

CALMAR GÉANT
PREMIÈRE RENCONTRE
AVEC LE MYTHE

SOLEIL EN PANNE
ÇA SE CONFIRME...

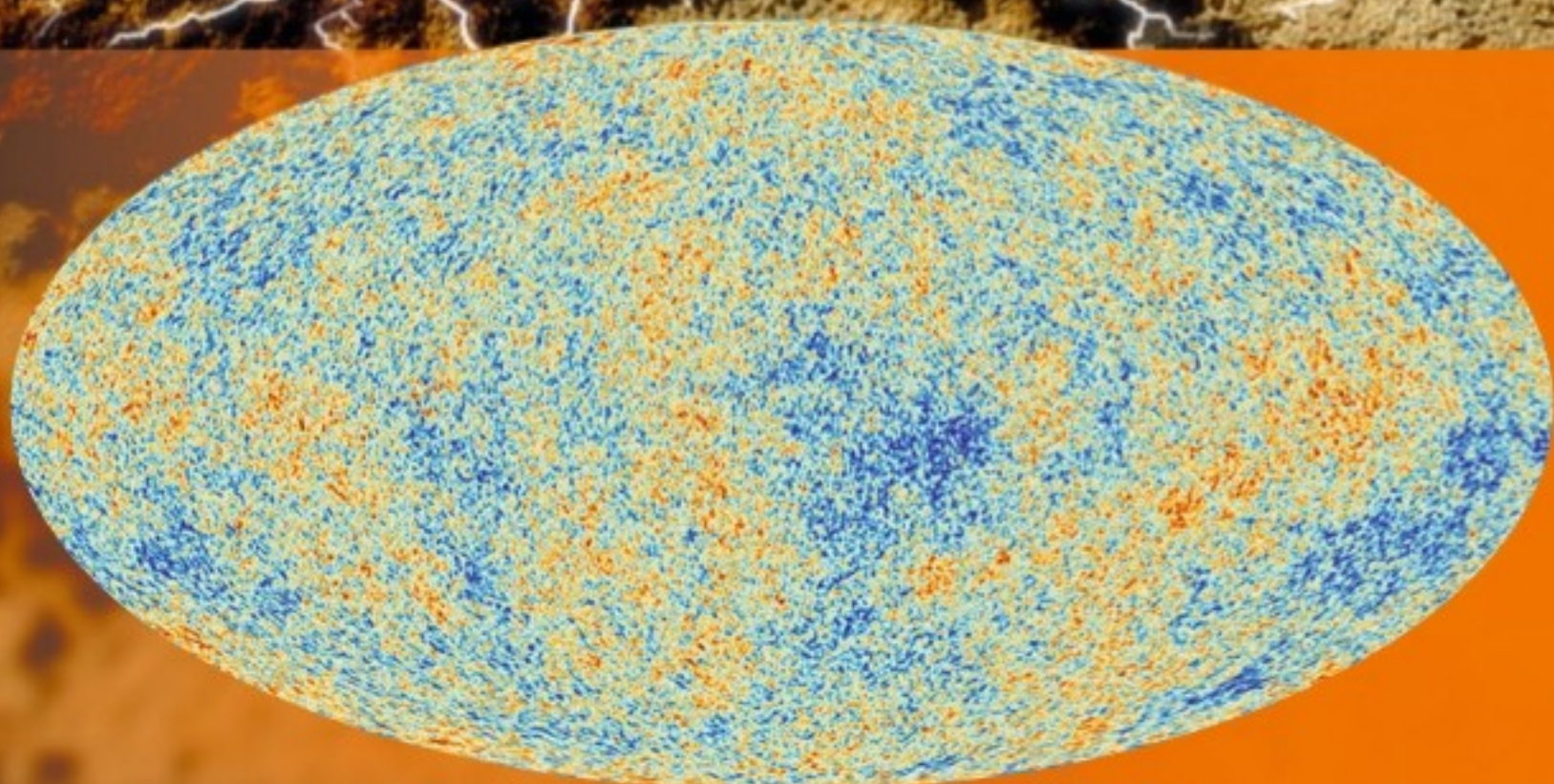
UNE CHANCE OU UN RISQUE ?

GAZ DE SCHISTE

LE DOSSIER VÉRITÉ

France métro: 4,20 € - DOM surf: 4,80 € - DOM avio: 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: 4,5 DH - MAY: 6,40 € - TOM: 5/750 A/1400 CFP - PORT CONT: 4,90 € - TUN: 6,5 DTU

M 02578 - 1148 - F: 4,20 €



ORIGINE DE L'UNIVERS
**LA PHOTO
QUI DIT TOUT!**



Nouvelle Golf.

Avec technologie BlueMotion.

Lorsque nous concevons une voiture, nous avons une responsabilité envers l'environnement. C'est pourquoi tous les moteurs de la nouvelle gamme Golf sont équipés en série de la technologie BlueMotion avec système Start-Stop et récupération d'énergie au freinage. De plus, la Golf propose un nouveau moteur 1.4 TSI ACT qui désactive deux des quatre cylindres en fonction de l'accélération. Vous réduisez ainsi votre consommation de carburant et par la même occasion les émissions de CO₂. Une raison de plus pour profiter de chacun de vos voyages.

Nous avons pensé à vous pour concevoir la Golf, Das Auto.

Volkswagen recommande **Castrol EDGE Professional**

Cycles mixte de la gamme nouvelle Golf (l/100 km) : 3,8 à 4,9. Rejets de CO₂ (g/km) : 99 à 122. **Modèle présenté** : Golf Carat TDI 105 5p avec options peinture métallisée, pack 'Drive Assist II', jantes 17" Madrid, projecteurs bi-xénon directionnels avec feux de jour à LED et toit ouvrant électrique. **Car of the year** : Voiture européenne de l'année. **Das Auto.** : La Voiture.

Cycle mixte (l/100 km) : 3,8. Rejets de CO₂ (g/km) : 99.

PARCE QUE VOUS VOUS SENTEZ
CONCERNÉ PAR VOTRE
ENVIRONNEMENT.



Das Auto.



McDo
Kids Sport.

McDo Kids Sport™



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



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

DANS LES GRANDES PROFONDEURS

PLANCK : DANS LES PROFONDEURS DU COSMOS

Coup de chapeau au satellite *Planck*, à ceux qui l'ont voulu, conçu et réalisé. Comme tout le monde, et même si nous attendions cette image depuis longtemps, nous sommes res-

tés bouche bée. Voici donc la photo de la naissance de l'Univers. Prise à l'instant pile où la lumière jaillit, à l'instant pile (ou presque) où son histoire a commencé. Jamais nous

ne verrons plus loin, ni dans l'espace ni dans le temps. Cette photo dit tout de l'origine de ce qui peut être vu. Bienvenue dans les plus lointaines profondeurs du cosmos.

GAZ DE SCHISTE : DANS LES PROFONDEURS DE LA TERRE

Alors que les plus belles poches de gaz et de pétrole s'épuisent, un *outsider* redonne de l'espoir et aiguise les appétits. Personne n'avait vu venir ce méthane piégé dans les roches argileuses profondes qui change aujourd'hui radicale-

ment la donne. Il pourrait surpasser pétrole et gaz conventionnels dans les vingt ans à venir ! Mais, tapi quelques kilomètres sous terre, le gaz de schiste est également une vive source d'inquiétude. Tout particulièrement en France où son ex-

ploitation par fracturation hydraulique (seul procédé opérationnel à ce jour) a été interdite. Quels sont les risques associés à l'exploitation de cette nouvelle manne ? Quel est son véritable potentiel ? Notre enquête fait le point.

