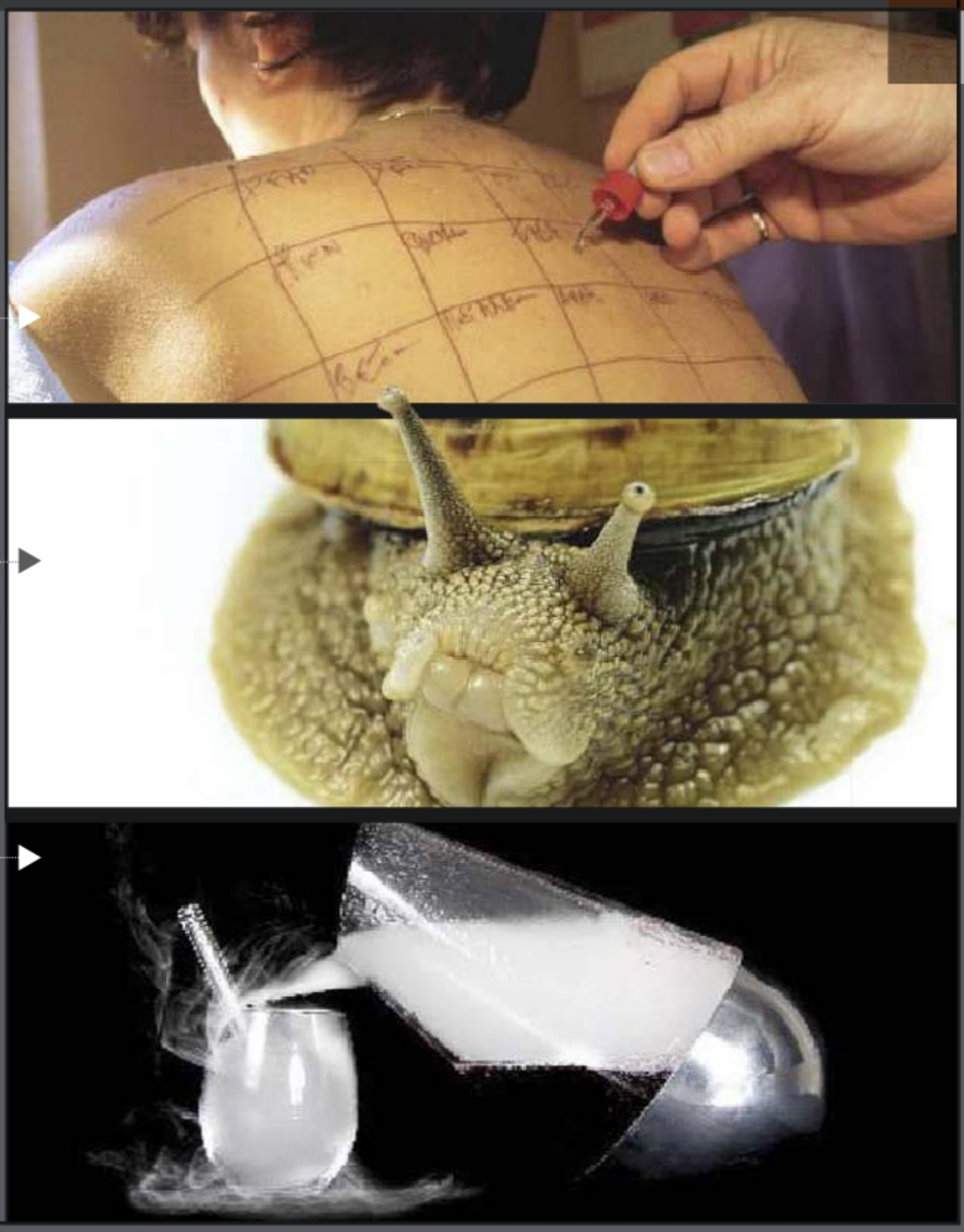
124 BON À SAVOIR
En direct des publications scientifiques et autres rapports et études...

126 ZOOM DU MOIS
Allergies : 8 bonnes questions pour y voir plus clair

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

138 TECHNOFOLIES
L'ultraportable à transistors 3D...
et les dernières innovations technologiques.

146 LE CIEL DU MOIS

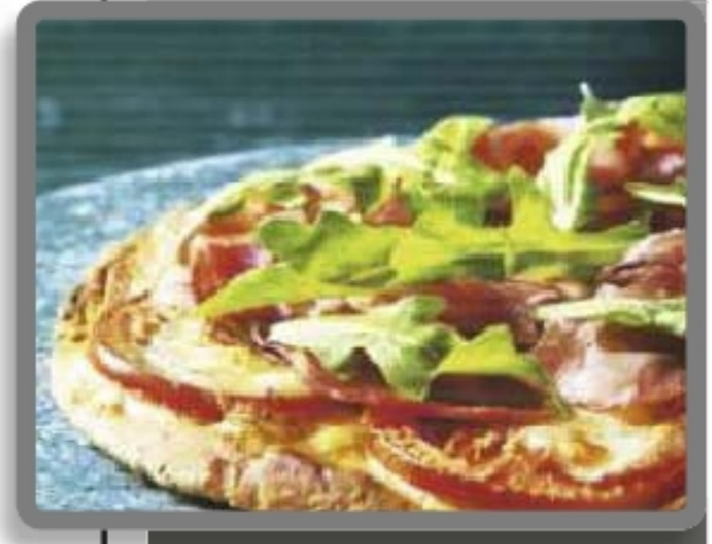


P.ALLARD/RÉA - C.VIDAL/BIOS - DR

BON À SAVOIR

UN PLAT QUI DONNE ENVIE A MEILLEUR GOÛT

C'est ce qu'a montré une électrode placée dans la bouche de volontaires soumis au visionnage d'images de pizzas ou de haricots verts. Le signal électrique leur paraissait plus agréable quand ils regardaient des plats appétissants… "PlosOne", mars 2012.



LA NUIT NE PRÊTE PAS CONSEIL

Dormir préserve, voire amplifie la force des réactions émotionnelles. Une étude montre que si on veille après avoir observé des images bouleversantes ou traumatisantes, on réagit moins en les revoyant que si on a dormi avant. "The Journal of Neuroscience", janvier 2012.

DU VIN TOUT BIO DÈS L'AUTOMNE

Pour mériter le label bio, les vins devront dès les vendanges 2012 respecter un cahier des charges plus exigeant, impliquant les pratiques de vinification. *Dixit* la Commission européenne. Règlement CE nº 203/2012, mars 2012.

UN BÉBÉ QUI RONFLE PEUT DEVENIR HYPERACTIF

Les jeunes enfants qui souffrent de troubles respiratoires du sommeil (ronflements, respiration par la bouche, apnées) sont plus susceptibles de devenir hyperactifs ou d'avoir des problèmes d'attention. 8000 parents anglais ont observé le sommeil de leur enfant de 6 mois à 7 ans : le risque de troubles du comportement a augmenté de 20 % à 60 % à l'âge de 4 ans, et de 40 % à 100 % à 7 ans. Les parents sont encouragés à consulter un médecin, notamment s'ils constatent un pic de ronflements à 2 ans et demi, car celui-ci peut induire des problèmes comportementaux même si l'enfant arrête de ronfler entre-temps. "Pediatrics", mars 2012.

LES FEMMES TUENT MOINS SUR LA ROUTE

La préfecture de police de Paris a saisi l'occasion de la Journée de la femme pour révéler que si les femmes conduisent autant que les hommes, elles provoquent moins d'accidents mortels. En 2010, 83 % des condamnés pour homicide involontaire sur les routes de France étaient des hommes. Plus enclins aux comportements à risques, ils représentent 92 % des conducteurs impliqués dans un accident mortel lié à un taux élevé d'alcoolémie, et 93 % de ceux circulant sans permis. "Observatoire national interministériel de la sécurité routière", mars 2012.

LES RICHES SONT PLUS IMMORAUX

Les membres des classes supérieures auraient tendance (et ils l'assument) à mentir, tricher, enfreindre davantage le code de la route que ceux des classes moins élevées. Les chercheurs ont observé à leur insu plus de 400 conducteurs à l'approche d'un carrefour et d'un passage piéton, et ont soumis plusieurs centaines de personnes à des expériences en laboratoires sur leurs penchants à se comporter de façon non éthique. Ainsi, la "richesse" rendrait bien plus individualiste et insoucieux des conséquences de ses actes. Mais ces différences s'estompent si on demande à tous les participants d'envisager les bénéfices que leur rapporterait un comportement non éthique. "PNAS", février 2012.

LES ACIDES GRAS TRANS RENDENT AGRESSIF

Une alimentation riche en acides gras trans, ces mauvaises graisses présentes dans de nombreux plats industriels, est associée à une tendance à l'agressivité et à l'irritabilité. Ils inhibent en effet la production d'oméga 3 qui, eux, calment l'agressivité. "PlosOne", mars 2012.

L'ÉTHYLOTEST DEVIENT OBLIGATOIRE À BORD

A partir du 1er juillet 2012, chacun devra avoir un éthylotest dans sa voiture, son poids lourd ou son deux-roues (au-dessus de 50 cm^3). Les premières amendes (11 €) tomberont à partir du 1er novembre… pour permettre à la production de suivre. "Journal officiel", mars 2012.

UNE VOIX GRAVE DONNE CONFIANCE

Avoir une voix grave aiderait à gagner des élections ! Elle serait en effet davantage synonyme de compétence, de force mentale et de confiance. Ce qui pourrait expliquer le faible nombre de femmes à des postes de direction… "Proceedings of the Royal Society", mars 2012.

FOTOLIA - BILDHUSET/PLAINPICTURE - MEYER/TENDANCE FLOUE - FOTOLIA

ON PRÉFÈRE LES MOTS TAPÉS DE LA MAIN DROITE

La perception des mots change selon la situation de leurs lettres sur le clavier. En étudiant la perception de mots dans trois langues utilisant des claviers qwerty, des chercheurs anglais ont montré que ceux formés de lettres plutôt situées à droite sont perçus plus positivement. Cet effet jouerait aussi dans la création de mots et d'abréviations. Il pourrait être dû à la prépondérance des droitiers et être extrapolé aux claviers azerty. "Psychonomic Bulletin & Review", mars 2012.

ZOOM DU MOIS

Par Kheyra Bettayeb

Allergies

8 bonnes questions pour y voir plus clair

Ils se grattent, pleurent, reniflent… En 2015, un Français sur deux pourrait souffrir d'une allergie au lait, au pollen, aux poils de chat ou aux piqûres de guêpe. Du dépistage au traitement, voici nos conseils pour limiter les réactions.

Voici le printemps… et le retour des allergies au pollen. Cette réaction de défense immunitaire anormale contre une substance pourtant inoffensive affecte plus de 25 % des Français. Tous types confondus, les allergies ont fortement progressé ces dernières décennies: un Français sur trois en souffre. C'est trois fois plus qu'il y a trente ans. Et en 2015, une personne sur deux pourrait être concernée. Une véritable épidémie… aux causes méconnues.

Les principales hypothèses impliquent notre mode de vie: hausse des températures et de l'humidité dans les maisons, pollution, alimentation, nouveaux médicaments… L'amélioration de l'hygiène est également invoquée: trop peu stimulée pendant l'enfance, l'immunité aurait ensuite des réactions exagérées en présence de certaines substances. *"Tous ces facteurs induiraient une inflammation de nos muqueuses et de notre peau qui provoquerait une rupture de la tolérance immunitaire vis-à-vis de la substance allergène"*, précise Jean-François Nicolas, dermatologue au Centre hospitalier Lyon-Sud.

BÉNIGNES OU SÉVÈRES

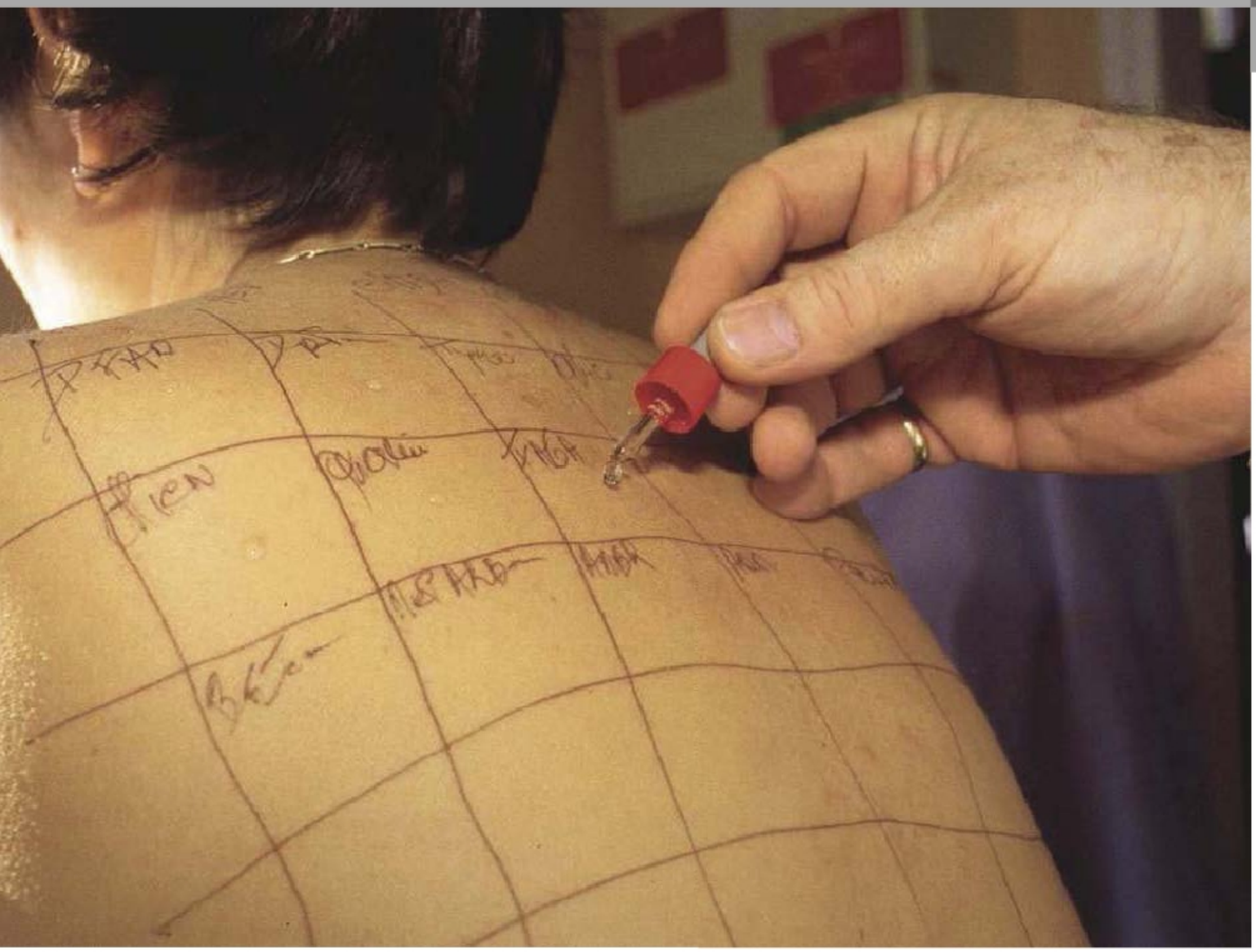
Si la majorité des allergies sont bénignes, leurs symptômes sont parfois très gênants, troublant le sommeil, la concentration… Reste que si les allergies progressent, les traitements aussi se multiplient: quatre nouveaux "antihistaminiques" destinés à réduire les symptômes allergiques ont été commercialisés en dix ans. Et, en 2011, est arrivé le premier comprimé de désensibilisation aux pollens de graminées. Certains de ces traitements sont efficaces. D'autres moins… Mais lesquels? Dépistage, traitements utiles ou à éviter, mesures simples pour atténuer les symptômes, etc. Les pages qui suivent vous donnent les clefs pour contrer au mieux les allergies.

La faute aux "allergènes"

L'allergie est une réaction de défense "inappropriée", dirigée contre une ou plusieurs substances de notre environnement normalement inoffensives: des "allergènes" ingérés (aliments, médicaments), respirés (pollens, moisissures) ou injectés (venins). Leur présence déclenche une série d'événements cellulaires et biochimiques, libérant des substances chimiques (histamine…) ou activant des cellules immunitaires spécifiques. Le système immunitaire prend par erreur ces substances pour des agents dangereux et s'attaque aux tissus en contact avec elles comme s'ils étaient infectés. L'allergie ne survient que dans un organisme qui a été "sensibilisé" à l'allergène lors d'une première exposition passée inaperçue. Elle peut être localisée (eczéma, rhinite) ou généralisée (choc anaphylactique).