DSM-5 : DANS LES PROFONDEURS DE L'ÂME

Chez les psychiatres, neurologues et autres spécialistes des maladies du cerveau, l'heure est à la déception. Attendue depuis des années, la nouvelle version du *DSM* est très loin de faire l'unanimité. *DSM* ? Ce manuel constitue pour les médecins

des troubles du cerveau un guide des bonnes pratiques, tant dans l'aide au diagnostic des pathologies que dans les traitements et les posologies recommandés. D'aucuns auraient préféré que cette "bible" ne se contente pas de s'arrêter aux

symptômes et apporte un nouvel éclairage sur les mécanismes biologiques propres aux différentes et nombreuses pathologies recensées. Il n'en est rien. Décidément, les profondeurs de l'âme ne sont pas les plus faciles à atteindre... **S&V**



RENAULT **ZOE.**
MADE IN
FRANCE.

**RENAULT ZOE. 100% ÉLECTRIQUE.
SIMPLEMENT RÉVOLUTIONNAIRE.**

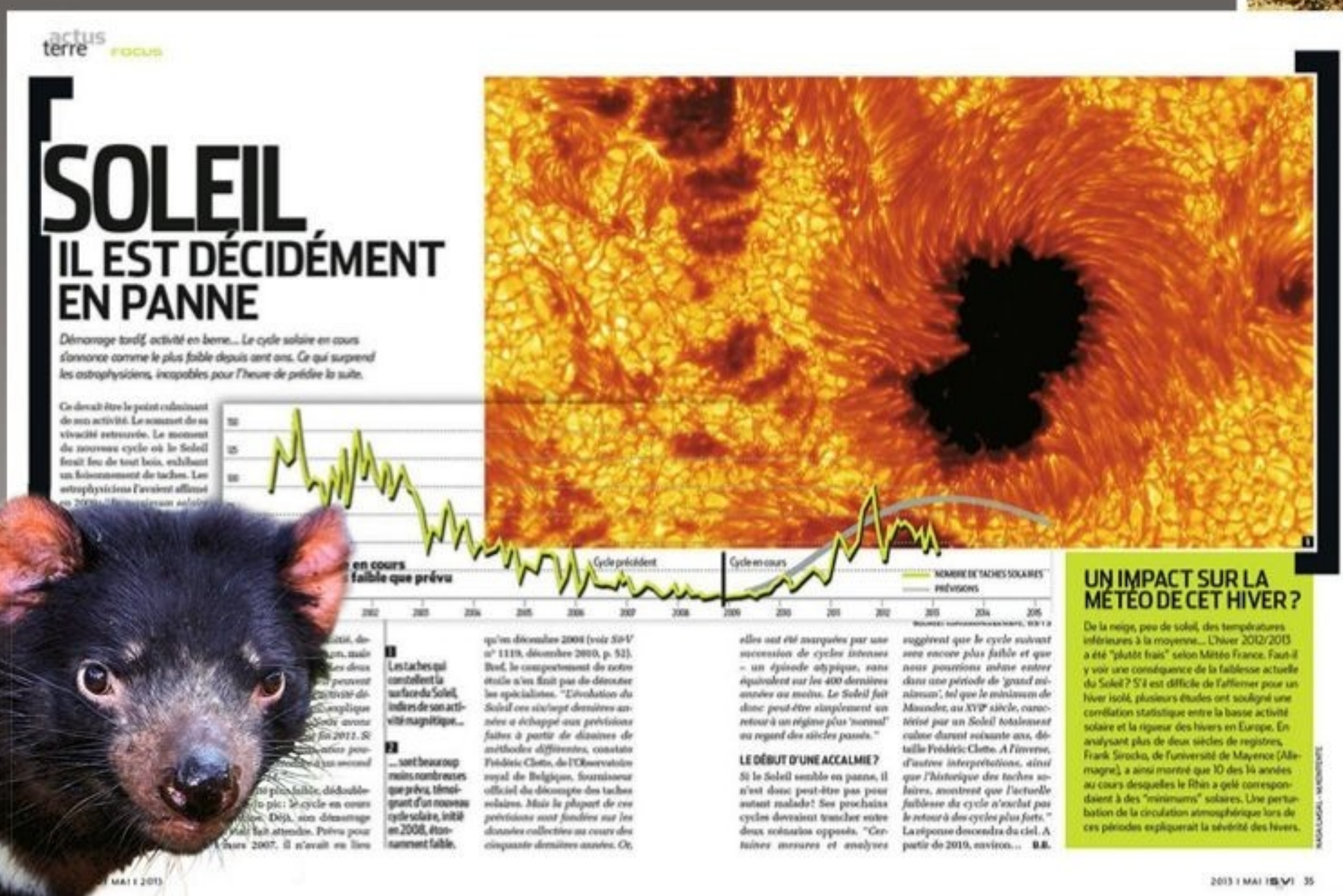
Fabriquée en France.

LA FRANCE
A UNE LONGUE TRADITION :
FAIRE **LA RÉVOLUTION.**

**CHANGEONS DE VIE
CHANGEONS L'AUTOMOBILE**



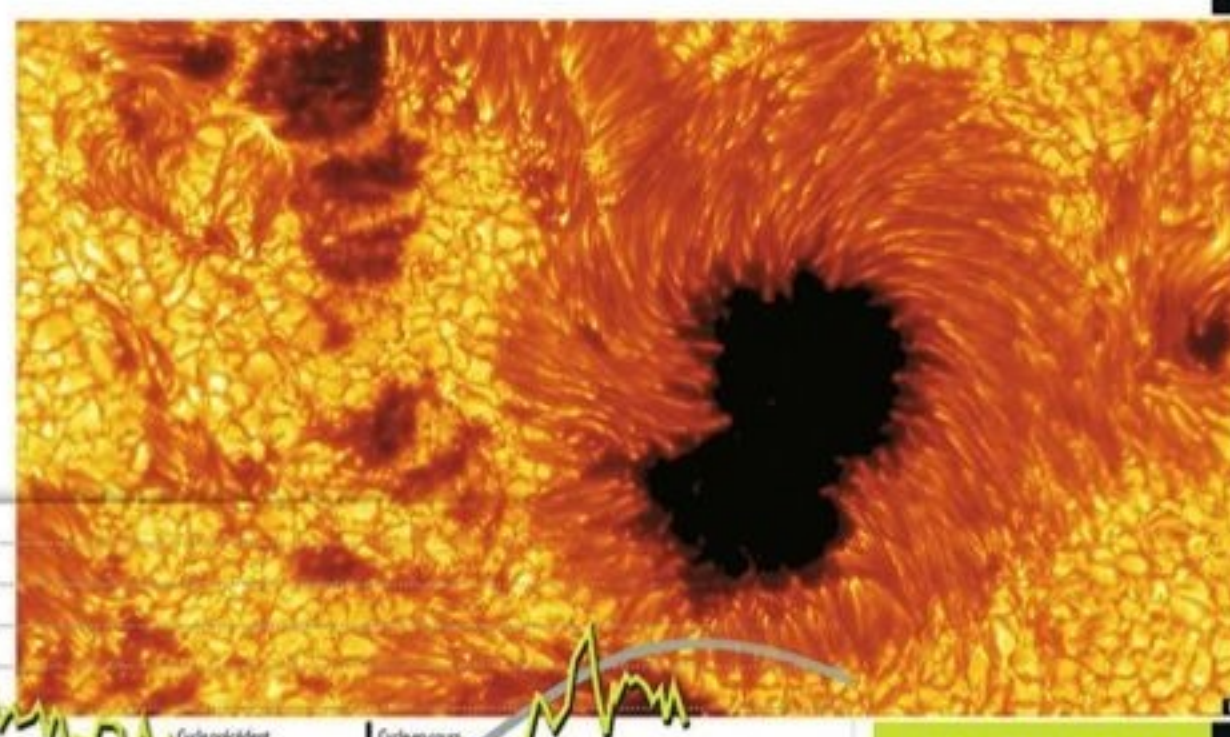
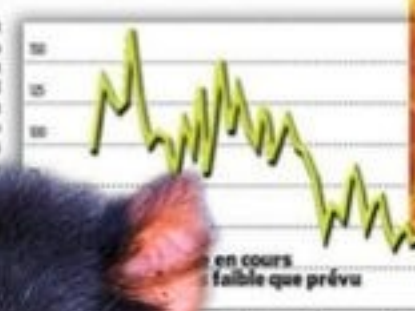
34