Comment savoir

Souffrir de rhinite (inflammation de la muqueuse nasale) ou de démangeaisons n'est pas toujours signe d'allergie (50 % des rhinites ont une autre origine, souvent infectieuse). Pour être fixé, il faut vous faire dépister. *"A réaliser dès les premiers soupçons, le diagnostic est indispensable à la prise en charge des allergies"*, souligne Pascal Demoly,



si on en souffre ?

président de la Société française d'allergologie. Possible dès les premiers mois de la vie, ce dépistage est réalisé par un allergologue ou un spécialiste des tissus touchés. Il analyse vos symptômes, vos antécédents, votre environnement, ainsi que les résultats de tests cutanés. Leur principe : mettre la peau en contact avec différents allergènes afin d'identifier ceux auxquels vous êtes sensible. Ce que l'on appelle des *prick tests* consiste à introduire dans la peau, avec une lancette, une goutte contenant un allergène. Pour les tests intracutanés, une petite quantité d'allergène est injectée sous la peau avec une seringue (allergies au venin d'insectes). Les *patch tests* maintiennent, eux, la peau en simple contact avec des allergènes (nickel…).

Ces examens produisant parfois des "faux positifs" (ils déclarent allergique quelqu'un qui ne l'est pas), il faut alors recourir, pour confirmation, à des examens sanguins (pour déterminer par exemple si le sang contient des anticorps spécifiques de l'allergène) et/ou des tests dits "de provocation". Ces derniers visent à reproduire les symptômes du patient en le mettant en contact avec l'allergène suspecté. Ils sont menés à l'hôpital car ils peuvent provoquer un choc anaphylactique, une réaction d'allergie généralisée qui peut être fatale si elle n'est pas immédiatement prise en charge.

P.ALLARD/REA

Quels sont les symptômes ?

Ils diffèrent beaucoup en fonction des allergies et des personnes. Premièrement, parce que les allergies peuvent toucher divers tissus où elles se manifestent différemment (poumons, peau, muqueuses respiratoires…). Ainsi, une allergie au pollen induit-elle des œdèmes et des rougeurs au niveau des yeux, et une forte production de mucus, une toux, une respiration sifflante au niveau du nez et des poumons. Deuxièmement, selon que l'allergie est "immédiate" (allergies à différents pollens, aux acariens, aux poils de chat, choc anaphylactique…) ou "retardée", survenant de 48 h à 72 h après le contact avec l'allergène (allergies dites "de contact" au nickel, au latex…), le mécanisme mis en jeu n'est pas le même. Ainsi, dans l'allergie de contact à un produit chimique contenu dans une crème pour les mains, ce ne sont pas des anticorps spécifiques qui entrent en jeu (comme dans le cas du pollen), mais des globules blancs (lymphocytes) qui provoquent un eczéma.

Enfin, les symptômes et l'intensité de la réaction varient selon le patient ou la quantité d'allergène. Par exemple, un eczéma lié à une crème reste localisé, quand, en revanche, un choc anaphylactique ou une réaction très intense due à une piqûre de guêpe ou un aliment induisent des symptômes dans tout le corps : urticaire au niveau de la peau, troubles respiratoires, voire cardiaques…

Est-ce une maladie héréditaire ?

Les allergies dites "atopiques" (dermatite atopique, asthme, rhinite allergique, allergies alimentaires) ont une part génétique. Un enfant né de deux parents allergiques a 80 % de risque de souffrir d'allergies. Et ce risque tombe à 50 % si seul un des parents l'est. Mais l'allergie elle-même n'est pas héréditaire, c'est le risque d'en développer une (peut-être même différente) qui l'est : ainsi, l'enfant d'une mère allergique aux poils de chat pourra souffrir d'allergies alimentaires. Mais un enfant même génétiquement prédisposé peut ne pas être allergique. Reste que certaines allergies, souvent très sévères (venin, médicament), peuvent apparaître chez n'importe qui.

La désensibilisation est-elle

Appelée aussi "vaccinothérapie" ou "immunothérapie", cette technique vieille d'un siècle est le seul traitement des causes de l'allergie – et non de ses symptômes. Son principe : exposer, pendant 3 à 5 ans, l'organisme à une dose croissante d'allergène, en quantité suffisante pour éveiller ses défenses, mais trop faible pour déclencher une allergie. L'organisme s'habitue alors peu à peu, considérant de moins en moins l'allergène comme un ennemi contre lequel il doit réagir.

Elle soigne 90 % des allergies au venin

La désensibilisation par injection est efficace, mais elle présente des risques de réactions, rares mais parfois sévères, qui imposent une surveillance après l'injection. Depuis la fin des

Comment peut-on limiter ses réactions ?

Grâce à des mesures de bon sens, les seules qui s'avèrent d'ailleurs efficaces dans de nombreux cas (allergies alimentaires, médicamenteuses…). Ces mesures consistent tout simplement à éviter autant que possible, voire complètement, les allergènes auxquels vous savez être sensible. C'est ce que les médecins appellent "l'éviction". Simple, mais pas toujours facile.

Pour éviter :

- **Les pollens :** Gardez les fenêtres de la maison et de la voiture fermées pendant la saison des pollens (certaines sont même équipées de filtres antipollens) et évitez de sortir le matin et les jours de grand vent. On peut aussi consulter les bulletins du Réseau national de surveillance aérobiologique qui indiquent, par ville, le risque allergique lié aux pollens (http://www.pollens.fr/accueil.php).

- **Les acariens :** Aérez votre maison, surtout la chambre, tous les jours de 30 à 60 min ; lavez les draps à 60° une fois par semaine ; dépoussiérez souvent et adoptez une literie traitée antiacariens.

- **Les poils d'animaux :** Gardez les animaux à l'extérieur ou confinez-les dans une pièce ; lavez-les chaque semaine ; évitez les tapis…

- **Les aliments :** Evitez d'ingérer des allergènes et apprenez à les identifier sur les étiquettes…

FOTOLIA/BSIP

réellement efficace ?

années 1980, les médecins peuvent utiliser un autre mode d'administration, moins risqué : des gouttes ou des comprimés déposés sous la langue. Ce procédé représente 80 % des désensibilisations actuelles.

En 2016, devrait apparaître un troisième mode d'administration par l'intermédiaire de patchs posés sur la peau. Cette méthode est actuellement en cours de tests cliniques et vise à apporter une solution pour les allergies alimentaires.

Performante dans plus de 90 % des cas d'allergie au venin d'hyménoptères (guêpe, frelon…), et dans 70 % des allergies aux pollens, elle est souvent décevante pour les allergies aux animaux et aux moisissures. Et il n'en existe malheureusement aucune pour les allergies alimentaires.

Peut-on guérir d'une allergie spontanément ?

Oui, dans certains cas. Ainsi, la plupart des enfants qui souffrent d'allergie alimentaire au lait ou aux œufs guérissent-ils, pour une raison encore inconnue, définitivement entre 3 et 5 ans. Même chose pour les nourrissons souffrant d'eczéma atopique : 90 % s'en débarrassent en grandissant. Dans certains cas, si l'allergie ne disparaît pas, certains symptômes (asthme, rhinite) s'amoindrissent avec l'âge. Mais certaines de ces allergies transitoires, surtout alimentaires, pourront réapparaître.

En revanche, d'autres allergies perdurent ou empirent parfois comme celles dues aux médicaments, au venin d'hyménoptères, au latex ou à l'arachide.

Quels sont les médicaments qui calment vraiment…

Attention : aucun médicament ne soigne les allergies elles-mêmes. Leur seul pouvoir, quand ils en ont, est de réduire quelque peu les symptômes. Dès leur arrêt, les troubles reprennent…

● **Les antihistaminiques H1 de seconde génération.** Ils réduisent l'action de l'histamine sur les récepteurs cellulaires H1. Prescrits pour la rhinite, l'urticaire et la conjonctivite, ils provoquent moins de somnolence que les produits de première génération (antihistaminiques anticholinergiques). Selon la Haute Autorité de santé (HAS), leur service médical rendu (SMR) est "modéré". La cétirizine (Zyrtec, Virlix) et la loratadine (Clarityne) sont parmi les mieux tolérés.

● **Les corticoïdes**. Anti-inflammatoires, ils sont très efficaces contre les symptômes de l'asthme, sauf chez les fumeurs. A long terme et à forte dose, ils peuvent entraîner des modifications cutanées (acné, vergetures), une prise de poids, une ostéoporose, de l'hypertension artérielle… Pour le rhume des foins, l'efficacité des corticoïdes par voie nasale est supérieure à celle des antihistaminiques H1. Aucun corticoïde ne fait mieux que la béclométasone. En cas d'asthme persistant léger, les produits inhalés, comme la fluticasone, représentent le traitement de fond.

● **Les dermocorticoïdes.** Ces corticoïdes appliqués sur la peau ou les muqueuses traitent le plus efficacement l'eczéma atopique (d'origine génétique). Les effets indésirables locaux sont des retards de cicatrisation, troubles pigmentaires, eczémas, et sont rarement généraux (insuffisances surrénaliennes, hypertension, troubles oculaires). Ils augmentent avec la dose, la surface traitée et le temps. Chez les enfants, un dermocorticoïde d'activité faible est souvent suffisant. Il pourra être d'activité modérée pendant une courte période chez les grands enfants pour obtenir une rémission. Les dermocorticoïdes d'activité forte sont à éviter autant que possible chez les nourrissons.

● **Les antileucotriènes.** Ils s'opposent aux effets des leucotriènes, des médiateurs immunitaires libérés lors de la réaction allergique. Ils sont de plus en plus utilisés dans le traitement de l'asthme et de la rhinite. Du moins passé 5 ans. Ainsi, selon la HAS, le montélukast (Singulair) ne présente pas d'avantage clinique démontré pour les enfants asthmatiques de 2 à 5 ans, et n'a aucun intérêt clinique chez le nourrisson. En cas d'asthme persistant léger, le montélukast est

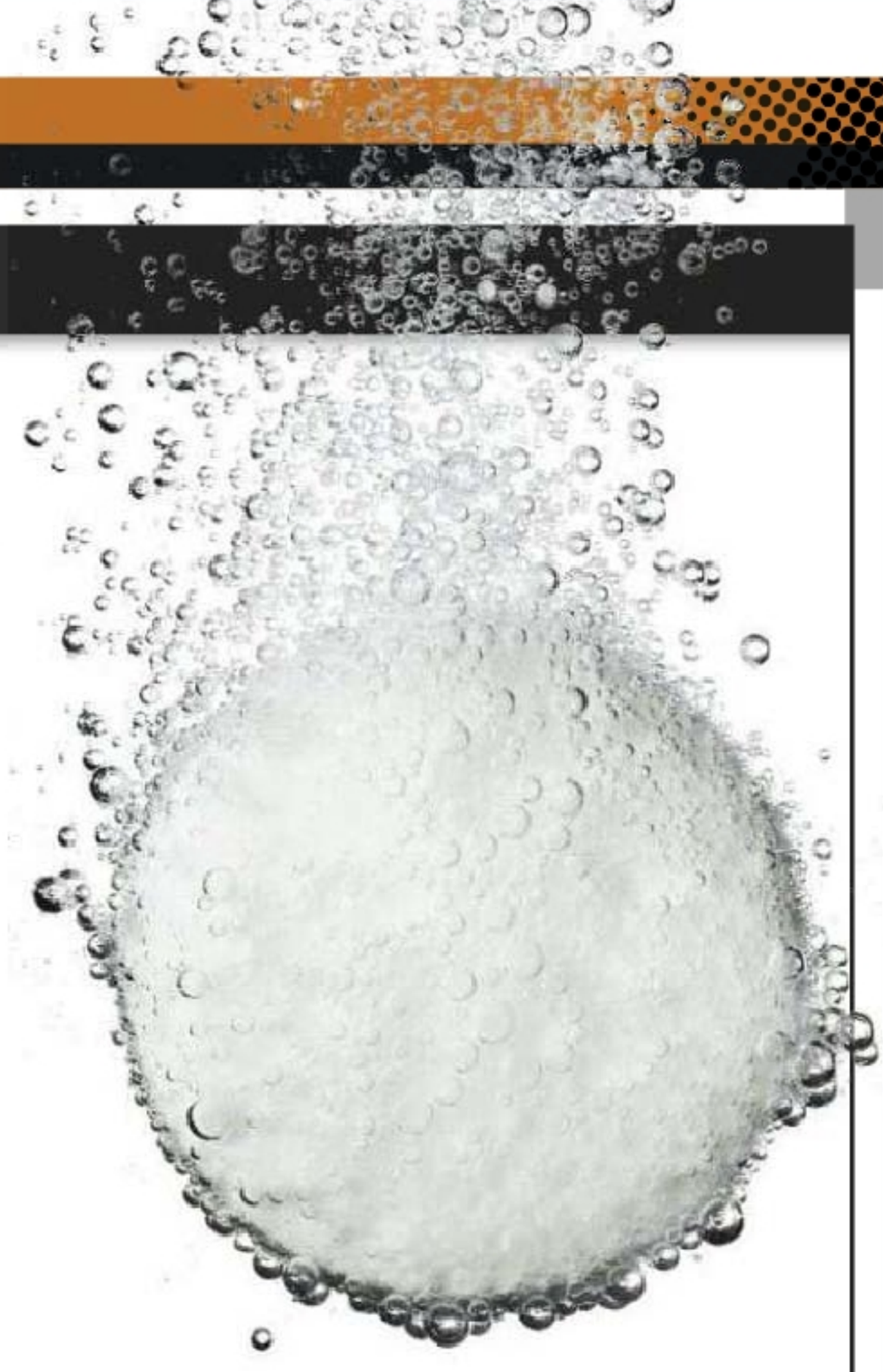
… et ceux qui ont peu ou pas d'effet du tout ?

La Haute Autorité de santé (HAS), chargée d'évaluer le "service médical rendu" (SMR) d'un médicament, a pour nombre d'entre eux qualifié celui-ci de "faible" (SMRF), voire de carrément "insuffisant" (SMRI). Ces médicaments sont donc dépourvus de véritable intérêt thérapeutique. Parmi eux figurent:

également moins efficace que les corticoïdes inhalés.

- **Les stabilisateurs de mastocytes.** Ils agissent en inhibant la libération de substances par certaines cellules inflammatoires (mastocytes) qui provoquent les symptômes de l'asthme ou le bronchospasme. Ils sont efficaces pour les rhinites allergiques, l'asthme et les conjonctivites allergiques. Le cromoglicate de sodium (Lomusol ou autres), en solution nasale ou en collyre unidose, est le traitement de choix pour le rhume des foins… même si son SMR est jugé "faible". En général, ces traitements sont moins efficaces que les antihistaminiques ou les corticoïdes nasaux, mais ils sont prescrits aux enfants ou pendant la grossesse car leurs effets secondaires sont moindres.

- **Les antiasthmatiques.** Il s'agit des bronchodilatateurs; des anticholinergiques; des anti-IGE; des mucolytiques, prescrits en cas d'hypersécrétion de mucus bronchique. C'est aussi le seul traitement en cas de choc anaphylactique, par injection sous-cutanée, intramusculaire ou intraveineuse. Ils diminuent le bronchospasme (contraction brusque des muscles de la trachée), traitent l'hypotension et diminuent la libération d'histamine et des autres médiateurs immunitaires.



- **Des antihistaminiques H1 de première génération.** Même s'ils sont de moins en moins utilisés, ils apparaissent dans de nombreux médicaments contre le rhume et la rhinite (Actifed états grippaux, Adviltab rhume) mais doivent être évités car ces maladies sont bénignes, tandis que ces médicaments exposent à des effets indésirables graves, voire mortels (troubles du rythme cardiaque, hypertension artérielle, convulsions…). Mieux vaut aussi se passer de la méquitazine (Primalan en comprimés et sirop) qui, depuis juillet 2011, n'est plus disponible que sur prescription médicale du fait de risques de troubles cardiaques.

- **Un bronchodilatateur.** L'ipratropium (Atrovent) est jugé d'intérêt faible.

- **Un immunosuppresseur.** Tacrolimus (Protopic), utilisé pour la dermatite atopique, rend un service médical insuffisant.

- **Certains décongestionnants.** Utilisés pour le rhume, ils aident à réduire l'augmentation du volume des voies nasales, ce qui soulage la sensation de pression et améliore la circulation de l'air par le nez. Mais comme le confirme une enquête réalisée par le Centre régional de pharmacovigilance de Toulouse, les spécialités orales contenant de l'éphédrine, de la pseudoéphédrine ou de la phényléphrine, et celles à usage nasal contenant de la naphazoline, de l'oxymétazoline, de la tymazoline, de l'éphédrine, de la phényléphrine ou du tuaminoheptane peuvent provoquer des hypertensions artérielles et des tachycardies.