SOLEIL IL EST DÉCIDÉMENT EN PANNE

Démarrage tardif, activité en berne... Le cycle solaire en cours s'annonce comme le plus faible depuis cent ans. Ce qui suspend les astrophysiciens, incapables pour l'instant de prédire la suite.

Ce dessin illustre le point culminant de son activité. Le sommet de sa courbe est en fait le plus bas de son cycle. Le Soleil brille de tout bois, exhibant un comportement de loup. Les astrophysiciens l'avaient effleuré.



UN IMPACT SUR LA MÉTÉO DE CET HIVER ?

De la neige, peu de soleil, des températures inférieures à la moyenne... L'hiver 2012/2013 a été "plutôt froid", selon Météo France. Faut-il y voir une conséquence de la faible activité du Soleil ? Si c'est difficile de l'affirmer pour un hiver isolé, plusieurs études ont souligné une corrélation statistique entre la teneur en soleil et la rigueur des hivers en Europe. En analysant plus de deux siècles de registres, Frank Senechal, de l'université de Mayence (Allemagne), a ainsi montré que 10 des 12 années au cours desquelles le Tibet a été confronté à des "minimums" solaires, une perturbation de la circulation atmosphérique lors de ces périodes expliquant la sévérité des hivers.

54

32

ACTUS

12 LABOS

Une planète est en train de naître sous nos yeux; dès 7 mois, les bébés bilingues savent distinguer deux grammaires; ils ont réussi à faire un nœud avec de l'eau, etc.

16 FOCUS

La vie aurait été possible sur Mars

26 TERRE

La planète est refroidie par les petits volcans; l'abeille sauvage est vitale pour les cultures; on peut sauver le diable de Tasmanie, etc.

34 FOCUS

Soleil: il est décidément en panne

36 MÉDECINE

Un nouveau virus tueur dévoile son mode d'action; rajeunir le cerveau ne tient qu'à un gène, etc.

42 ON TENAIT À VOUS DIRE

Farines animales: leur retour a bien de quoi inquiéter

44 ON EN REPARLE

Virus H1N1: le vaccin contre la "grippe A" de plus en plus sur la sellette

46 TECHNOS

On sait enfin puiser le gaz sous l'océan; la fibre optique tissée dope les anticancéreux, etc.

50 IDÉE NEUVE

"Je veux piloter des robots grâce aux antennes des papillons"

FONDAMENTAL

À LA UNE

54 GAZ DE SCHISTE LE DOSSIER VÉRITÉ

72 DÉCOUVERTE ET L'INTELLIGENCE HUMAINE VINT AUX SOURIS!

76 ÉVÉNEMENT SATELLITE "PLANCK": LE CLICHÉ QUI DIT TOUT LES SECRETS D'UN EXPLOIT

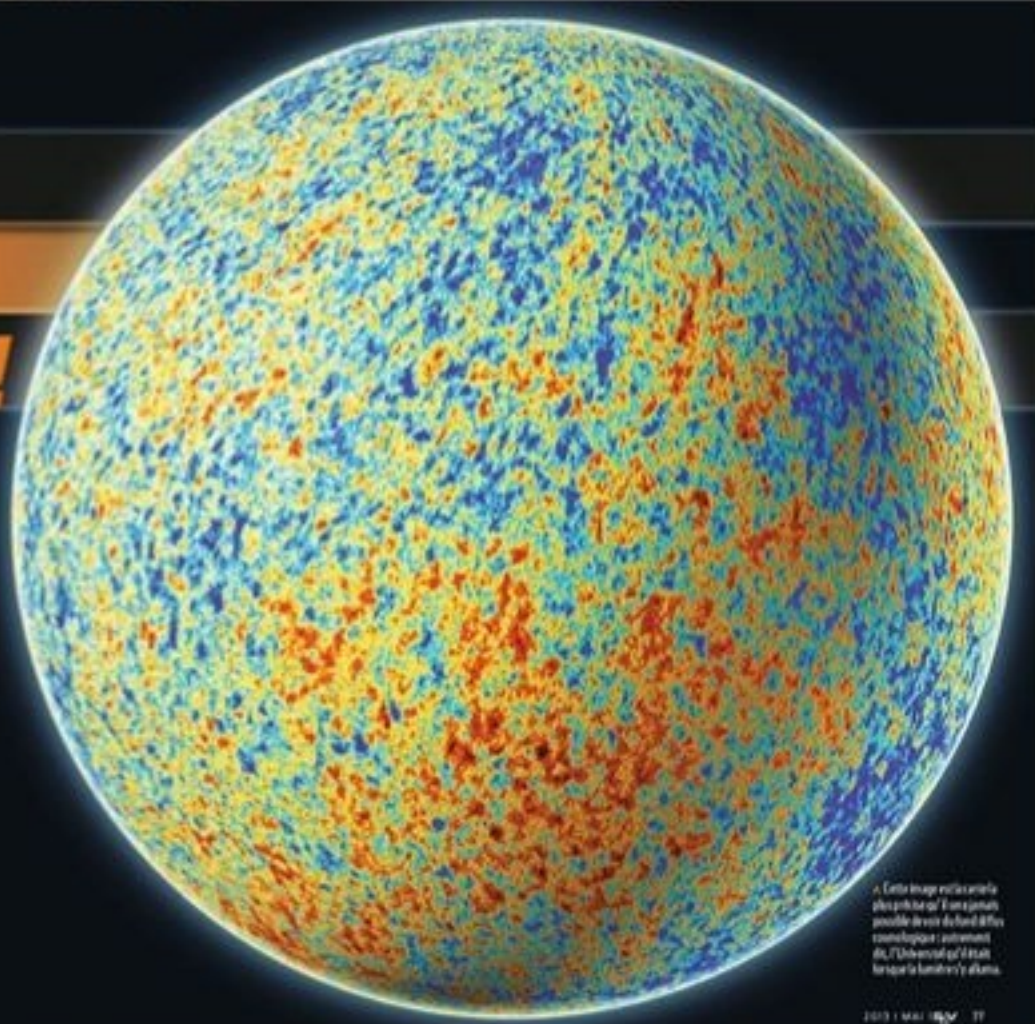
A l'heure où se profile la transition énergétique, le gaz de schiste représente une ressource miracle pour les uns, un cauchemar écologique pour les autres. Qu'en est-il réellement ? Les réponses de la science aux 7 questions essentielles.

GAZ DE SCHISTE

LE DOSSIER VÉRITÉ

AINSI ÉTAIT L'UNIVERS À L'ORIGINE!

C'est le cliché qui dit tout ! L'histoire de l'Univers et sa véritable date de naissance. Les étapes de son expansion comme les mystères qui demeurent à élucider. Mais par-dessus tout, c'est le cliché ultime : aucun autre cliché ne pourra jamais faire mieux. Et pour cause : il fait remonter le temps jusqu'à 380 000 ans après le big bang, à l'instant où l'Univers émit sa première lueur. Une lueur que le satellite Planck a captée avec une sensibilité maximale. Et qui, désormais, va servir de phare aux cosmologistes.



76

128

EN PRATIQUE
ZOOM DU MOIS
Par M. Lecomte

PILULE, STÉRILET, PRÉSERVATIF, PATCH... Toutes les méthodes de contraception à la loupe

La vie des Français est jalonnée par un schéma contraceptif...
 UNE "MOMIE" FRANÇAISE
 C'est une femme, une jeune femme, une femme qui a tout fait pour éviter la grossesse. Elle a utilisé toutes les méthodes de contraception disponibles. Mais elle a eu un enfant. Pourquoi ?
 Des usages qui varient d'un pays à l'autre
 La France n'est pas le seul pays à utiliser la contraception. Mais elle a ses particularités.
 Le préservatif féminin ou masculin
 C'est une question de confort, de goût, de sensibilité.
 85% 98%
 C'est le taux d'efficacité des méthodes de contraception.
 90%
 C'est le taux d'efficacité des méthodes de contraception.
 100%
 C'est le taux d'efficacité des méthodes de contraception.



Les contraceptifs ne sont pas toujours à jour...
 Le préservatif féminin ou masculin
 C'est une question de confort, de goût, de sensibilité.
 85% 98%
 C'est le taux d'efficacité des méthodes de contraception.
 90%
 C'est le taux d'efficacité des méthodes de contraception.
 100%
 C'est le taux d'efficacité des méthodes de contraception.

142



EN PRATIQUE

100 ANS
SCIENCE & VIE

92 **EXPLOIT**
KRAKEN: LA RENCONTRE A ENFIN EU LIEU

100 **ANALYSE**
DÉPRESSION, ANOREXIE, PHOBIES... MAIS QUI SOUFFRE DE QUOI?

110 **PERSPECTIVES**
COQ: LES MATHS ONT TROUVÉ LEUR MAÎTRE

115 **7 IDÉES NEUVES POUR LE XXI^e SIÈCLE**

Quand les nouveaux savoirs bousculent les anciens dogmes... Une grande série de Science & Vie, à retrouver chaque mois. Ce mois-ci:

Penser oublier plutôt qu'accumulation



126 **BON À SAVOIR**
128 **ZOOM DU MOIS**

Pilule, stérilet, préservatif, patch... Toutes les méthodes de contraception à la loupe

134 **QUESTIONS / RÉPONSES**

140 **TECHNOFOLIES**
Mieux que le wi-fi, voici l'Internet par la lumière; le premier scooter à quatre roues autonomes; un bracelet pour tout commander d'un seul geste, etc.

146 **LE CIEL DU MOIS**

148 **Contre-sommaire**

Deux encarts, "Boutique S&V Spécial 100 ans" et "Croisières Science", sont jetés en 4^e de couverture des exemplaires de toute la diffusion abonnés France métropolitaine. Deux encarts, "La Dépêche PQR" et "Archives S&V", sont jetés en 4^e de couverture des exemplaires d'une partie des abonnés France métropolitaine.

FORUM

Les plantes font décidément débat

Notre dossier du mois de mars (Science & Vie n°1146), consacré à l'intelligence des plantes, suscite vos nombreuses réactions. Et quelques questions relatives à l'anthropomorphisme et à... Lyssenko.

Votre article sur "l'intelligence" des plantes m'a tout à coup rappelé Lyssenko. Celui-ci, appuyé par le parti communiste, proposait de semer par poignées car les plantes "s'entraideraient". A partir de quelques expériences fausses, ce "chercheur" avait bâti une théorie de "l'hérédité des caractères acquis". Les conséquences furent catastrophiques pour l'agriculture soviétique et mortelles pour les biologistes "mendelo-morganiens". S'il n'y a plus de risque du côté soviétique, j'ai peur qu'il n'y en ait du côté des écologistes intégristes. Tout anthropomorphisme est susceptible de récupération, en particulier celui exaltant "l'harmonie de

dame nature". Il me semble que votre article en est pétri, à commencer par son titre.

Pierre Wackherr, Internet

S&V La mise en évidence de phénomènes de coopération parmi les plantes ne fait pas des scientifiques qui les ont découverts des "lyssenkistes". Comme vous le rappelez, l'épisode Lyssenko est un cas d'école qui illustre combien l'idéologie politique peut aveugler les scientifiques. Nous avons pourtant pris soin dans notre dossier de citer avec précision un grand nombre d'expériences scientifiques, parfaitement reproductibles, afin de montrer justement qu'il existe un corpus expérimental relativement

Comment ne pas réagir devant certaines aires jardinières où se morfondent des plantes sans défense, aux racines déboussolées, souvent sous perfusion, coincées dans des substrats d'une pauvreté affligeante, cernées

d'un contenant d'où rarement elles parviennent à s'échapper? A se demander, suite aux découvertes que vous présentez, si, au même titre qu'une SPA, il ne faudrait pas créer une SPP?

Christian Gruszka,
Saint-Alban-Laysse (73)

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



récent soutenant notre propos – alors que Lyssenko, lui, s'affranchissait totalement de la réalité. Si l'anthropomorphisme, en lui-même, est condamnable, la biologie a aussi souvent souffert du défaut inverse, consistant à minorer, ou ignorer, tout comportement sophistiqué chez un organisme, de peur d'être

taxé d'anthropomorphisme! La comparaison avec les comportements animaux, voire humains, peut parfois être féconde, il ne faut donc pas y renoncer par principe.

S&V La Société protectrice des animaux s'attache à lutter contre la souffrance animale. Si les travaux récents sur les plantes poussent de plus en plus de spécialistes à parler d'une "cognition végétale", rien, en l'état, ne permet d'évoquer chez elles une souffrance. L'anthropomorphisme a bel et bien des limites...

La boutique
SCIENCE & VIE

Plus
de
400

-----**Livres**-----

Idées-----
-----cadeaux

---**Objets
scientifiques
ou insolites**---

WWW
laboutiquescienceetvie.com

Le dirigeable du futur est prêt... depuis 1783

Dans votre article sur le dirigeable du futur (S&V n° 1146, p. 48), vous écrivez que "cet Aeroscraft ML866, long de 79 m, est le premier prototype de véhicule aérien à flottabilité variable". C'est oublier qu'en 1783, M. Meusnier, lieutenant en premier au corps royal du génie, et de l'Académie royale des sciences, a présenté un concept similaire dans son mémoire "Sur l'équilibre des machines aérostatiques".