Pour en savoir plus sur n'importe quel médicament, vous pouvez toujours consulter l'avis de la Commission de la transparence de la HAS en inscrivant le nom du produit dans le moteur de recherche de la page: http://www.has-sante.fr. Quant à l'homéopathie et aux traitements non médicamenteux, de type acuponcture ou thermalisme, ils n'ont toujours pas fait la preuve de leur efficacité selon des critères rigoureux.

FOTOLIA

QUESTIONS RÉPONSES

^ > L'étude des effets du baclofène contre l'alcoolo-dépendance porte encore sur trop peu de personnes. Toute utilisation hors autorisation de mise sur le marché reste déconseillée par l'Afssaps.

Prendre du baclofène soigne-t-il vraiment l'alcoolisme ?

Question de P. Lebreton, Fontenay-Le-Fleury (78)

En 2008, le cardiologue franco-américain Olivier Ameisen annonçait dans son best-seller *Le Dernier Verre* avoir soigné sa propre dépendance à l'alcool en s'auto-administrant de fortes doses de baclofène, un médicament conçu à l'origine pour soulager les contractures musculaires. Depuis, son expérience a fait débat, opposant les convaincus aux sceptiques et aux prudents. Parmi ces derniers, on compte l'Agence française de sécurité sanitaire des produits de santé (Afssaps). Elle a, au mois de juin dernier, mis en garde contre l'utilisation de cette molécule dans le traitement de l'alcoolisme, rappelant que *"le bénéfice du baclofène dans l'alcoolo-dépendance n'est pas démontré à ce jour, et les données de sécurité d'emploi dans cette indication, où les doses utilisées sont le plus souvent supérieures à celles évaluées et autorisées, sont limitées"*. Il faut dire que prescrire un médicament en dehors des indications pour lesquelles sa mise sur le marché a été autorisée, autrement dit "hors AMM", peut parfois avoir des conséquences dramatiques. L'affaire du Mediator est là pour le rappeler… Sans compter que, à fortes doses, les effets secondaires du baclofène sont nombreux. Somnolence, vertiges, nausées et abaissement du seuil épileptique auraient poussé nombre de patients auxquels leurs médecins avaient, en dépit des recommandations de l'Afssaps, prescrit du baclofène, à en arrêter la prise.

D'INDISPENSABLES ÉTUDES À GRANDE ÉCHELLE

Reste que, malgré tout, au fil des années, se sont accumulés des arguments de plus en plus forts en faveur de l'utilisation de cette molécule contre l'alcoolo-dépendance. *"Dès les années 1980, des études menées chez l'animal ont montré une certaine efficacité de cette molécule contre la dépendance à l'alcool. Puis, suite à la publication d'Ameisen, des études cliniques réalisées sur de petits effectifs ont aussi produit des résultats intéressants"*, explique Michel Detilleux, alcoologue à l'hôpital Cochin, à Paris. Des résultats intéressants, certes, mais sur un nombre très faible de patients, d'où le scepticisme de certains et, surtout, la nécessité de mettre en place des études à plus grande échelle.

En France, deux études cliniques vont ainsi démarrer dans les prochains mois. En septembre, celle coordonnée par Michel Detilleux devrait tester l'efficacité d'une nouvelle forme pharmaceutique délivrée à dose fixe (180 mg/jour) sur plus de 300 patients. Elle sera précédée par celle de l'équipe de Philippe Jaury qui, après avoir été repoussée plusieurs fois, devrait débuter au mois de mai. *"Nous allons tester la molécule en augmentant progressivement les doses jusqu'à* →

P.TOURNEBOEUF/TENDANCE FLOUE - GARO/PHANIE

Quel processus déclenche la sensation de faim ?

Question de Michel Castejon, Etiolles (91)

La faim se déclenche de plusieurs façons. L'explication communément admise est celle d'une baisse du taux de glucose (sucre) à l'intérieur de la veine porte, celle qui transporte le sang depuis les intestins jusqu'au foie. Une diminution de 5 % va activer des nerfs reliés à l'hypothalamus, cette partie du cerveau qui intervient dans le contrôle de la faim. Celui-ci va libérer des neuromédiateurs spécifiques (peptide Y, hypocrétine, endocannabinoïdes) qui déclencheront la recherche de nourriture.

Autre piste invoquée, celle des hormones. La ghréline, qui est émise par l'estomac, agit aussi sur l'hypothalamus en passant par le sang. Mais *"les mécanismes par lesquels elle est sécrétée restent encore flous"*, précise Gilles Mithieux, directeur de l'unité Nutrition et cerveau à l'Inserm. Un troisième processus met en jeu la diminution du taux de lipides dans les tissus adipeux, où se situent nos principales réserves de graisse et donc d'énergie. C'est la baisse dans le sang du taux d'une hormone baptisée leptine qui en informe le cerveau.

Parallèlement à ces mécanismes physiologiques, il suffit parfois d'un simple coup d'œil en direction de l'horloge pour faire naître l'appétit. *"L'influence du rythme biologique est très importante. Si on a pris l'habitude de manger vers midi, la ghréline sera sécrétée vers 11 h 45, même si le taux de glucose reste élevé"*, explique Gilles Mithieux. Quant aux stimulations extérieures, le fumet d'une viande grillée suffit à nous donner faim : *"Odeur, goût, vue : tout cela active des circuits de l'hypothalamus et des centres comme le cortex et l'hippocampe où sont mémorisées les connaissances nutritionnelles*, affirme Bernard Beck, neurophysiologiste à l'Inserm. *Leurs effets varient selon la sensibilité de chacun."*

LA FAIM EST L'ÉTAT NORMAL

Au cours du repas, d'autres mécanismes entrent en jeu. Le gonflement de l'estomac est interprété par le cerveau comme un signe que les besoins en nourriture sont satisfaits avant que d'autres hormones, comme la cholecystokinine (CCK) ou le

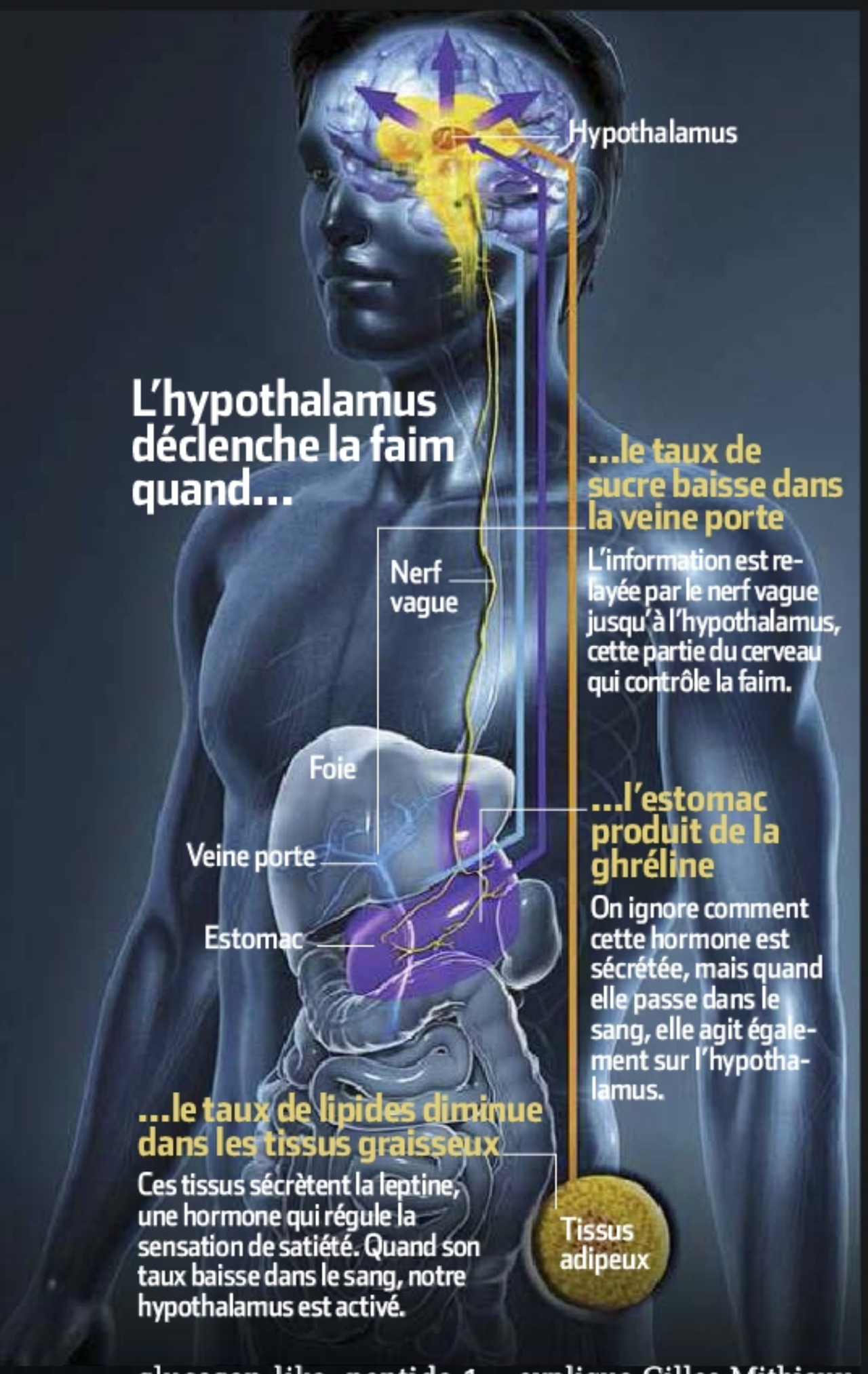
→ *300 mg/jour si nécessaire. Nous espérons atteindre 50 % d'efficacité, contre 20 % pour le placebo et 25 % pour les autres molécules déjà existantes"*, explique-t-il.

DES RÉSULTATS TRÈS DISPARATES

En Allemagne, une étude clinique est, quant à elle, déjà en cours. *"Mais elle utilise une dose de 90 mg/jour alors que les études préliminaires semblent indiquer qu'une dose moyenne de 130 mg/jour est nécessaire pour espérer un effet bénéfique chez un nombre significatif de patients"*, note Philippe Jaury. En fait, et c'est là l'une des particularités du baclofène, son efficacité varie fortement d'un patient à l'autre, certains obtenant de bons résultats dès 30 mg, quand d'autres exigent près de 300 mg/jour. *"Le baclofène stimule les récepteurs GABA-B présents à la surface des neurones à dopamine, un neuromédiateur associé au plaisir et à la récompense, et dont la libération augmente après la consommation d'alcool. Le fait de stimuler ces récepteurs semble diminuer la libération de dopamine et donc le plaisir associé à la consommation d'alcool"*, explique Jean-Pol Tassin, directeur de recherche à l'Inserm et spécialiste de la physiopathologie de la dépendance. Or, poursuit-il, *"d'une personne à l'autre, les récepteurs GABA-B ne sont pas identiques, de quoi probablement expliquer cette variabilité de la réponse"*. Mais, surtout, prévient le chercheur, *"le baclofène ne soigne pas l'addiction en tant que telle. Son action serait seulement d'atténuer de façon peut-être plus efficace et plus rapide que d'autres médicaments l'envie irrépressible de boire, ce que l'on appelle le 'craving'"*. Quant aux causes qui ont poussé les patients vers l'alcoolo-dépendance, elles sont souvent profondes, d'où la nécessité de mettre en place, outre les solutions médicamenteuses, un accompagnement psychothérapeutique. **C.H.**

D'AUTRES MOLÉCULES PROMETTEUSES À L'ESSAI

Trois médicaments sont autorisés en France pour le traitement de la dépendance à l'alcool : l'acamprosate (Aotal), la naltrexone (Revia) et le disulfirame (Espéral). Mais d'autres molécules pourraient les rejoindre si les essais cliniques en cours se révèlent concluants. C'est ainsi le cas du nalméfène, un antagoniste des opiacés ; de l'ondansetron, un antagoniste des récepteurs de la sérotonine actuellement utilisé pour limiter les vomissements chez les patients en chimiothérapie ; ou encore de certains antiépileptiques. Enfin, le GHB, un médicament contre la narcolepsie, a montré une certaine efficacité pour prévenir les rechutes. Sa commercialisation sous une nouvelle forme galénique pourrait limiter le détournement de cette molécule plus connue sous le nom de "drogue du viol"...



glucagon-like peptide-1 (GLP-1) ne confirment l'information, donnant l'impression d'être rassasié. Après un repas riche en protéines, l'intestin grêle produit du glucose, ce qui déclenche la sécrétion d'insuline destinée à faire baisser le taux de glucose. Résultat : un sentiment de satiété. La faim est calmée pour un moment.

Un autre système "coupe faim" est également mis en œuvre *via* la leptine. *"Elle agit sur les mêmes neurones que la ghréline, mais elle les inhibe au lieu de les activer,* explique Gilles Mithieux. *Sa sécrétion varie selon les métabolismes. Ainsi, les personnes souffrant d'obésité y sont-elles insensibles, ce qui explique pourquoi elles ont souvent faim."*

En résumé, manger éteint la faim, qui revient progressivement avec la baisse des signaux "coupe-faim". Aussi peut-on en conclure avec Daniel Tomé, spécialiste du comportement alimentaire à AgroParisTech, que *"la faim est l'état normal"*. Les gourmands en savent quelque chose. **G.S.**

Qu'appelle-t-on une température ressentie ?

Question de Serge Crotte, Saint-Cyr-en-Val (45)

Lors de la vague de froid de février, l'expression "température ressentie" a souvent été entendue. Mais ce n'est pas à proprement parler une température. *"Il vaudrait mieux parler d'indice"*, selon Etienne Kapikian, ingénieur à Météo-France. Sous ce terme se cache en effet une équation complexe obtenue en calibrant des modèles d'échanges thermiques avec des données expérimentales acquises auprès de volontaires. Elle modélise ce que ressentirait un individu moyen exposé à la température mesurée en tenant compte de la vitesse du vent et de l'humidité. Car nous l'avons tous éprouvé, un vent fort accentue la sensation de froid. En cause : les échanges de chaleur entre notre corps et l'air. Quand la température extérieure est inférieure à la nôtre, la chaleur s'échappe de notre corps ; la couche d'air située à la surface de la peau est donc plus chaude que l'air ambiant. Et le vent, en balayant cette couche d'air, accélère les déperditions d'énergie. La température ressentie, appelée aussi "indice de refroidissement éolien", rend compte de cette perception.

L'ÉTÉ AUSSI…

Ainsi, une température de –10 °C avec un vent de 30 km/h donne un indice de –20 : l'impression de froid en plein vent étant la même que celle ressentie à l'abri par –20 °C. L'été, la température ressentie est donnée par l'indice humidex. Un air très humide renforce la sensation de chaleur en rendant moins efficace l'évaporation de la sueur, et donc la régulation de la température corporelle. Si le ressenti varie selon les individus, il reste un outil pédagogique et un indicateur utile pour activer la vigilance "grand froid". Mais attention : de cet hiver, on retiendra peut-être que le mercure est descendu sous les –20 °C en France, en oubliant que c'était une "température ressentie". **V.E.**

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
8, rue François-Ory, 92543 MONTROUGE CEDEX.

M.SEAMANN

Comment peut-on connaître l'âge d'un escargot ?

Question de Hugo Charrier, Paris 2e

Il est impossible de déterminer l'âge d'un escargot à l'œil nu : sa coquille ne présente pas de stries annuelles de croissance, ces bandes plus ou moins claires qui témoignent du nombre d'hivers que l'animal a vécus. La seule chose que l'on peut savoir c'est s'il est jeune ou adulte, les adultes présentant un "rebord" au niveau de l'ouverture de la coquille.

Pour connaître l'âge précis d'un escargot, les biologistes ont le choix entre deux techniques de laboratoire. La première consiste à utiliser des "courbes de croissance" qui donnent l'âge des individus d'une espèce en fonction de sa taille : en mesurant le mollusque on a ainsi une idée de son âge… minimum. Car il suffit que sa croissance ait été ralentie pour que l'estimation soit fausse ! La seconde méthode est plus précise, mais plus lourde et plus coûteuse. Elle consiste à mesurer les proportions de deux formes de l'atome d'oxygène, les isotopes ^{16}O et ^{18}O. Ces valeurs variant avec la température extérieure, on peut en conclure le nombre d'hivers vécus par l'escargot, et donc son âge exact. **K.B.**

Notre apparence physique est-elle inscrite dans l'ADN ?