A. Antoine,
Petite-Chapelle (Belgique)

S&V Vous avez effectivement raison.

Quelques années avant la Révolution française, l'ingénieur Jean-Baptiste Meusnier fut l'auteur d'une proposition tout à fait semblable au dirigeable présenté dans nos pages : elle avait le pouvoir de comprimer ou décompresser à volonté un volume d'air afin d'alourdir ou d'alléger le ballon au gré des besoins. Comme l'écrit l'auteur dans son mémoire : "En comprimant dans le ballon de l'air atmosphérique, son poids augmentera sans que son volume change, et [...] il sera par conséquent déterminé à descendre. Il n'est pas difficile d'imaginer



après cela de faire remonter la machine, en évacuant ce même air atmosphérique ; elle ne manœuvrera plus alors aux dépens de sa substance". Le ballon des frères Robert, dont un essai est effectué à Saint-Cloud en juillet 1784, met en

œuvre ce principe pour la première fois. Mais le vol est de courte durée... Les frères Robert et leur mécène, le duc de Chartres, éviteront en effet de justesse la tragédie : le ballon, dépourvu de valve, devait être crevé d'urgence afin de pouvoir redescendre.

SENSATIONS

et vous, vos envies ?

Attribution des sièges sur tous nos vols

biarritz ou nice

37€*

aller simple

europe by

easyJet

easyJet appli

*Prix aller simple par personne avec 2 passagers voyageant sur la même réservation, taxes et frais de gestion inclus, pour un paiement par carte de débit. Le paiement par carte de crédit engendre un supplément de 2,5% du montant. 1339 sièges disponibles à moins de 37 € au 15 mars 2013, pour des vols entre le 16 mai et le 26 octobre 2013, selon disponibilités et au départ de l'aéroport de Lyon. Des frais variables s'appliquent pour les bagages en soute. Voir conditions sur easyJet.com.

lactus labos



▲ Si les ailes de mouches sont ornées de taches dessinant des motifs variés, c'est à cause de mutations génétiques, dont le modèle serait à l'origine de bien d'autres traits physiques.



ÉVOLUTION

LES AILES D'INSECTES ONT LIVRÉ LE SECRET DE LEURS MOTIFS

Comment les ailes de tant d'espèces de mouches se sont-elles trouvées couvertes de dessins parfois complexes? En s'intéressant aux taches sombres présentes chez certaines espèces, Nicolas Gompel et Benjamin Prud'homme, biologistes à l'université d'Aix-Marseille, ont éclairé le procédé à leur origine... et montré qu'il touche aux mécanismes les plus intimes de l'évolution! Les motifs observés sont généralement dus à deux types de gènes:

ceux qui commandent la production de pigments; et ceux, dits "architectes", qui les coordonnent et leur disent où agir. L'histoire évolutive reconstituée par les chercheurs dévoile que pour créer de nouveaux motifs, nul besoin de nouveaux gènes: un petit "bricolage" moléculaire suffit! Ils ont en effet découvert des mutations qui ont permis à des gènes liés à la production de pigments d'être "recrutés" par des architectes auxquels ils étaient

jusqu'alors insensibles. En l'occurrence, passé sous la houlette de "Dll", architecte actif au niveau des ailes de drosophile, le gène "yellow" y a entraîné l'apparition d'une tache sombre il y a 15 millions d'années. Au fil du temps, Dll a à son tour muté, entraînant l'altération de la tache chez diverses lignées de mouches. Un procédé qui pourrait se retrouver ailleurs dans le génome et concerner l'évolution de beaucoup d'autres caractères morphologiques. **E.R.**

ASTROPHYSIQUE

UNE PLANÈTE EST EN TRAIN DE NAÎTRE SOUS NOS YEUX

Enveloppée dans son cocon de gaz brûlant, une planète est en train de naître. Ce cliché, le premier du genre, a été pris par Sascha Quanz, de l'Institut de technologie de Suisse, grâce au Very Large Telescope du Chili, pointé sur HD100546. Située à 335 années-lumière de la Terre, c'est une étoile fraîchement formée, autour de laquelle on avait déjà repéré une exoplanète. Sa petite sœur naissante serait pour l'instant une graine solide de quelques fois la masse de la Terre, qui absorbe le nuage de gaz et de poussières environnant. Devrait en émerger, dans quelques centaines

de milliers d'années, une géante gazeuse grande comme plusieurs Jupiter. Cette observation vient enrichir les modèles de formation des exoplanètes qui, reposant sur des simulations informatiques, n'expliquent pas tout. Par exemple, pourquoi certaines planètes ne dépassent pas la taille de Jupiter. *"En théorie, l'accrétion devrait s'emballer jusqu'à atteindre cinq fois la masse de Jupiter, explique Aurélien Crida, de l'université de Nice. Or, beaucoup d'exoplanètes sont plus petites. Il faut mieux comprendre l'accrétion du gaz, c'est pourquoi ces observations sont bienvenues!"* B.R.

ÉTHOLOGIE

EN SE RENIFLANT, LES RATS S'INFORMENT DE LEUR RANG

Lorsque deux rats se reniflent, ils ne se contentent pas de recueillir des renseignements olfactifs... Ils se transmettent aussi des informations sur leur statut social ! Ce comportement vient d'être mis en évidence par l'Américain Daniel Wesson, qui a mesuré la fréquence respiratoire de deux rats se retrouvant face à face. Le biologiste a observé que le rat dominé se mettait à renifler plus lentement, faute de quoi le rat dominant adoptait un comportement plus agressif. Ce mode de communication préviendrait ainsi les conflits. E.L.-T.



NAGUÈRE, LE DROMADAIRE VIVAIT AU PÔLE

Il y a 3,5 millions d'années, le dromadaire vivait en Arctique ! C'est ce que révèlent des fragments de fossiles découverts sur l'île d'Ellesmere, dans l'extrême-Nord canadien. Le camélidé était alors 29 % plus large, et aurait développé sa bosse pour survivre aux rudes hivers du climat boréal. **R.B.**

NEANDERTAL, CHAMPION D'ENDURANCE

Neandertal, en Europe, ainsi que les premiers *Sapiens* africains parcouraient au Paléolithique de bien plus grandes distances que les plus sportifs d'entre nous. En témoigne la robustesse des os de leurs jambes, preuve de leur endurance, comparée à la nôtre. **E.R.**

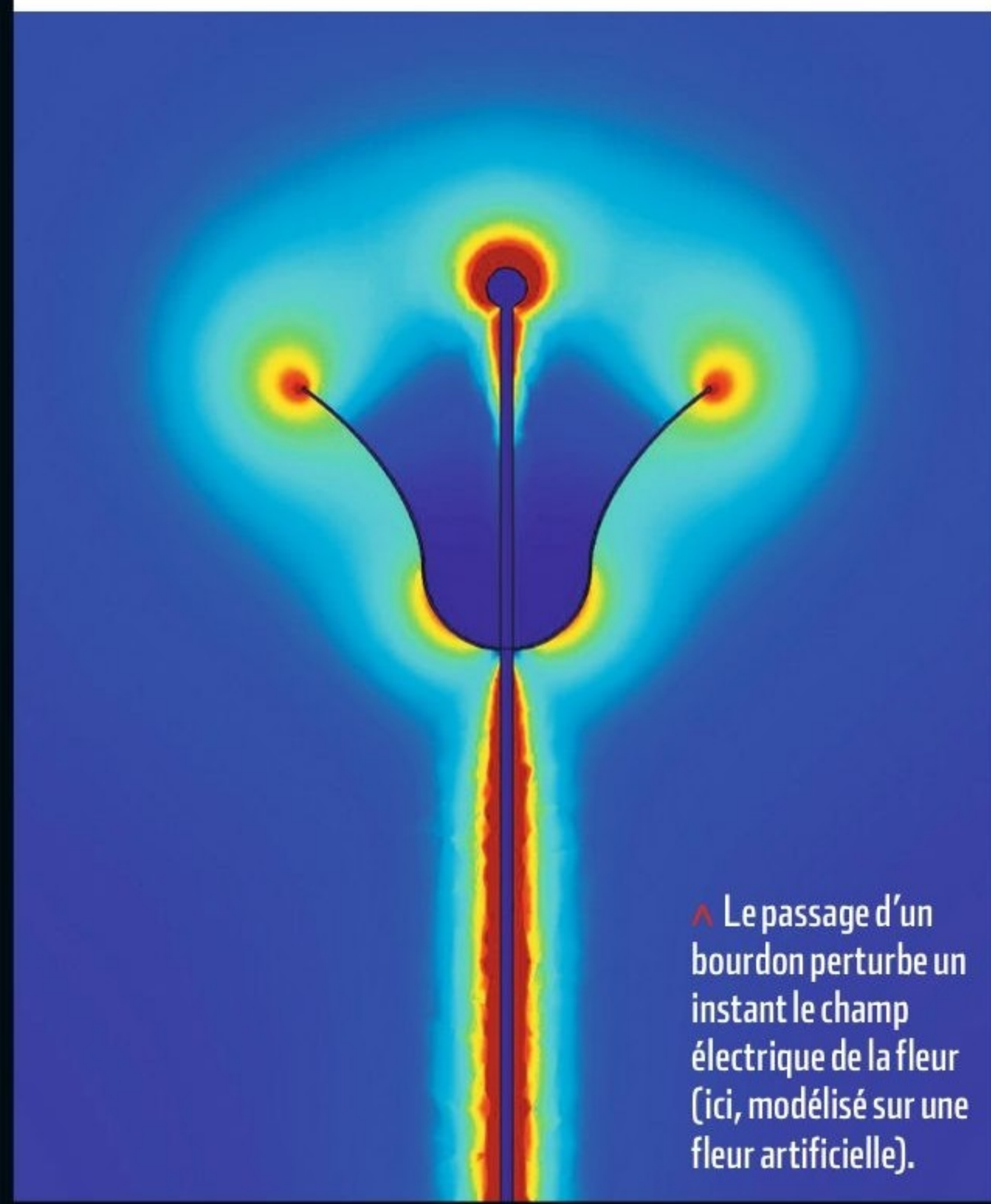
LA DÉCOUVERTE DU HIGGS SE CONFIRME

Le 14 mars, les chercheurs du LHC au Cern ont annoncé que la particule présentée le 13 décembre dernier (S&V n° 1143) comme "compatible avec le boson de Higgs" y "ressemble de plus en plus". C'est l'analyse de deux fois plus de mesures qui a permis de franchir cette limite sémantique. **M.F.**

PHYSIOLOGIE

POUR CHOISIR SA FLEUR, LE BOURDON SE FIE À SON CHAMP ÉLECTRIQUE

Entre les bourdons et les fleurs, c'est décidément une histoire d'électricité ! On savait déjà que les premiers étant chargés positivement, et les secondes négativement, cela favorisait le transfert et l'adhésion du pollen des fleurs sur le corps des bourdons lors de leurs visites. Mais Dominic Clarke et Heather Whitney (université de Bristol, Angleterre) viennent de révéler que le rôle de l'électricité va bien au-delà de cette simple attraction passive. En observant le comportement de bourdons autour de fleurs artificielles, électriquement chargées ou non, les biologistes ont démontré que les bourdons étaient capables de détecter le champ électrique de la fleur, et de s'en servir pour optimiser leur récolte de nectar. Selon les chercheurs, le passage d'un bourdon s'accompagne pendant quelques minutes d'une perturbation du champ électrique de la fleur qui pourrait indiquer aux insectes suivants qu'elle a déjà été visitée, et qu'il est donc inutile de la butiner. Avec cette expérience, le champ électrique est à ajouter au nombre des artifices floraux (couleurs, formes, parfums) qui permettent à un insecte de choisir sa fleur. **E.H.**



▲ Le passage d'un bourdon perturbe un instant le champ électrique de la fleur (ici, modélisé sur une fleur artificielle).

< Braqué sur une jeune étoile, le Very Large Telescope a repéré dans son nuage environnant cette planète naissante (la zone la plus lumineuse de l'image).

28 ans

C'est la durée pendant laquelle la reine des fourmis rouges conserve les spermatozoïdes reçus lors de son unique copulation, d'après Deborah Gordon (université Stanford, Etats-Unis). De quoi fertiliser ses œufs jusqu'à sa mort, et donner naissance à 150 000 fourmis. **E.A.**

LA VIE AURAIT ÉTÉ POSSIBLE SUR MARS

La planète rouge a gagné son statut de planète "habitable"! Car les échantillons récoltés par Curiosity sont formels: il a régné sur Mars des conditions propices à la vie. Reste à savoir si celle-ci a émergé...