Question de Luca Olmastroni, Rome (Italie)

"Après analyse des prélèvements ADN, nous recherchons un homme de 1 m 85, teint clair, yeux verts, cheveux bruns." Un rêve de policier : établir un portrait-robot sur la base de simples traces ADN ! Un rêve qui n'est pas si loin de se réaliser, du moins pour la couleur des yeux ou celle des cheveux. Car oui, ce qui conditionne notre apparence est bien inscrit dans notre patrimoine génétique. Ce dont témoignent de façon frappante les vrais jumeaux : deux individus possédant exactement le même ADN développent les mêmes traits physiques. Un constat simple pour une problématique des plus complexe, car nos caractéristiques physiques résultent le plus souvent de l'interaction d'une multitude de gènes, certains traits pouvant d'ailleurs varier à l'infini. Identifier les gènes responsables de chaque caractéristique se révèle donc très difficile.

DES TESTS PRÉDISENT DÉJÀ LA COULEUR DE L'IRIS

Les déterminants de la pigmentation sont les plus étudiés car celle-ci définit des traits évidents : couleur des yeux, des cheveux, de la peau. Ainsi, on sait que le gène MC1R gouverne le type de mélanine (un pigment moléculaire) que nous produisons (brun/noir ou jaune/rouge). Il compte au moins 30 variants. Mais son analyse permet uniquement de déterminer si une personne a les cheveux roux et une peau très claire, ou pas. Les autres couleurs de cheveux et carnations résultent de combinaisons plus complexes avec d'autres gènes sur lesquels les chercheurs travaillent encore. Autre exemple : la taille. Elle dépend à 80 % de facteurs génétiques. Seulement voilà, elle est associée à quelque 180 gènes qui n'expliquent pour le moment que…

10 % des variations de cette caractéristique. Quant à la couleur des yeux, influencée en grande partie par les gènes OCA2 et HERC2, c'est le trait qu'on appréhende le mieux. En 2011, l'IrisPlex System, un test ADN permettant de déduire avec 90 % de chances si un iris est brun ou bleu, a été homologué pour la police. Et un test de prédiction de la couleur des cheveux devrait bientôt suivre.

Si aucun criminel n'a été identifié *via* ce type d'analyse, un test génétique de prédiction de l'ascendance ethnique a permis d'orienter les recherches vers un tueur en série afro-américain (Derrick Todd Lee, inculpé en 2004) qu'un témoin décrivait pourtant de type caucasien. **A.R.**

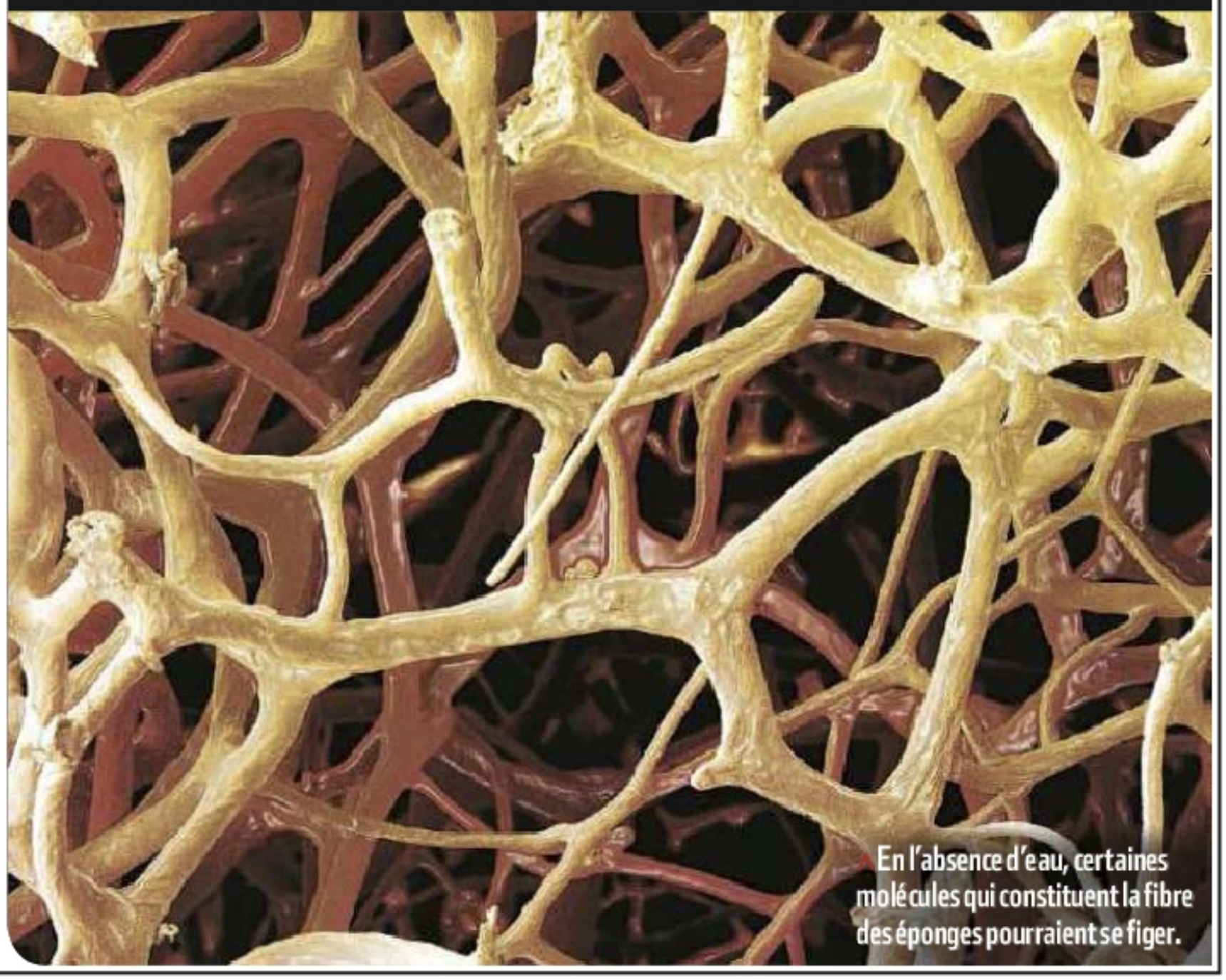
Pourquoi une éponge durcit-elle en séchant ?

Question de Philippe Baudet, Collemiers (89)

Parce que ses propriétés physico-chimiques changent selon qu'elle renferme beaucoup d'eau ou pas. Certes, mais encore ? Il existe deux hypothèses. *"Le changement de la consistance des éponges peut être dû à une modification du comportement des molécules constituant leurs fibres, selon que ces molécules sont hydratées ou non : il s'agit de la cellulose pour les éponges végétales, des élastomères pour les synthétiques, de la spongine pour les éponges animales*, avance Yoël Forterre, physicien des fluides complexes à Marseille. *En l'absence d'eau, ces molécules seraient 'figées', ce qui explique qu'à notre échelle, l'éponge sèche paraisse dure. Mais une fois entourées de beaucoup d'eau, ces molécules 'bougeraient' plus facilement, ce qui rendrait l'éponge molle au toucher."*

Ce comportement peut être observé dans de nombreux matériaux constitués de polymère et d'eau ("hydrogel"), comme les tissus des végétaux qui deviennent durs et cassants en séchant, ou les lentilles de contact souples, qui durcissent quand on les laisse à l'air libre.

Seconde hypothèse : *"La rigidité des éponges sèches pourrait être liée à la constitution de 'ponts capillaires', des structures formées par la petite quantité d'eau piégée dans les micropores à l'intérieur de l'éponge. Lorsque l'éponge sèche, l'eau s'évapore en laissant des substances chimiques, comme le sel, qui se cristallisent en lieu et place des ponts capillaires, créant de véritables soudures entre les fibres."* Ce type de cohésion solide se rencontre dans les bétons qui sèchent ou dans le sel de cuisine humide qui, une fois sec, peut former une croûte rigide en surface. **K.B.**



En l'absence d'eau, certaines molécules qui constituent la fibre des éponges pourraient se figer.

C.VIDAL/BIOS - SPL/COSMOS

L'ultraportable à transistors 3D

Formidable accélérateur de performances, la miniaturisation des composants des ordinateurs commençait à marquer le pas. Mais aujourd'hui, Intel relance la course en modifiant la forme des transistors. Ils sont désormais en relief, et cela change tout !

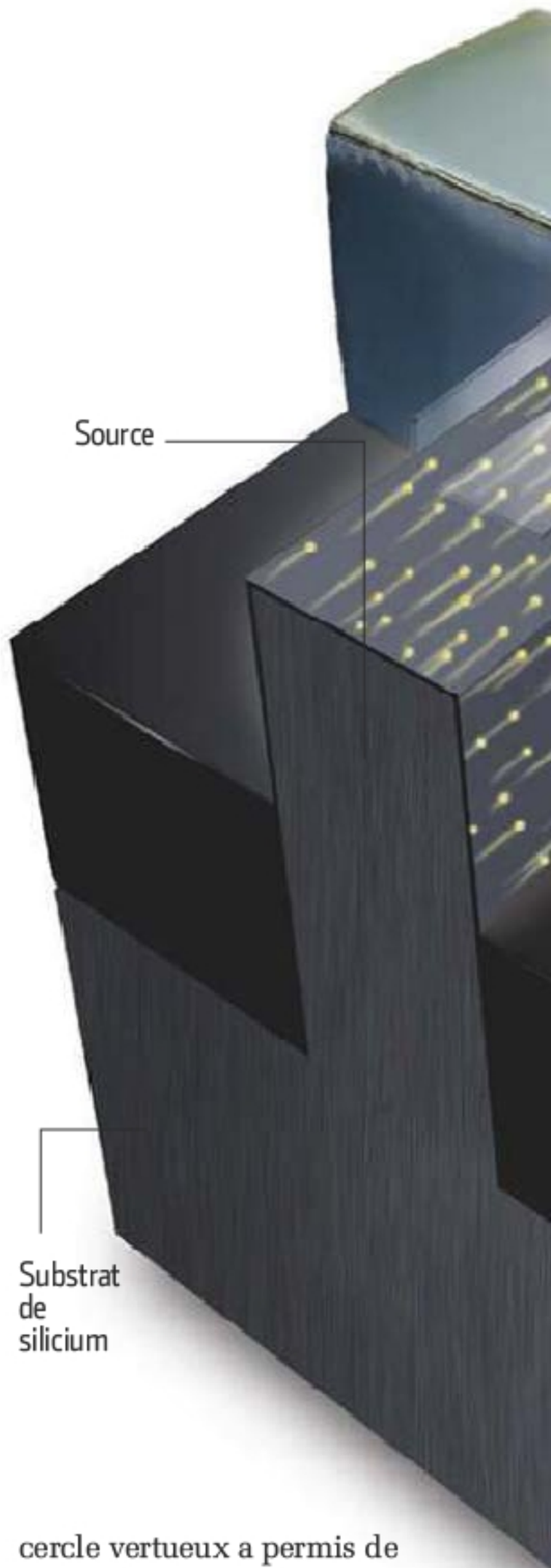
Imaginez la puissance d'un PC de bureau intégrée dans un portable ultrafin et ultraléger. C'est l'exploit réalisé par l'Aspire S5, du fabricant taïwanais Acer qui possède un clavier pleine taille et un écran de 13,3 pouces (34 cm) pour un poids de 1,3 kg et seulement 15 mm d'épaisseur ! Le secret de cette taille de guêpe qui ne concède rien à la polyvalence de la machine ? Ne cherchez pas, il n'est pas visible à l'œil nu. Il se situe à l'échelle nanométrique : c'est un changement radical de la forme des transistors qui composent son processeur central ! Depuis leur invention en 1947, ces minuscules interrupteurs, qui permettent de construire des circuits logiques capables d'effectuer des calculs, étaient en effet planaires, c'est-à-dire que le canal véhiculant les électrons au sein d'un transistor était assimilable à une fine planche de bois posée à plat sur du silicium, le matériau de base des puces.

TROIS SURFACES DE CONTACT AU LIEU D'UNE

Dans les nouveaux transistors intégrés à ce portable, ce canal prend de la hauteur. Il ressemble désormais schématiquement à un petit immeuble sur les murs duquel circulent les électrons (voir infographie ci-contre). C'est une "*approche révolutionnaire*", annonce Mark Bohr, responsable de l'industrialisation des procédés de fabrication chez Intel, la célèbre entreprise spécialiste des microprocesseurs qui conçoit aujourd'hui ces transistors dits "Tri-gate" ("triple grille" en français, c'est-à-dire grille à trois surfaces de contact).

Mais, pourquoi cet enthousiasme ? Parce que les "Tri-gate" sont la seule solution qu'ait trouvée le géant américain (dont les processeurs équipent 80 % des ordinateurs dans le monde) pour augmenter les performances de ses puces sans faire exploser leur volume. La seule solution pour pouvoir continuer à suivre la "loi de Moore" ! L'évolution des puces électroniques suit en effet une loi empirique énoncée pour la première fois en 1965 par Gordon Moore, cofondateur d'Intel. Reformulée en 1975, elle stipule que le nombre de transistors gravés par centimètre carré sur un processeur double tous les deux ans (voir p. 141), ce qui se traduit par un gain de puissance à peu près proportionnel. En effet, plus petits, les transistors sont aussi plus près les uns des autres. Les trajets des électrons sont donc raccourcis, ce qui permet de gagner en vitesse de traitement tout en nécessitant moins d'énergie. Pendant quatre décennies, ce cercle vertueux a permis de concevoir des machines toujours plus petites, plus rapides et moins chères. Le processeur d'un iPhone exécute ainsi cent fois plus d'instructions par seconde qu'un volumineux PC de 1990.

Pour l'industrie, la loi de Moore est devenue une ligne de conduite et tous →



3 DATES CLÉS

1947

Trois chercheurs des Bell Labs inventent le transistor, qui surclasse le tube électronique dans tous les domaines (vitesse, encombrement...).

1971

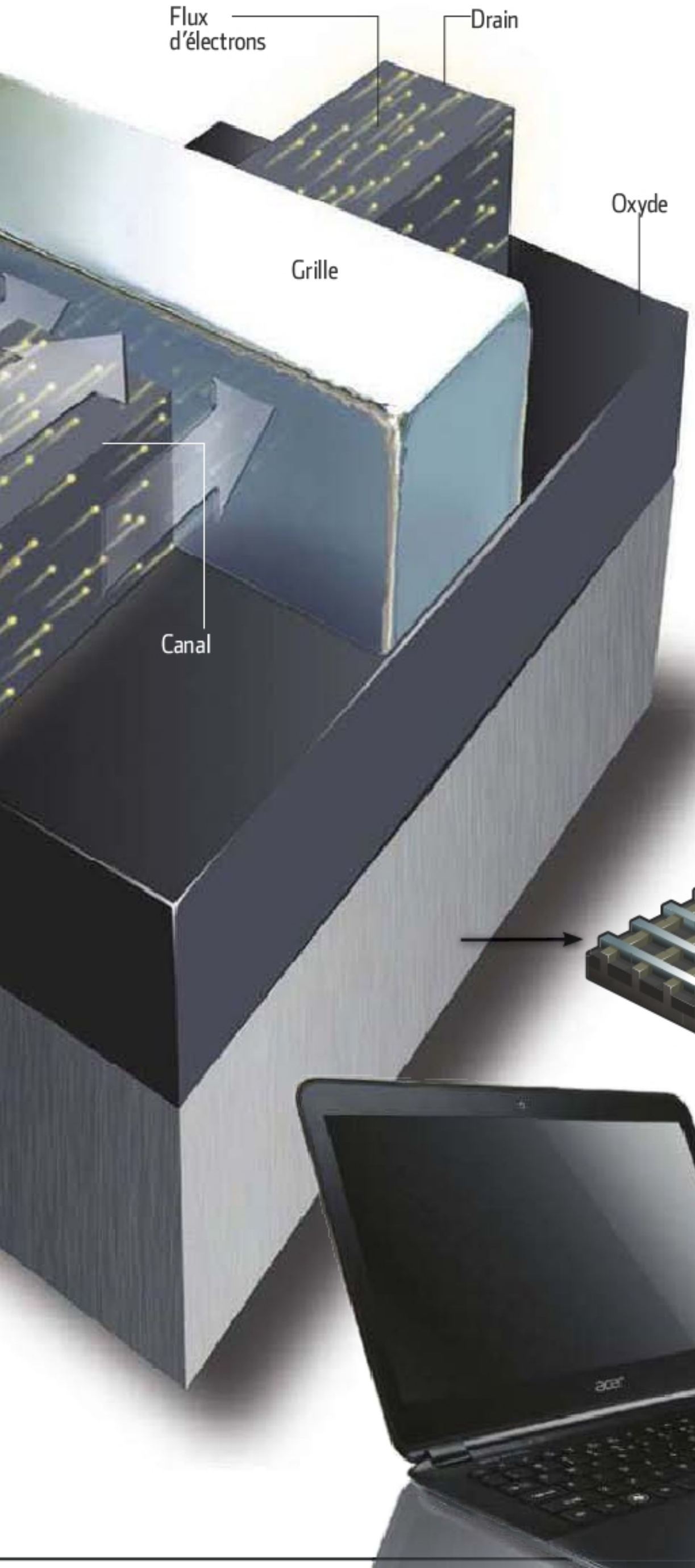
Le premier microprocesseur est commercialisé par Intel. Il regroupe sur une même surface des transistors qui exécutent les instructions et traitent les données.