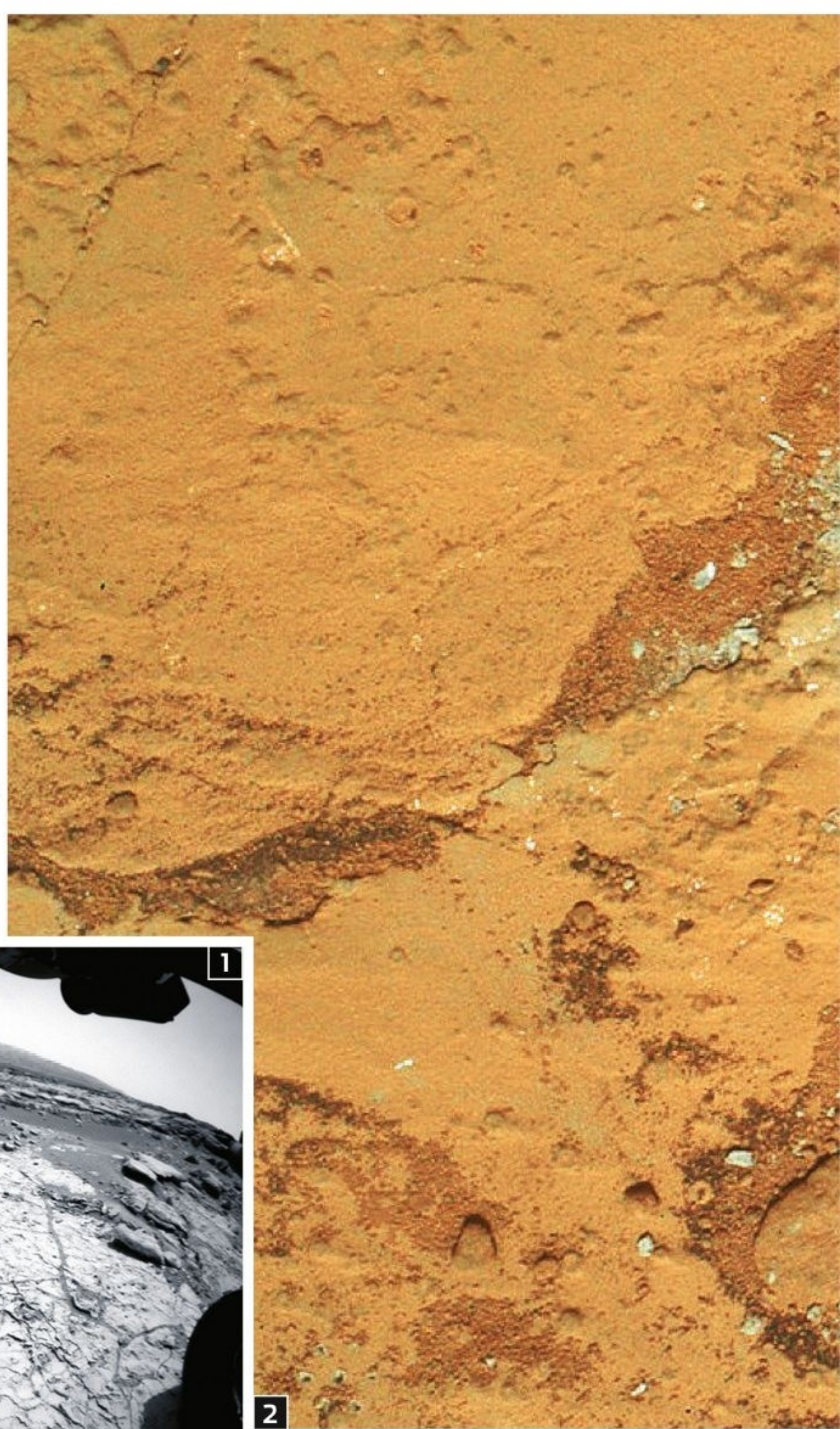
Pour la première fois, on a creusé dans le sol de Mars. Le 8 février dernier, le rover *Curiosity* perçait sa surface rocailleuse et en extrayait un précieux échantillon. Quelques semaines et moult analyses plus tard, la Nasa annonçait que la planète avait été habitable par le passé. Les conditions nécessaires à l'émergence de la vie semblent en effet avoir été réunies au même endroit au même moment... bien qu'on ne sache pas quand précisément, ni si elle a effectivement émergé.

UNE SORTE DE PARADIS...

Le robot a effectué le forage dans Yelloknife Bay, une zone à l'écart de son chemin vers le Mont Sharp, la montagne de 5 500 m, au centre du cratère Gale, qu'il doit atteindre cet été. Bonne pioche. Il y a découvert que, par le passé, les différents critères d'habitabilité y avaient été réunis: de l'eau liquide non acide et des couples oxydo-réducteurs pouvant servir au développement d'hypothétiques micro-organismes. Sous son écorce, la planète rouge est... grise.



Car l'élément fer passe de sa forme oxydée, l'hématite (d'où la couleur orange de la surface) à de la magnétite. "Contrairement à l'hématite, celle-ci peut servir de source d'énergie à des micro-organismes", explique Frances Westall, du Centre de biologie moléculaire d'Orléans. Elle pourrait aussi avoir été fabriquée par du vivant, bien qu'on n'en ait aucune preuve à l'heure actuelle. Dans les deux cas, sa présence est de bon augure quant à la possibilité



1 *Curiosity a creusé un trou de 2,5 cm de largeur sur 6,4 de profondeur dans le sol de Mars...*

2 *... révélant sous son écorce sanguine le gris de la magnétite, dont la présence signe l'habitabilité passée de la planète.*

qu'une vie ait pu s'y développer par le passé."

Mais d'autres éléments ont été mis en évidence: pyrite, calcium et phosphore, autant de composants dont la vie peut tirer parti. Enfin, l'échantillon confirmait la présence de 20 à 30 % de smectite. Une argile qui se forme dans l'eau non acide, contrairement à celle observée, à l'autre bout de la planète, par *Opportunity* en 2005. Or, l'acidité est un obstacle à la fabrication de molécules organiques complexes menant aux premières cellules vivantes.

Au final, selon la Nasa, Yelloknife Bay a été baignée par des



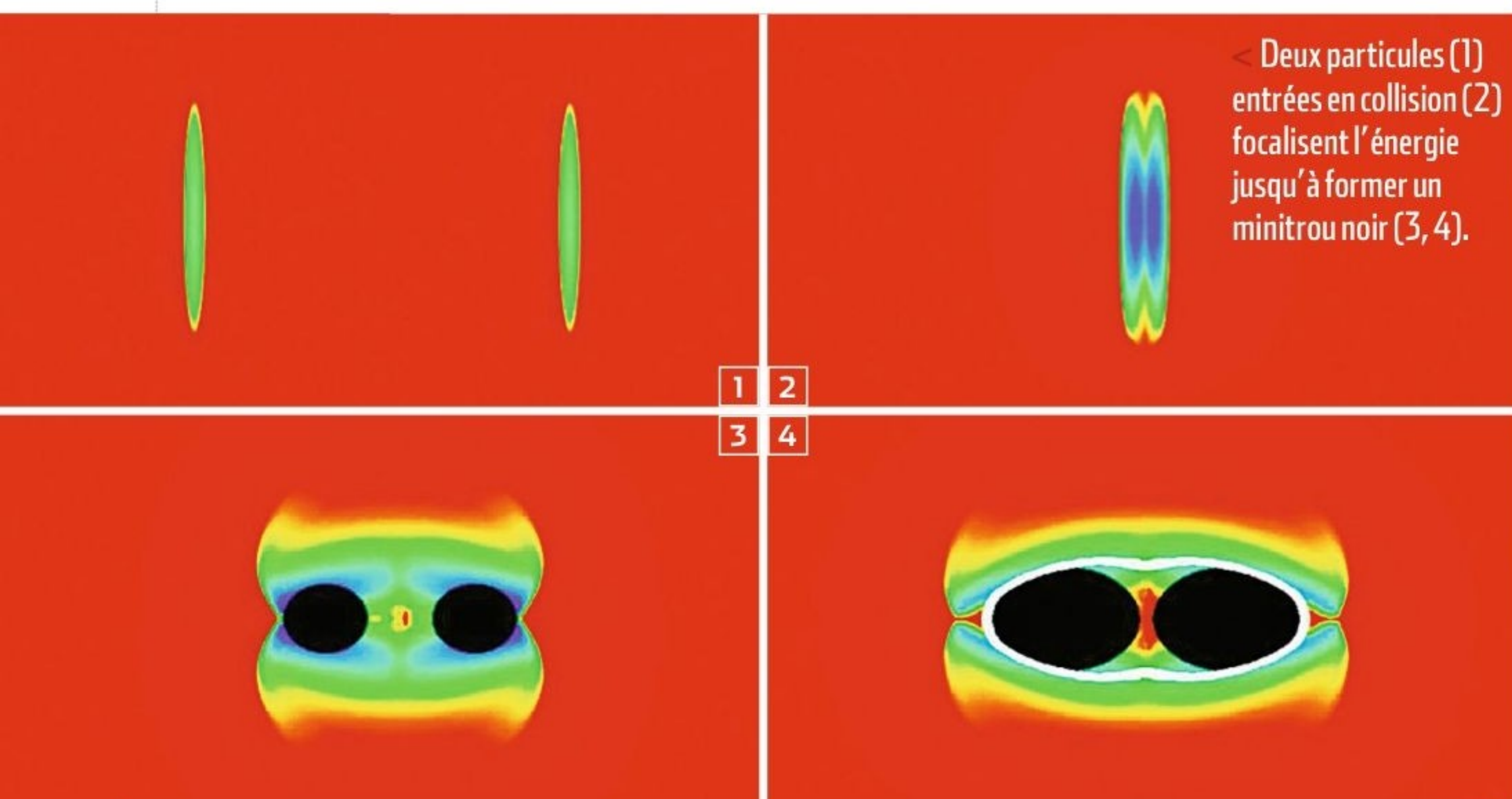
rivières d'eau relativement douce, dans lesquelles ont pu barboter des bactéries avant l'assèchement de Mars. Une sorte de paradis... Jean-Pierre Bibring, de l'Institut d'astrophysique spatiale, à Orsay, estime qu'outre l'exploit technique, il s'agit d'une bonne confirmation de ce que l'on attendait: *"On se doutait que tous ces éléments existaient dans le sol de Mars, mais on met pour la première fois réellement la main dessus."* A *Curiosity*, maintenant, de mettre la main sur d'anciennes traces de vie bactérienne... si celle-ci a jamais existé. **B.R.**