2002

Intel conçoit le premier prototype de transistor Tri-gate d'après les travaux menés dès 1999 par Chenming Hu, chercheur à Berkeley, en Californie.

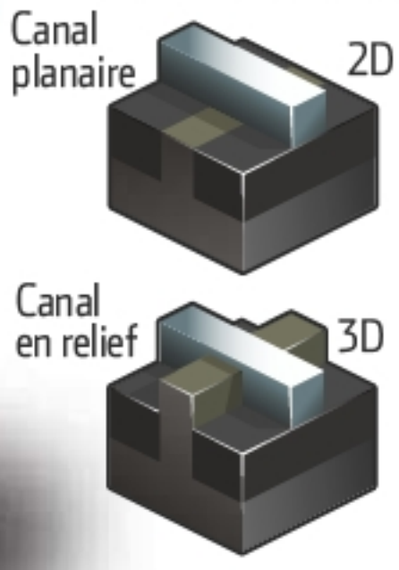
Comment ça marche ?

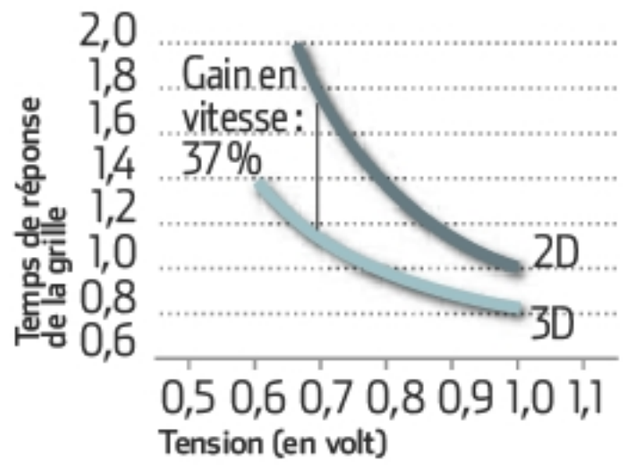
Le transistor est l'élément de base des circuits logiques qui constituent la puissance de calcul des ordinateurs. C'est un minuscule interrupteur, allumé ou éteint selon que sa grille est activée (mode "on") ou non (mode "off"). Jusqu'à présent, il était dit "planaire" car le canal véhiculant les électrons était une fine couche posée à plat sur du silicium. C'est ici que porte l'innovation : le canal du transistor 3D est désormais en relief, il possède trois faces.



1) Un transistor qui prend de la hauteur...

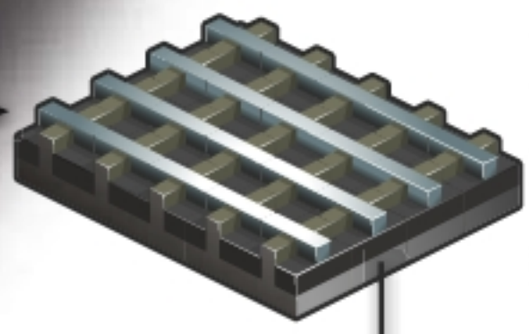
La progressive miniaturisation des transistors 2D a fini par entraîner des fuites de courant au niveau de la grille en mode "off" et une faible circulation électrique en mode "on". Dans le transistor 3D, les électrons empruntent le canal composé des trois faces conductrices. En mode "fermé", les fuites sont réduites car la grille enserre mieux le canal ; et en mode "ouvert", le débit des électrons augmente.





2) ... pour doper les performances...

Le temps de réponse de la grille s'améliore, il est réduit de 37 % à basse tension. A consommation électrique égale, le transistor réagit plus rapidement. A l'inverse, à vitesse de réaction équivalente, la consommation énergétique est réduite de 50 %.



3) ... en tenant sur une puce plus petite

Une puce 2D gravée à 32 nm accueille 1,16 milliard de transistors sur 216 mm², tandis que le processeur 3D d'Intel, gravé à 22 nm, reçoit 1,4 milliard de transistors sur 160 mm². Et le fabricant espère passer à 4 milliards de transistors dès l'année prochaine.

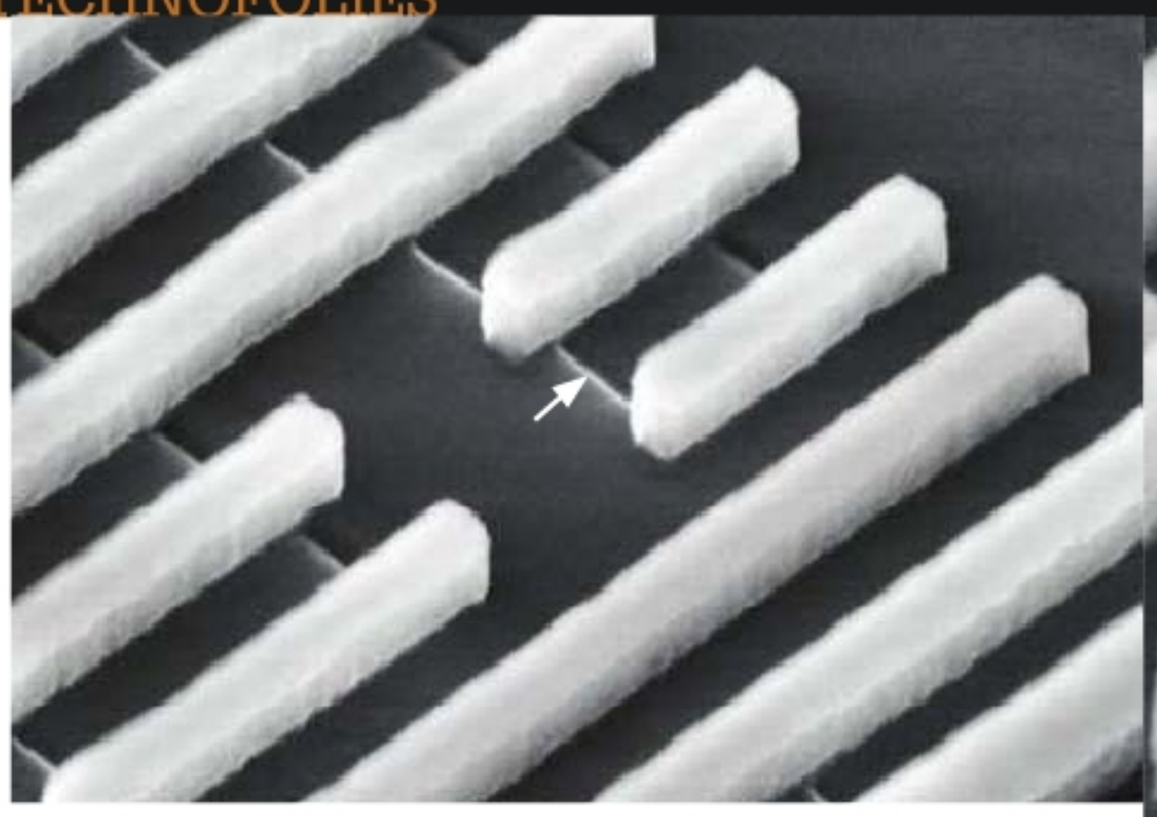
L'ASPIRE S5

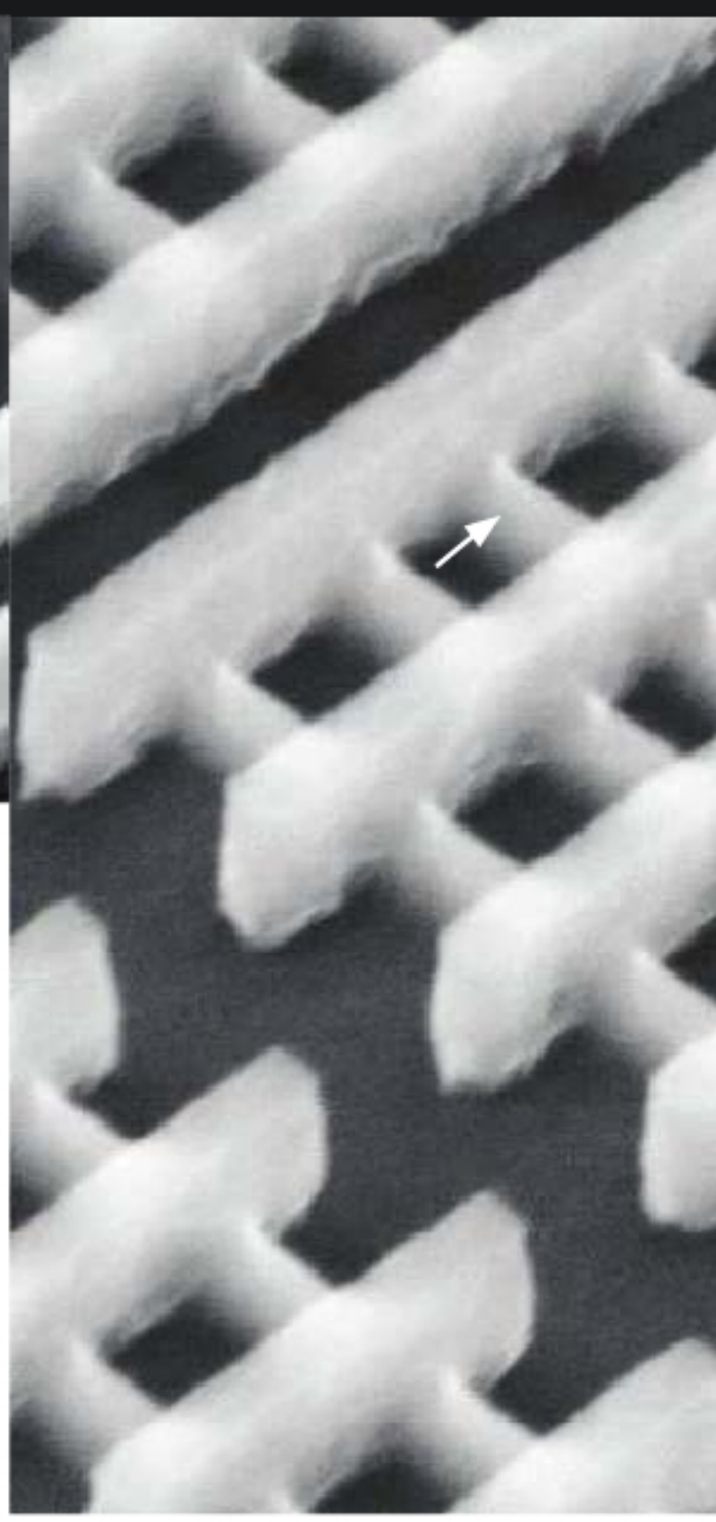
- ✔ **Processeur :** Intel Core de troisième génération
- ✔ **Système d'exploitation :** Windows 7 (8 en fin d'année).
- ✔ **Disque dur :** SSD, à partir de 128 Go
- ✔ **Ecran :** 13,3 pouces (34 cm)
- ✔ **Poids :** 1,35 kg
- ✔ **Autonomie :** annoncée entre 5 et 8 heures, selon les usages

M.KONTENTE - ACER

→ les fabricants de semi-conducteurs ont investi massivement pour rester dans la course. Oui, mais voilà. Depuis 2010, la miniaturisation ne suffit plus à augmenter automatiquement les performances des transistors et donc des ordinateurs. La finesse de gravure des processeurs a atteint 32 nanomètres, soit deux millièmes du diamètre d'un cheveu.

Or, à cette échelle, la grille du transistor, la couche de matériau disposée sur le canal afin de bloquer le courant en mode "off", est si petite qu'elle perd de son efficacité. Avec la miniaturisation, le champ électrique vertical (perpendiculaire au canal) engendré par la grille quand elle est activée n'est plus assez puissant pour empêcher les électrons qui circulent dans le canal de s'échapper dans la profondeur du substrat en silicium sur lequel repose le transistor. Ces fuites de courant se traduisent par une perte d'énergie d'autant plus importante que les fabricants sont obligés d'augmenter la tension des transistors afin de pouvoir continuer à discerner nettement l'état "off" et l'état "on" du transistor. De fait, la consommation électrique des puces grimpe en flèche, ce qui limite l'autonomie de la machine, sans parler des problèmes de surchauffe.

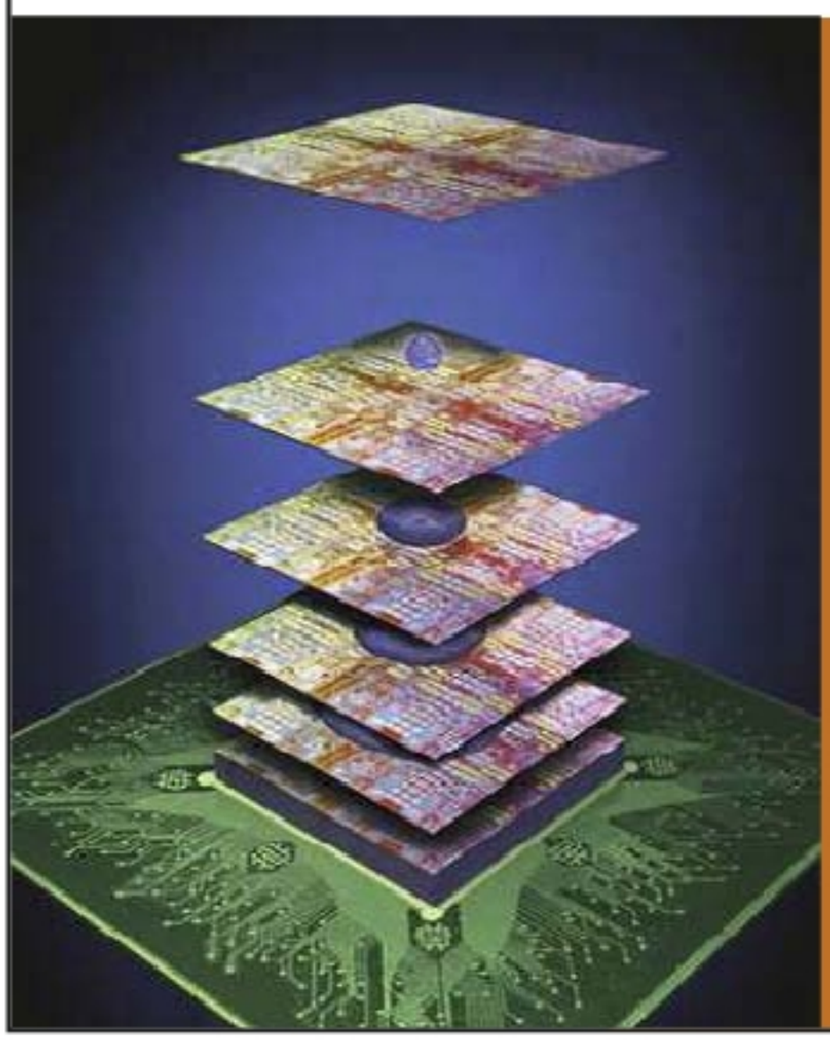




^ Sur un transistor 2D (ci-dessus), le canal est planaire (flèche), tandis que sur un 3D (ci-contre), il comporte trois faces : le flux d'électrons est donc plus important.

PAS DE FUITE D'ÉLECTRONS

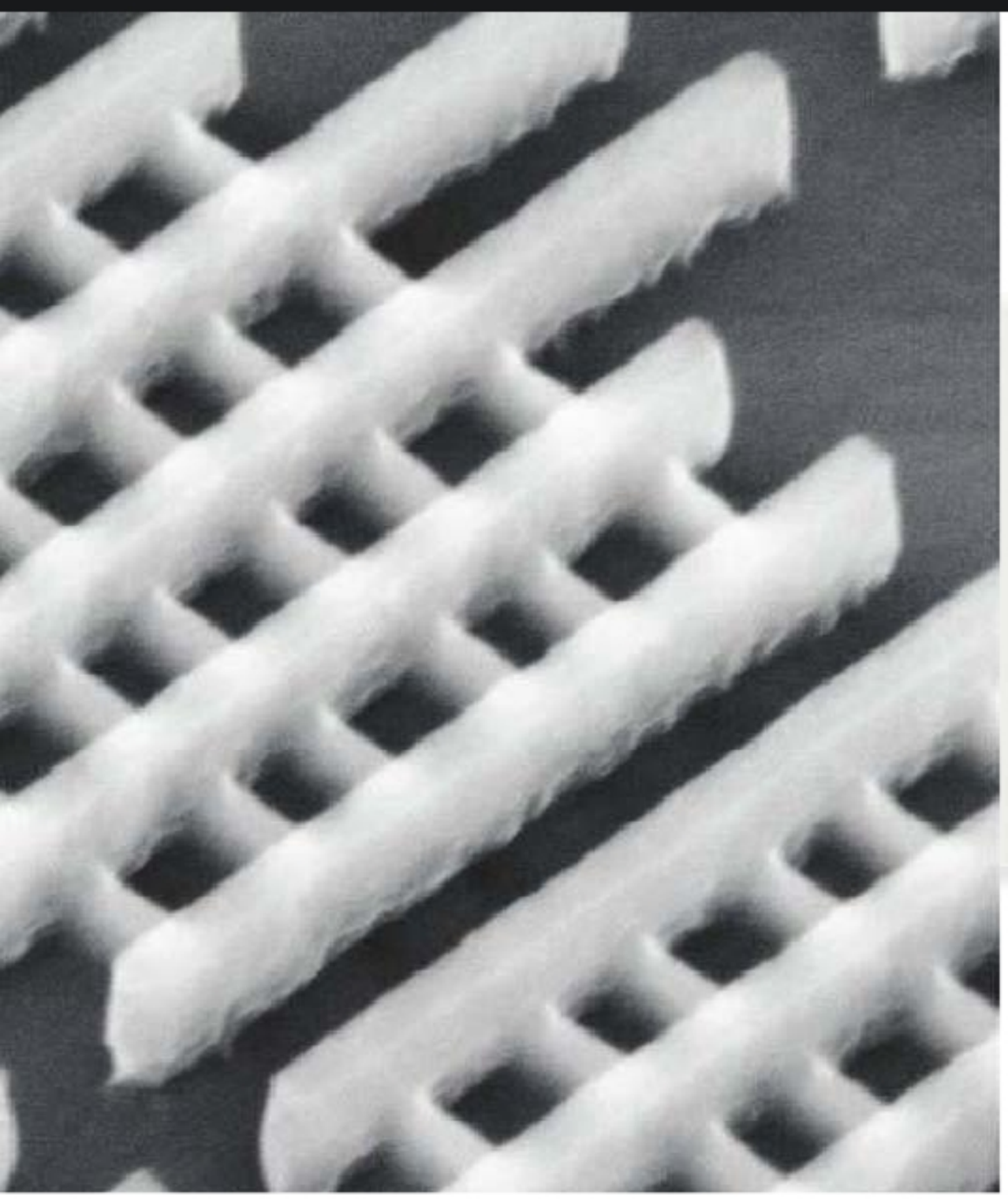
Pour limiter ce phénomène, les fabricants ont mis en œuvre plusieurs techniques (grille en matériau plus isolant, canal rendu plus conducteur…), mais aujourd'hui ces solutions ne suffisent plus et il faut absolument innover pour continuer à tenir la loi de Moore. La structure en 3D des nouveaux transistors d'Intel est la première technologie passée au stade industriel qui permet de préserver les performances des transistors à une échelle de 22 nanomètres – la nouvelle finesse de gravure record atteinte dans un processeur cette année. "*Dans un Tri-gate, les électrons circulent sur les deux flancs et sur le dessus du canal. Ce canal est surplombé par la grille selon trois plans, ce qui augmente considérablement la zone de contrôle de la grille. Une fois activée, cette dernière empêche les fuites d'électrons malgré le niveau de miniaturisation*", explique Olivier Faynot, chef du service



IBM-3M - INTEL - M.KONTENTE

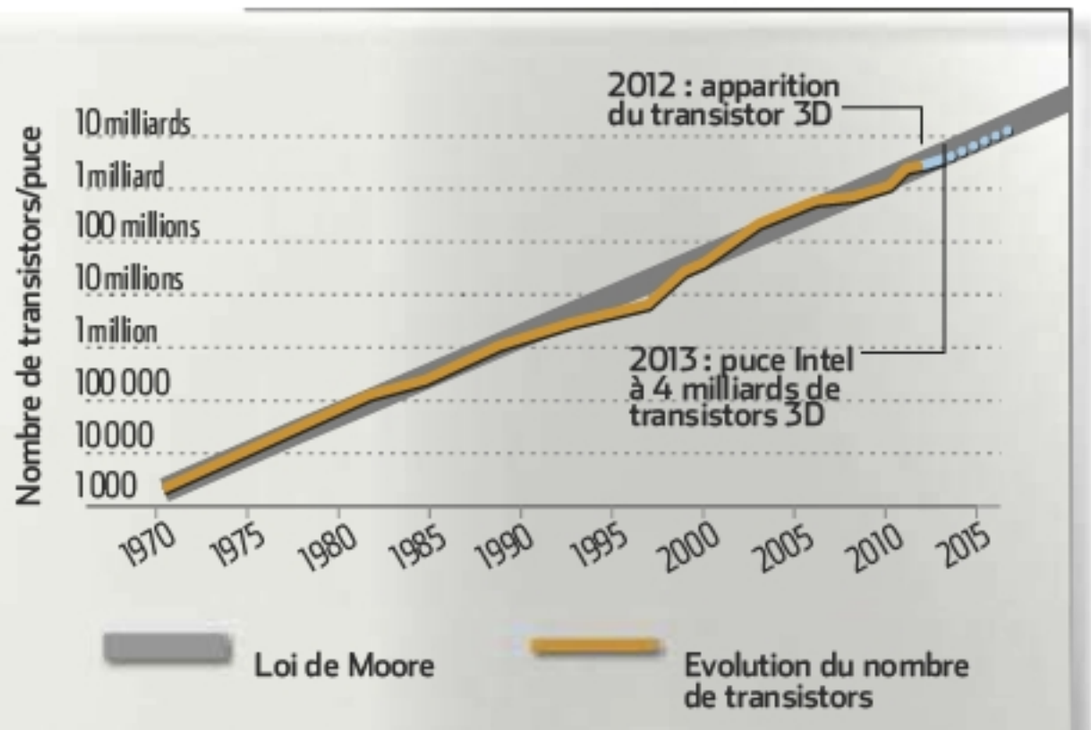
2 autres pistes pour les futurs PC

Le transistor 3D n'est pas la seule solution envisagée pour développer des ordinateurs plus puissants et peu encombrants. Une autre piste prometteuse est l'UTB-SOI (pour Ultra Thin Body Silicon Over Insulator), développé notamment par le français Soitec. Elle consiste à remplacer le substrat en silicium brut par un substrat en silicium recouvert d'un film isolant, qui évite les fuites de courant en empêchant les électrons traversant le transistor de descendre dans le substrat. Moins performant que la technologie tridimensionnelle d'Intel, le procédé est néanmoins plus simple à mettre en œuvre. "*Les industriels qui n'ont pas les moyens d'investir dans les Tri-gate ont intérêt à privilégier cette approche*", assure Olivier Faynot du CEA. Selon lui, à terme, les deux technologies pourraient se combiner pour faire descendre la finesse de gravure sous 10 nanomètres. Seconde piste : développer la puce elle-même en 3D, en empilant plusieurs composants (processeurs, mémoires, capteurs…) comme dans un vaste immeuble, afin de réduire l'encombrement et la longueur des connexions entre les composants internes de la puce.



LA LOI DE MOORE RELANCÉE GRÂCE À LA 3D

La loi de Moore stipule que le nombre de transistors gravés sur un processeur double tous les deux ans. Or, elle commencait à toucher ses limites. Avec sa technologie 3D, qui permet de miniaturiser les transistors tout en gagnant en performances, Intel est sûr de pouvoir tenir la loi de Moore encore au moins dix ans.



composants micro-électroniques du Laboratoire d'électronique et de technologies de l'information (LETI) du CEA. Digh Hisamoto, chercheur chez Hitachi, est le premier à avoir pensé à cette nouvelle approche. Il en a présenté l'idée sur le papier dès 1989. Ses travaux ont été poursuivis par Chemning Hu à l'université Berkeley en Californie qui l'a expérimentée concrètement avec son équipe en 1999.

Puis, un pas décisif a été franchi trois ans plus tard avec la mise au point par Intel du premier prototype de transistor Tri-gate opérationnel. A partir de là, il a fallu une décennie au géant américain pour concevoir les plates-formes de production capables de fabriquer des processeurs qui rassemblent des milliards de transistors 3D fonctionnant tous de concert. "*Je pense qu'Intel a au moins cinq ans d'avance sur ses concurrents*", commente Olivier Faynot. Résultat? La technologie Tri-gate préserve effectivement les bénéfices de la miniaturisation. A tension constante (0,7 volt), les nouveaux transistors 3D qui sont gravés avec une finesse de 22 nanomètres, affichent des temps d'activation de la grille plus courts de 37 % comparés à des transistors de 32 nanomètres de la génération précédente.

UN MARCHÉ GIGANTESQUE

A consommation électrique égale, les traitements effectués par les circuits imprimés s'effectuent donc plus rapidement. A l'inverse, on obtient les mêmes temps de réponse qu'avec des transistors planaires 32 nm, mais en réduisant la consommation énergétique de 50 % ! Ce n'est pas tout… "*Grâce aux Tri-gates et à une miniaturisation future de 14 nm puis de 10 nm, nos chercheurs sont sûrs de pouvoir tenir la loi de Moore encore au moins dix ans. Après il faudra trouver de nouvelles solutions*", annonce Mikael Moreau, porte-parole d'Intel en France.

En attendant, pour l'utilisateur, les toutes premières machines – à commencer par l'Aspire S5 signé Acer – équipées des premiers processeurs à transistors 3D arrivent et apportent un surplus de puissance et/ou une meilleure autonomie, selon les choix des constructeurs. "*A consommation égale, les gains attendus sur les premières machines par rapport à notre génération précédente de processeur sont de 20 % en calcul et de 50 % en traitement graphique*", détaille Mikael Moreau.

La plupart des constructeurs exploiteront également les gains en consommation électrique (jusqu'à 50 % au niveau du transistor) en proposant des machines ultralégères offrant des autonomies de plus de huit heures malgré la taille forcément réduite de leur batterie. A l'instar d'Acer, Asus, Samsung, Toshiba, HP, Dell, etc., concoctent ainsi des machines au design ultrafin. Intel travaille également d'arrache-pied pour appliquer sa technologie de transistors 3D aux puces très spécifiques qui équipent les tablettes et les smartphones, un marché gigantesque qui lui échappe pour l'instant et où le ratio consommation/puissance est également déterminant. La sortie de ces produits, qui n'est pas attendue avant l'année prochaine, devrait donner un sérieux coup de fouet aux marchés des terminaux mobiles. Annoncée sur sa fin à chaque décennie, la loi de Moore n'a pas encore dit son dernier mot ! **David Maume**

Prix : env. 1000 €.
Rens. : http://www.acer.fr/ac/fr/FR/content/home

L'appareil à déguster la quintessence des mets

Le Whaf réussit une bien étonnante alchimie : il fait disparaître l'aliment lui-même au profit de ses effluves. Cette machine à tirer la quintessence d'un mets est l'œuvre de David Edwards, biologiste, inventeur et gastronome américain, et du "designer culinaire" français Marc Brétillot. Le principe de l'engin est assez simple : un liquide parfumé (à base de bouillon, de boisson alcoolisée ou non…) est versé dans un vase dont le fond est tapissé d'émetteurs d'ultrasons piézo-électriques. Sous la pression des ondes sonores, le liquide est comme vaporisé à la surface. Il suffit alors d'incliner le Whaf sur le côté pour voir se former un nuage blanc qui s'écoule par une fente prévue à cet effet. Recueillez alors la vapeur dans un verre et utilisez la paille en verre conçue pour que les effluves du nuage diffusent au mieux. L'effet est inattendu : vous n'avez rien de matériel en bouche et pourtant la sensation de déguster un mets réel, ou du moins d'en percevoir le goût avec une étonnante précision, est là. Le Whaf ne fonctionne qu'avec des liquides dépourvus de particules, il faut donc apprendre à extraire le jus de vos plats ou jongler avec des arômes de synthèse. **P.C.**

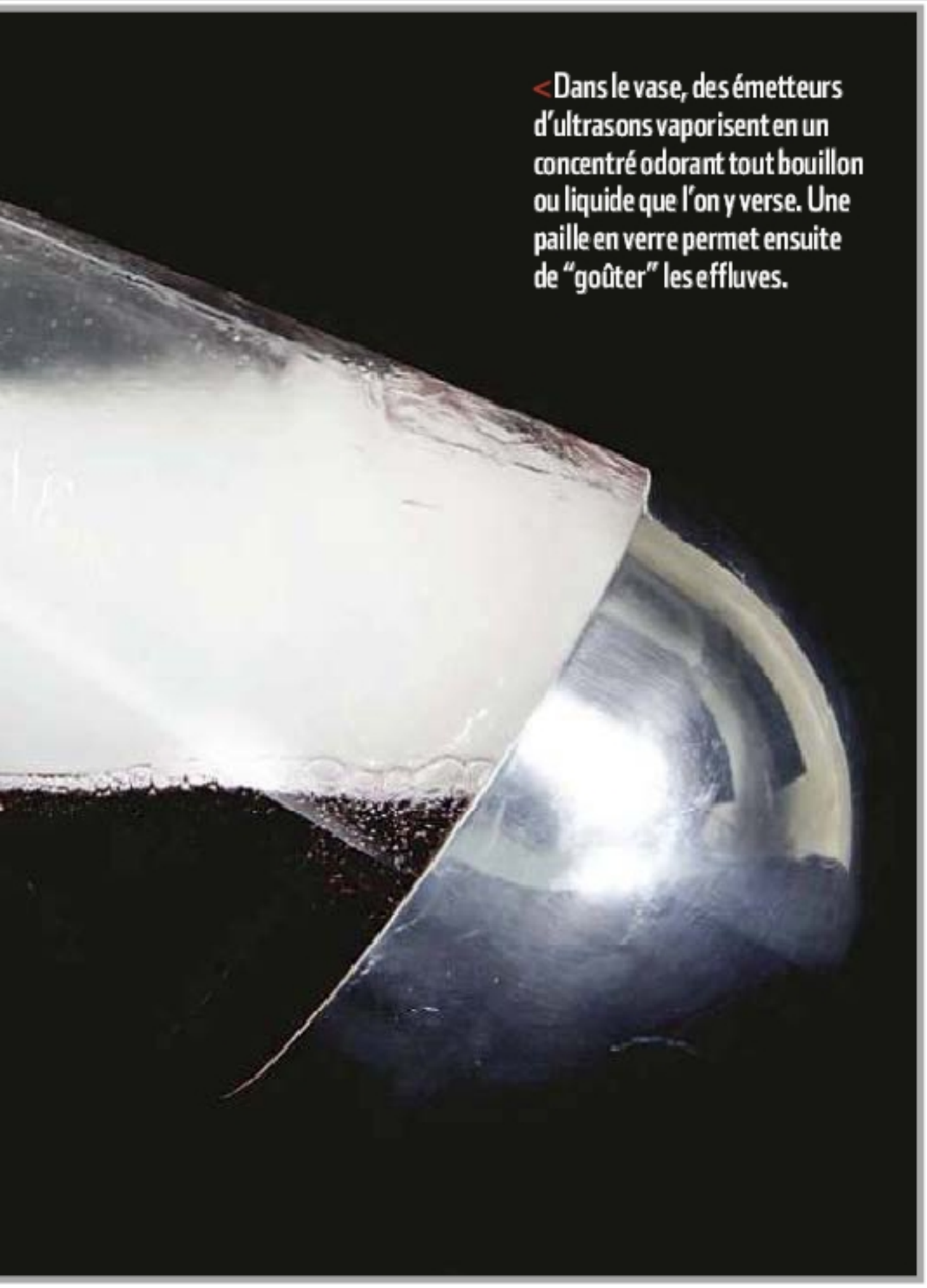
Prix : env. 130 €.
Rens. :
www.lelaboratoire.org

Un gadget pour activer son smartphone sans y penser

Chaque jour, on répète les mêmes gestes sur son smartphone : programmer le réveil avant de se coucher, lancer une application GPS en voiture… Désormais, au lieu de passer par le menu de l'appareil, il existe un nouveau moyen plus rapide : les SmartTags. Conçus par Sony, ces petits jetons colorés se placent à des endroits stratégiques (lit, voiture, bureau…). A l'intérieur, une puce NFC (Near Field Communication) comme celles que l'on trouve dans les cartes de transport, assure une connexion sans contact avec votre mobile. Il suffit alors de passer son téléphone devant le SmartTag pour que la fonction *ad hoc* s'affiche instantanément sur votre écran : le GPS dans la voiture, le réveil près du lit… Toute une série d'actions sont programmables. Attention, ces jetons fonctionnent uniquement avec le Xperia S de Sony et tous les mobiles compatibles NFC (à condition de télécharger le logiciel adapté). **L.B.**

Prix : env. 20 € (le lot de 4).
Rens. : www.sonymobile.com/fr

DR



< Dans le vase, des émetteurs d'ultrasons vaporisent en un concentré odorant tout bouillon ou liquide que l'on y verse. Une paille en verre permet ensuite de "goûter" les effluves.

LA VOITURE QUI OUVRE SES PORTES TOUTES GRANDES

Le B-Max du constructeur américain Ford est le premier véhicule qui combine à la fois des portes classiques à l'avant et des portes coulissantes à l'arrière, facilitant ainsi grandement l'accès à bord. Résultat : une ouverture des portes record de 1,50 m sans obstacle, le double d'un véhicule classique. Pour réussir leur pari tout en préservant la rigidité de la carrosserie, les ingénieurs ont déporté à l'intérieur des portières le montant latéral situé habituellement entre les places avant et arrière. Ils ont aussi eu recours à des aciers ultra-haute résistance, cinq fois plus rigides que des aciers conventionnels. Attendu en septembre, les précommandes du B-Max sont d'ores et déjà ouvertes. **E.T-A.**

Prix : à partir de 15 800 €.
Rens : www.ford.fr

LE COIN DES PROTOTYPES

DES LENTILLES AVEC AFFICHAGE D'INFOS EN 3D

Fabriquer des lentilles de contact qui projettent de la 3D directement sur l'iris, voilà le projet développé par la société américaine Innovega, en collaboration avec l'agence de recherche de l'armée américaine (Darpa). Les lentilles iOptiks utilisent un système intégré de filtres spéciaux et de lentilles secondaires qui permettent de faire la mise au point sur les objets à la fois proches et lointains. Ainsi, l'utilisateur peut voir simultanément du contenu virtuel en 3D, tout en conservant une vision nette de son environnement réel. L'affichage projeté simule celui d'un écran de 240 pouces, placé à 3 m ! L'objectif ? Permettre par exemple aux soldats de visionner en toute sécurité des informations en temps réel sur leur mission. A terme, ces lentilles pourraient aussi être utilisées dans le domaine des jeux vidéo. **J.J.**

Rens. : http://innovega-inc.com/

UNE MACHINE À LAVER QUI "SUBLIME" LA SALETÉ

Cette étrange boule dans un anneau sera peut-être la machine à laver le linge de demain. Sans savon, sans eau et sans bruit, elle nettoiera en quelques minutes les vêtements sales. Son principe ? Baptisée Orbit et imaginée par le designer Elie Ahovi pour Electrolux, cette machine comprend un anneau qui produit un courant électrique interférant avec une sphère en métal supraconducteur. Sous cet effet, la sphère lévite au centre de l'anneau. La supraconductivité crée, par ailleurs, une zone de très basse température provoquant une réaction chimique à l'intérieur de la boule métallique. Comme celle-ci contient, en plus du linge sale, de la glace carbonique, il se produit une réaction de sublimation : la glace passe directement de l'état solide à l'état gazeux et elle est projetée à haute pression dans les fibres textiles dont elle supprime les éléments étrangers, comme la graisse. Selon le concepteur, le nettoyage serait ainsi garanti ! **L.P.**

Rens : http://elieahovi.prosite.com/

v Dans la sphère supraconductrice, animée par l'anneau, de la glace carbonique nettoie le linge par sublimation.

Voici enfin l'ampoule LED performante

Bien moins gourmandes en énergie que toutes les autres ampoules, les LED sont annoncées comme la panacée. Seulement, elles ont un gros point faible : fabriquer des circuits électriques leur permettant d'atteindre de fortes puissances restait complexe. Jusqu'à maintenant… L'entreprise américaine Anomax vient en effet de concevoir une LED qui dégage une lumière de 1000 lumens, soit l'équivalent d'une ampoule à incandescence de 75 watts, alors qu'elle n'en consomme que 12. Le secret de cette ampoule tient dans son procédé de fabrication : *"Nous avons trouvé une méthode pour graver notre circuit sur une plaque d'aluminium anodisé, un isolant qui a l'avantage de très bien conduire la chaleur"*, détaille Chan Hock Aun, co-fondateur d'Anomax. Résultat, la lampe reste froide et consomme peu. L'entreprise a déjà fabriqué quelques exemplaires de cette ampoule, et ses dirigeants espèrent la produire très vite à grande échelle. **M.F.**

Prix : non communiqué
Rens. : http://www.ipchs.com/

^Une puissance équivalente à 75 watts a été obtenue grâce à un isolant qui conduit très bien la chaleur.

LE PARAPLUIE QUI DÉFIE LA FORCE DU VENT

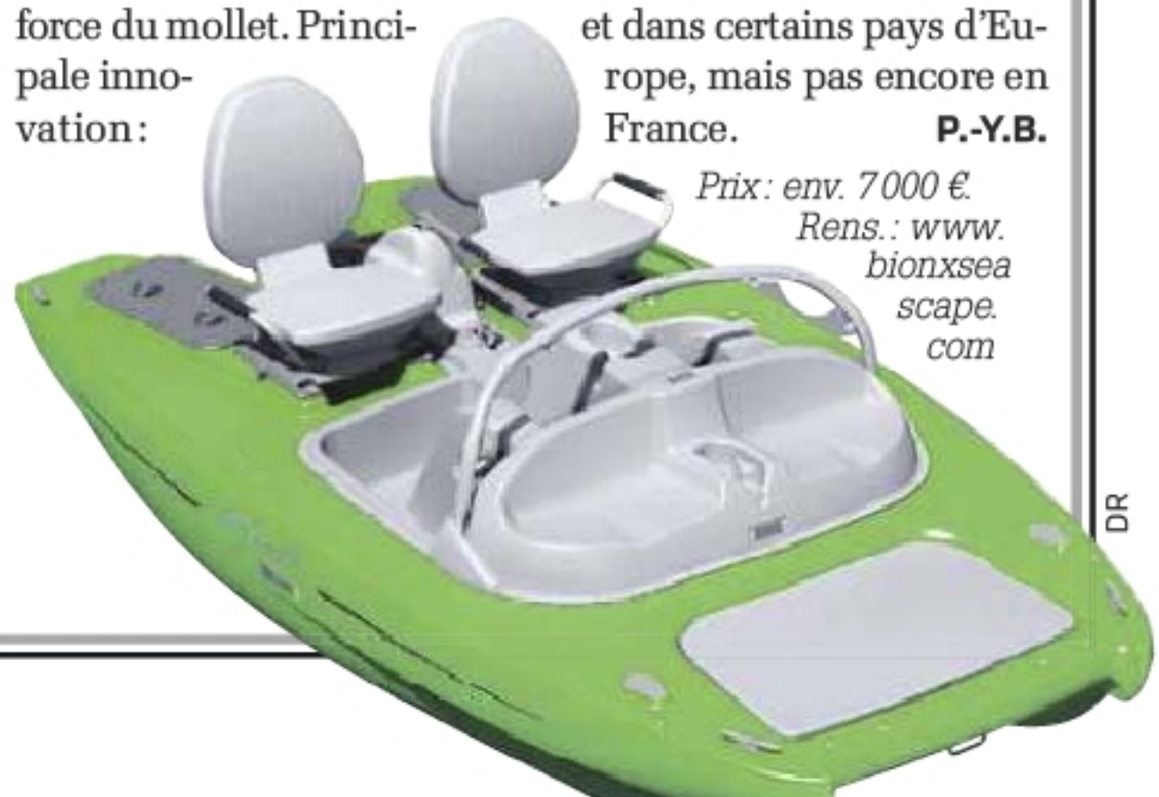
La paix dans la tempête. Voilà l'ambition du parapluie Blunt, censé résister à des vents supérieurs à 118 km/h (force 12). Ce qui le rend si facile à manier dans les bourrasques ? Une toile tendue par des baleines coulissantes en fibre de carbone, qui s'ajustent en fonction de la force du vent et qui ne cassent pas, même lorsqu'il lui arrive de se retourner. Commercialisé par l'entreprise française Parastyl, Blunt existe en différentes tailles et couleurs. Son poids varie selon les modèles de 455 g à 875 g. **G.S.**

Prix : env. 60 €.
Rens. : www.parapluies-blunt.com

Le tout premier pédalo assisté électriquement

Un nouveau mode de transport vient d'être converti à l'électrique : le pédalo. Mis au point par le canadien BionX, spécialiste du vélo à assistance électrique, le SeaScape 12 est la Rolls des pédalos. L'esquif est doté d'un moteur de 250 watts alimenté par deux batteries de 12 volts (huit heures d'autonomie) permettant d'atteindre la vitesse maxi de 4,5 nœuds (8,3 km/h), contre 3 nœuds quand il est mû à la seule force du mollet. Principale innovation : un capteur sur l'arbre de transmission qui déduit la pression exercée par l'utilisateur sur les pédales. Grâce à ce dispositif breveté, le pédaleur peut choisir le niveau d'assistance électrique souhaité, entre 35 % et 300 % de son propre effort. Ce pédalo, résultat de deux ans de développements, affiche aussi la vitesse instantanée et permet le relevage de l'hélice pour les passages en eau peu profonde. Attention, SeaScape 12 est commercialisé en Autriche et dans certains pays d'Europe, mais pas encore en France. **P.-Y.B.**

Prix : env. 7000 €.
Rens. : www.bionxseascape.com



DR

DÉCOUVREZ LE NEWSMAG DU NUMÉRIQUE !

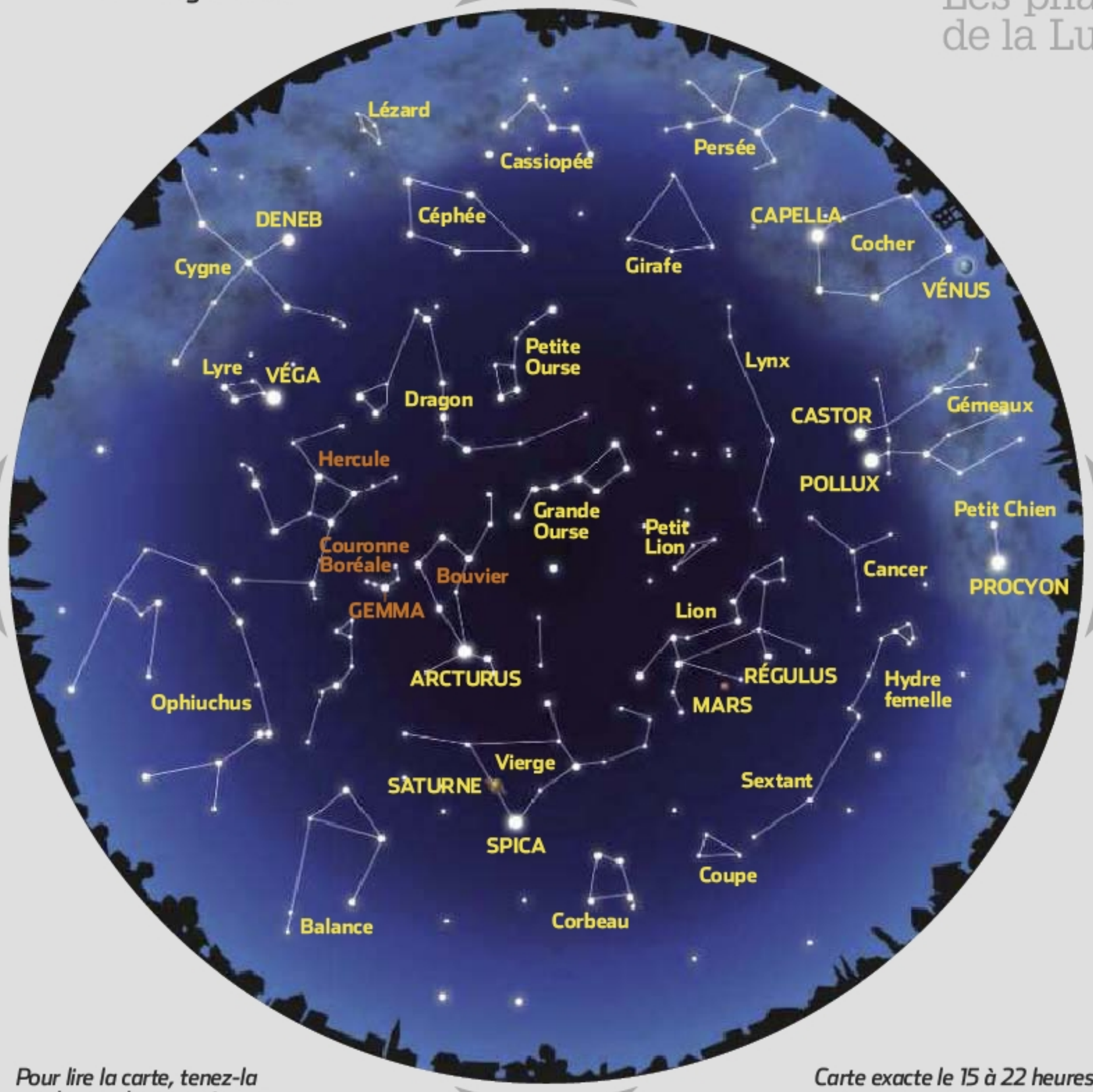
En vente chaque jeudi chez votre marchand de journaux.

01net. Micro hebdo
LE NEWSMAG DU NUMÉRIQUE

01NET MICRO HEBDO est le guide de tous les utilisateurs des nouvelles technologies. Il permet de bien acheter et de bien utiliser le meilleur de la high-tech.

CIEL DU MOIS

Par Serge Brunier



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 15 à 22 heures

Les phases de la Lune

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31

T.EDELMANN/NOVAPIX - A.FUJII/DAVID MALIN IMAGES/NOVAPIX - M.KONTENTE

À NE PAS MANQUER... LE 6

Ce soir, la pleine Lune sera particulièrement impressionnante... En effet, notre satellite sera très proche: 357000 kilomètres, alors qu'à sa distance maximale, il s'éloigne à plus de 405000 km! A l'œil nu, les gigantesques mers de lave solidifiée, formées voici 3 milliards d'années, et qui apparaissent sombres, seront très faciles à voir, tandis qu'une petite paire de jumelles révélera le jeune cratère Tycho, creusé par l'impact d'un astéroïde voici 110 millions d'années. L'impact est visible sur la moitié de la surface lunaire.

<Le cratère Tycho – vestige de l'impact d'un astéroïde – sera bien visible.

^ Au centre de la Couronne boréale, sa plus lumineuse étoile, Gemma (en bleu).

DES JOYAUX DANS LE CIEL

C'est l'une des plus petites, et des plus attachantes, constellations du ciel. La Couronne boréale dessine un élégant arc de cercle, figurant la couronne portée par Ariane, fille de Minos, roi de Crète. Sept étoiles suffisent à tracer la constellation, entre Hercule et le Bouvier. Spectaculaire et contrastée lorsqu'elle est contemplée sous un ciel clair de campagne, la Couronne boréale est plus difficile à apprécier en milieu urbain. Au centre, sa plus lumineuse étoile, Gemma (la Perle de la Couronne), est à 75 années-lumière de nous. C'est une étoile double – âgée de seulement 300 millions d'années –, entourée d'un vaste disque de poussières interplanétaires.

Retrouvez la chronique "Du côté des étoiles" sur France Info tous les samedis et sur www.france-info.com

DOIT-ON TUER POUR SURVIVRE À L'APOCALYPSE ?

JAMES ROLLINS

LA CLÉ DE L'APOCALYPSE

Disponible en e-Book

456 pages
20,90 €

Fleuve Noir

www.fleuvenoir.fr

La prophétie de Saint Malachie annonce la fin de l'humanité en 2012. Afin d'assurer la survie de notre espèce, certains scientifiques auraient trouvé une solution pour repousser l'échéance. Mais à quel prix ?

Nouveauté aux éditions Pocket
Amazonia

REFLEXION FAITE - Crédit photo : © Gettyimages : VGL/amanaimagesRF - Robert Kohluber/Vetta

CONTRE-SOMMAIRE

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

3 nœuds ..... p. 144
357 000 kilomètres..... p. 148
9 paires d'appendices ... p. 13
Ailes de papillon ..... p. 46
Aimant..... p. 78
Alcoolisme ..... p. 132
Algorithme de Google .. p. 22
Anneau intègre ..... p. 120
Anodisé ..... p. 144
Aucun criminel ..... p. 136
Auréoles colorées ..... p. 86
Autre pouvoir ..... p. 47
Beaucoup de bruit ..... p. 80
Cannabis..... p. 36
C'est ennuyeux ..... p. 122
Cheveux roux..... p. 136
Corps sublimés ..... p. 90
Coup de fouet..... p. 141
Couple mal assorti..... p. 26
Cratère Tycho..... p. 148
Créer un "chimérisme" p. 37
Crochet miniature..... p. 48
Derrick Todd Lee ..... p. 137
"Designer culinaire".... p. 142
Dextre ..... p. 48
Drogue du viol ..... p. 134
Eponge molle ..... p. 137
Fait d'armes..... p. 38
Faux positifs..... p. 127
Femelle gelada..... p. 20
Feng shui..... p. 82
Fins terroristes ..... p. 48
Force du mollet..... p. 144
Gironde..... p. 26
Glucagon-like..... p. 135
Groupe de Galilée..... p. 119
Infâme coquette ..... p. 114
"Je n'ai pas le temps" ... p. 114
Joyaux..... p. 148
Junior..... p. 38
Jus de citron ..... p. 16
La Perle de la Couronne..... p. 148
L'âge d'un escargot..... p. 136
Le dernier verre ..... p. 132
Le sot!..... p. 114
Magnétiseurs..... p. 83
Mettre la peau ..... p. 127
Monoïde additif commutatif..... p. 120
Mouches mutantes ..... p. 77
Muqueuses..... p. 124
Ne cherchez pas..... p. 136
Nouvel an chinois ..... p. 88
Ovni ..... p. 87
Pagerank ..... p. 22
Paranormal..... p. 75
Pédalo..... p. 144
Perdre le nord ..... p. 14
Photos de mode ..... p. 90
Pied de nez savoureux .. p. 31
Pirouettes chaotiques... p. 26
Pour être fixé..... p. 126
Puces géantes ..... p. 14
Quatre marins ..... p. 49
Quintessence..... p. 142
Récepteurs GABA-B.... p. 134
Rhume des foins ..... p. 131
Rouges-gorges ..... p. 78
Savants incompétents .. p. 114
Sévoflurane ..... p. 38
Sixième sens ..... p. 74
Sourciers ..... p. 83
Spongine ..... p. 137
Supercalculateur Jade .. p. 28
Yeux bandés..... p. 80

SCIENCE&VIE

Une publication du groupe MONDADORI FRANCE

PRÉSIDENT : Ernesto Mauri

RÉDACTION
8, rue François-Ory
92543 Montrouge CEDEX.
Tél. : 0146484848 - Fax : 0146484867
E-mail : svmens@mondadori.fr
DIRECTEUR DE LA RÉDACTION
Matthieu Villiers,
assisté de Christelle Borelli
RÉDACTEUR EN CHEF
Hervé Poirier
RÉDACTEURS EN CHEF ADJOINTS
Philippe Chambon, Grégoire Bouillier (édition)
DIRECTRICE ARTISTIQUE
Yvonne Diraison
CHEF DE SERVICE
Valérie Greffoz (actualités)
CHEF DE RUBRIQUE
Caroline Tourbe (médecine)
RÉDACTEURS
Elsa Abdoun, Boris Bellanger, Germain Chambost, Mathilde Fontez, Vincent Nouyrigat, Emilie Rauscher, Muriel Valin
SECRÉTAIRE GÉNÉRAL DE RÉDACTION
Jean-Luc Glock
SECRÉTAIRES DE RÉDACTION
Anne Riera, Clara Baudel
MAQUETTISTES
Valérie Samuel-Charrier (1re maquettiste), Elisabeth de Garrigues
SERVICE PHOTO-INFOGRAPHIE
Anne Levy (chef de service photo), Clémence Gérard ; Emmanuel Jullien (chef de service infographie)
DOCUMENTATION
Marie-Anne Guffroy
ONT COLLABORÉ À CE NUMÉRO
Anyform Design, S. Aquindo, S. Barge, K. Bettayeb, L. Blancard, E. Bonnet-Vidal, R. Brillaud, S. Brunier, O. Capronnier, G. Cirade, M. Cygler, A. Dagan, A. Debroise, O. Donnars, V. Etienne, S. Fay, E. Gillet, P. Grisot, E. Haentjens, C. Hancok, J. Jongwane, M. Kergoat, M. Kontente, P. Lefevre, M. Lestelle, C. Martin, D. Maurne, E. Monnier, L. Péricone, P. Puiseux, P. Richard, A. Robert, J.-M. Sabatié, M. Saemann, Y. Sciama, G. Siméon, E. Thierry-Aymé

DIRECTION-ÉDITION
DIRECTION PÔLE
Carole Fagot
DIRECTEUR DÉLÉGUÉ
Vincent Cousin

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

MARKETING
Claire Leprovost (responsable marketing), Michèle Guillet (chargée de promotion), Sarah Bordessoules (responsable promotion), Nathalie Carrère (abonnements)

PUBLICITÉ
Valérie Carny (directrice exécutive), Francesca Colin (directrice commerciale), Valérie Leclère (directrice de publicité), Virginie Commun, Lionel Dufour (commerciaux), Sylvie Angerville (assistante), Sabrina Rossidjenidi, Stéphanie Guillard (planning), Véronique Alex (trafic), Jean-Jacques Benezech, Grégory Gounse, Anne-Sophie Chauvière (opérations spéciales)
Grande-Bretagne : Publieurope LTD (infolodon@publieurope.com – 44 (0)20 7927 9800
Allemagne : Publieurope Munich (infomunich@publieurope.com – 0049 89 2908150) ;
Suisse : Publieurope Lausanne (infolausanne@publieurope.com – 0041 21 323 3110) ;
Espagne : Publimedia Madrid (infomadrid@publim-gestion.es – 0034 91 212 83 00)

FABRICATION
Gérard Greck, Valérie Brunehaut, Nathalie Lemaure

FINANCE MANAGER
Géraldine Pellerin-Faux

DÉPARTEMENT INTERNATIONAL
Mathilde Janier-Bonnichon, Murielle Luche

EDITEUR : Mondadori Magazines France
Siège social : 8, rue François-Ory
92543 Montrouge Cedex
PRÉSIDENT ET DIRECTEUR DE LA PUBLICATION
Ernesto Mauri
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 :
1015 K 79977. Tarif d'abonnement légal :
1 an, 12 numéros : 42,80 € ;
1 an, 12 numéros + 4 HS : 52,80 €.
DÉPÔT LÉGAL mai 2012

RELATIONS CLIENTÈLE ABONNÉS
Par mail : relations.clients@mondadori.fr
Par téléphone : 01 46 48 48 96.
Par courrier : Science & Vie Abonnements
B341, 60643 Chantilly Cedex.
Par internet : http://www.kiosquemag.com
Etats-Unis et Canada : Express Mag, Tél. : 1 800 363-1310 (français) et 1 877 363-1310 (anglais).
Suisse : Edigroup, 022 860 84 50 - mondadori-suisse@edigroup.ch. Belgique : Edigroup Belgique, 070 233 304 - mondadori-belgique@edigroup.be
Autres pays : nous consulter.

À NOS ABONNÉS
Pour toute correspondance relative à votre abonnement, envoyez-nous l'étiquette collée sur votre dernier envoi. Les noms, prénoms et adresses sont communiqués à nos services internes et organismes liés contractuellement avec S&V sauf opposition motivée. Les informations pourront faire l'objet d'un droit d'accès ou de rectification dans le cadre légal. Les manuscrits envoyés ne sont pas rendus.

À NOS LECTEURS
RENSEIGNEMENTS
Par courrier : 8, rue François-Ory, 92543 Montrouge Cedex.
Par mail : sev.lecteurs@mondadori.fr
COMMANDE D'ANCIENS NUMÉROS, RELIURES ET VPC
tél. : 01 46 48 48 97
relations.clients@mondadori.fr

OJD PRESSE PAYANTE 2010

EN KIOSQUE CE MOIS-CI

RÉPONDEZ À CETTE ENQUÊTE ET PARTICIPEZ À L'AMÉLIORATION DE SCIENCE & VIE !

Pour vous remercier de prendre le temps de répondre, un tirage au sort sera effectué parmi les questionnaires reçus **avant le 15 mai**. Vous aurez ainsi la possibilité de recevoir :

• L'UN DES 3 DVD : "Jurassic Park", "Papillons Monarque" ou "L'Homme de Flores" !

Une fois rempli et complété de votre adresse pour participer au tirage au sort, ce questionnaire est à nous retourner :

Science & Vie - Libre réponse 23016 - 92125 MONTROUGE CEDEX

Q1. Vous lisez Science & Vie...

> *Tous les mois 1*
> *De 6 à 10 numéros par an 2*
> *De 3 à 5 numéros par an 3*
> *Moins de 3 numéros par an 4*
> *C'est la première fois 5*

Q2. Comment vous procurez-vous Science & Vie, en général ?

> *Vous êtes abonné (vous ou une autre personne de votre foyer) 1*
> *Vous l'achetez chez votre marchand de journaux (vous ou une autre personne de votre foyer) 2*
> *Autres (on vous le prête, donne...) 3*

Q3. Avez-vous le sentiment, ces derniers mois, de lire Science & Vie, avec

> *Plus d'intérêt 1*
> *Moins d'intérêt 2*
> *Sans changement 3*
> *C'est la première fois que je le lis 4*

Q4. Notez de 0 à 10 la couverture du numéro de Science & Vie que vous tenez entre vos mains, 10 signifiant que vous l'appréciez beaucoup, 0 signifiant que vous ne l'appréciez pas du tout. Les notes intermédiaires vous permettant de nuancer votre jugement.

|_|_| *sur 10*

Q5a. Pour chacun des articles de ce numéro, indiquez dans le tableau ci-dessous :
a- Si vous l'avez lu, en entier, en partie, parcouru sans vraiment le lire ou pas lu du tout.
b- Si vous l'avez au moins parcouru, s'il vous a intéressé, assez, peu ou pas du tout.

	a- Lecture				b- Intérêt			
	En entier	*En partie*	*Parcouru sans vraiment le lire*	*Pas lu*	*Beaucoup*	*Assez*	*Peu*	*Pas du tout*
> *Sommaire (p. 6 et 7)*	1	2	3	4	1	2	3	4
> *Forum (p. 9)*	1	2	3	4	1	2	3	4
Actualités								
> *Ensemble de la partie "Actualités" (p. 12 à 50)*	1	2	3	4	1	2	3	4
> *Ensemble de la partie "Actus Labos" (p. 12 à 22)*	1	2	3	4	1	2	3	4
> *Actus Labos "Idée neuve" (p. 22)*	1	2	3	4	1	2	3	4
> *Ensemble de la partie "Actus Terre" (p. 24 à 33)*	1	2	3	4	1	2	3	4
> *Actus Médecine "Les clés pour comprendre" (p. 32 et 33)*	1	2	3	4	1	2	3	4
> *Ensemble de la partie "Actus Médecine" (p. 34 à 44)*	1	2	3	4	1	2	3	4
> *Actus Médecine "Focus" (p. 38 et 39)*	1	2	3	4	1	2	3	4
> *Actus Médecine "On en reparle" (p. 44)*	1	2	3	4	1	2	3	4
> *Ensemble de la partie "Actus Technos" (p. 46 à 50)*	1	2	3	4	1	2	3	4
À la une								
> *Cuivre, or, zinc, argent, uranium, phosphore... Alerte à la pénurie ! (p. 52 à 71)*	1	2	3	4	1	2	3	4
Fondamental								
> *Révélation - Nous avons bien un sixième sens magnétique ! (p. 74 à 83)*	1	2	3	4	1	2	3	4
> *Analyse - On peut enfin savoir si une photo est truquée (p. 84 à 91)*	1	2	3	4	1	2	3	4
> *Découverte - La Terre a deux lunes ! (p. 92 à 97)*	1	2	3	4	1	2	3	4
> *Enquête - Cancer du col de l'utérus : le fiasco du vaccin (p. 98 à 104)*	1	2	3	4	1	2	3	4
> *Portfolio - Il y a 300 millions d'années... la Pompéi des plantes (p. 106 à 109)*	1	2	3	4	1	2	3	4
Le point sur								
> *Il y a 180 ans, Evariste Galois révolutionnait l'algèbre (p. 112 à 122)*	1	2	3	4	1	2	3	4
En pratique								
> *Ensemble de la partie "En pratique" (p. 123 à 147)*	1	2	3	4	1	2	3	4
> *Bon à savoir (p. 124 et 125)*	1	2	3	4	1	2	3	4
> *Zoom du mois - Allergies : 8 bonnes questions pour y voir plus clair (p. 126 à 131)*	1	2	3	4	1	2	3	4
> *Questions & Réponses (p. 132 à 137)*	1	2	3	4	1	2	3	4
> *Technofolies (p. 138 à 144)*	1	2	3	4	1	2	3	4
> *Le ciel du mois (p. 146 et 147)*	1	2	3	4	1	2	3	4

Enquête

Répondez à cette enquête et participez à l'amélioration de Science & Vie !

Q5b. Notez de 0 à 10 ce numéro de Science&Vie, que vous tenez entre vos mains, 10 signifiant que vous l'appréciez beaucoup, 0 signifiant que vous ne l'appréciez pas du tout, les notes intermédiaires vous permettant de nuancer votre jugement.

|__|__| *sur 10*

Q6. Pour chacune des phrases ci-dessous que l'on peut entendre à propos de Science & Vie, indiquez si, vous personnellement, vous êtes tout à fait d'accord, plutôt d'accord, plutôt pas d'accord ou pas du tout d'accord :

	Tout à fait d'accord	*Plutôt d'accord*	*Plutôt pas d'accord*	*Pas du tout d'accord*
Les numéros de Science & Vie sont…				
> *Clairs, bien organisés*	1	2	3	4
> *Agréables à lire*	1	2	3	4
> *Complets*	1	2	3	4
> *Distrayants*	1	2	3	4
> *Faciles à comprendre*	1	2	3	4
> *Riches en informations que vous ne trouvez pas ailleurs*	1	2	3	4
> *Très intéressants*	1	2	3	4

Q7. Vous est-il déjà arrivé de recommander à quelqu'un…

	Oui souvent	*Oui rarement*	*Non jamais*
> *La lecture de numéros de Science&Vie*	1	2	3
> *Un article précis paru dans Science&Vie*	1	2	3

Q8. Si Science & Vie disparaissait, diriez-vous qu'il vous manquerait beaucoup, assez, peu ou pas du tout ?

> *Manquerait beaucoup* 1
> *Manquerait assez* 2
> *Manquerait peu* 3
> *Ne manquerait pas du tout* 4

Q9. Vous-même, depuis combien de temps lisez-vous le magazine Science & Vie ?

> *Moins d'un an* 1
> *1 à 2 ans* 2
> *3 à 5 ans* 3
> *6 à 10 ans* 4
> *11 ans et plus* 5

Q10. Quels magazines achetez-vous / lisez-vous régulièrement ?

.....

Q11. Quels sites internet consultez-vous pour trouver des informations scientifiques ?

.....

Pour finir, voici quelques dernières questions destinées à mieux vous connaître.

RS1. Vous êtes…

> *Un homme* 1
> *Une femme* 2

RS2. Votre âge…

> *moins de 18 ans* 1
> *de 18 à 24 ans* 2
> *de 25 à 34 ans* 3
> *de 35 à 49 ans* 4
> *de 50 à 64 ans* 5
> *65 ans et plus* 6

RS3. Dans quelle catégorie, parmi les suivantes, pouvez-vous vous ranger personnellement et/ou le chef de famille ?

	Vous-même	*Le chef de famille*
> *Agriculteur*	1	1
> *Profession libérale*	2	2
> *Artisan, petit commerçant*	3	3
> *Chef d'une entreprise de plus de 10 salariés*	4	4
> *Cadre supérieur*	5	5
> *Cadre moyen*	6	6
> *Employé*	7	7
> *Ouvrier*	8	8
> *Élève, étudiant*	9	9
> *Retraité*	10	10
> *Autre inactif*	11	11
> *Chômeur*	12	12

RS4. Quel est votre département de résidence ? |__|__|

Vos coordonnées

Nom : .....

Prénom : .....

Adresse : .....

.....

.....

.....

CP : .....

Ville : .....

.....

l'écologie aime l'économie

Des pièces en matières plastiques BASF peuvent remplacer celles en métal pour construire des voitures plus légères et donc plus économes. Cela signifie moins d'émissions de CO_2, moins de besoins en carburant et moins d'argent qui file hors de vos poches. Si préserver l'environnement ne nuit pas à vos finances, c'est parce que chez BASF, nous créons de la chimie. **www.basf.fr/chimie**

BASF
The Chemical Company

Affligem

La savoureuse minute belge.*

* Il faut une minute pour qu'une gorgée de bière Affligem révèle toutes ses saveurs

Savoir prendre son temps.

AGENCE DUFRESNE CORRIGAN SCARLETT H Entreprise RCS Nanterre 414842062

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