JARGON

Une planète est jugée **habitable** si elle peut abriter à sa surface un solvant que l'on sait indispensable aux réactions biochimiques sur Terre: **l'eau liquide**. Telle est la définition retenue par les exobiologistes, faute de pouvoir imaginer les organismes exotiques qui pourraient peupler les autres mondes.

DE LA DIFFICULTÉ DES RELATIONS À DISTANCE

Le 27 février dernier, *Curiosity* a basculé en mode veille. Un rayon cosmique aurait provoqué un bug dans un des deux ordinateurs de bord. Qu'importe, la mission continue sur l'ordinateur de secours, en attendant que les ingénieurs règlent le problème depuis la Terre. Oui, mais voilà que la mémoire de celui-ci subit à son tour un bug informatique! La sonde repart enfin le 26 mars... avant d'entrer en hibernation forcée le 4 avril. A cette date, en effet, le Soleil s'est glissé entre les planètes rouge et bleue, interrompant toute communication jusqu'au 1^{er} mai, jour de la reprise du travail pour *Curiosity*.



< Deux particules (1) entrées en collision (2) focalisent l'énergie jusqu'à former un minitrou noir (3, 4).

PHYSIQUE

FORMER UN MINITROU NOIR N'EXIGE PAS TANT D'ÉNERGIE

Si la collision entre deux particules concentre suffisamment d'énergie dans un volume minuscule, un "minitrou noir" peut, en principe, se former. Et d'après les simulations numériques réalisées par Frans Pretorius et William East, à l'université de Princeton (Etats-Unis), l'énergie nécessaire serait trois fois plus petite que prévu. Précisément, les deux physiciens

sont parvenus à résoudre les complexes équations d'Einstein non linéaires qui décrivent la collision. Verdict: après s'être traversées, les deux particules agissent comme des lentilles gravitationnelles, focalisant plus efficacement l'énergie que ne le laissent prévoir les estimations. Un trou noir peut alors se former à moindres frais. De quoi voir ressurgir la crainte qu'une

fois redémarré à une énergie double, en 2015, le LHC, l'accélérateur de particules du Cern, engendre des minitrous noirs? Pas exactement. Car selon toute vraisemblance, l'énergie typique de formation d'un trou noir dans une collision entre particules avoisine l'énergie de Planck, soit 10^{16} téraélectronvolts (TeV). Quand le LHC atteindra péniblement 14 TeV à plein régime...**M.G.**

ÉCOLOGIE

TROP DE MÂLES... ET LES RÔLES S'INVERSENT

Dans le monde animal, il est rare que les mâles s'occupent des petits. En étudiant des espèces d'oiseaux ayant adopté ce modèle familial, András Liker, de l'université anglaise de Sheffield, leur a découvert un point commun: un rapport entre les sexes déséquilibré. Les mâles, plus nombreux, trouvent difficilement l'âme sœur. Quand ils l'ont rencontrée, ils ont donc intérêt à veiller sur leur descendance. Tandis que les femelles, qui ont plus de choix, développent des caractères typiques des mâles: une taille supérieure et une mise en compétition pour les partenaires.

L.C.

COGNITION

Dès 7 mois, les bébés bilingues savent distinguer deux grammaires

Longueur des mots, hauteur des sons... Ces indices permettent, dès le plus jeune âge, aux enfants bercés par deux langues de structures grammaticales différentes, comme l'anglais et le japonais, de les distinguer. Dévoilée par Judith Gervain (université Paris-Descartes), cette stratégie d'apprentissage contraste avec celle des enfants n'ayant qu'une langue maternelle, qui, eux, s'appuient plutôt sur la répétition statistique de certains mots structurant les phrases.**L.P.-C.**

> La femelle rhynchée peinte, plus rare, a développé des traits typiques des mâles (taille supérieure et plumage plus coloré).



AMERICAN PHYSICAL SOCIETY - B. ROHRSCHEIDER/AGE FOTOSTOCK

LIBRE, PAR NATURE!



Jeep® Wrangler : l'aventure au quotidien.

Existe en 3 ou 5 portes - Moteur 2.8 CRD de 200 ch⁽¹⁾ avec Système Stop & Start™ (versions BVM diesel) - Transmission 4x4 débrayable avec boîte courte - ABS, ESP, antipatinage, système préventif antiretournement - Climatisation automatique - Régulateur de vitesse. Refusez les conventions et découvrez l'esprit de la liberté chez votre distributeur Jeep®.

GAMME JEEP® WRANGLER À PARTIR DE 29 200 €⁽²⁾.

JEEP® PARTENAIRE PREMIUM DES



GAMES
TIGNES

Jeep®

Modèle présenté Jeep® Wrangler Sahara 2,8 l CRD BVM6 avec option peinture métallisée : **35 000 €** TTC clés en main selon tarif du 01/12/2012.
(1) Consommations mini-maxi (l/100km) cycle urbain/extra-urbain/mixte Wrangler Sport (BVM6) : 8,3/6,5/7,1 - Wrangler Unlimited (BVA5) : 10,3/7,9/8,8.
Émissions de CO₂ : 187g/km (Wrangler Sport BVM6) - 230g/km (Wrangler Unlimited BVA5). (2) Prix clés en main conseillé du Wrangler Sport 2,8 l CRD selon tarif du 01/12/2012. I am Jeep® : « Je suis Jeep® ». Jeep® est une marque déposée de Chrysler Group LLC.

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



Suivez Jeep® sur la page facebook.com/JeepFrance



> L'observation de ce vortex emmêlé va permettre de mieux comprendre les mouvements de fluides.

PHYSIQUE

ILS ONT RÉUSSI À FAIRE UN NŒUD AVEC DE L'EAU!

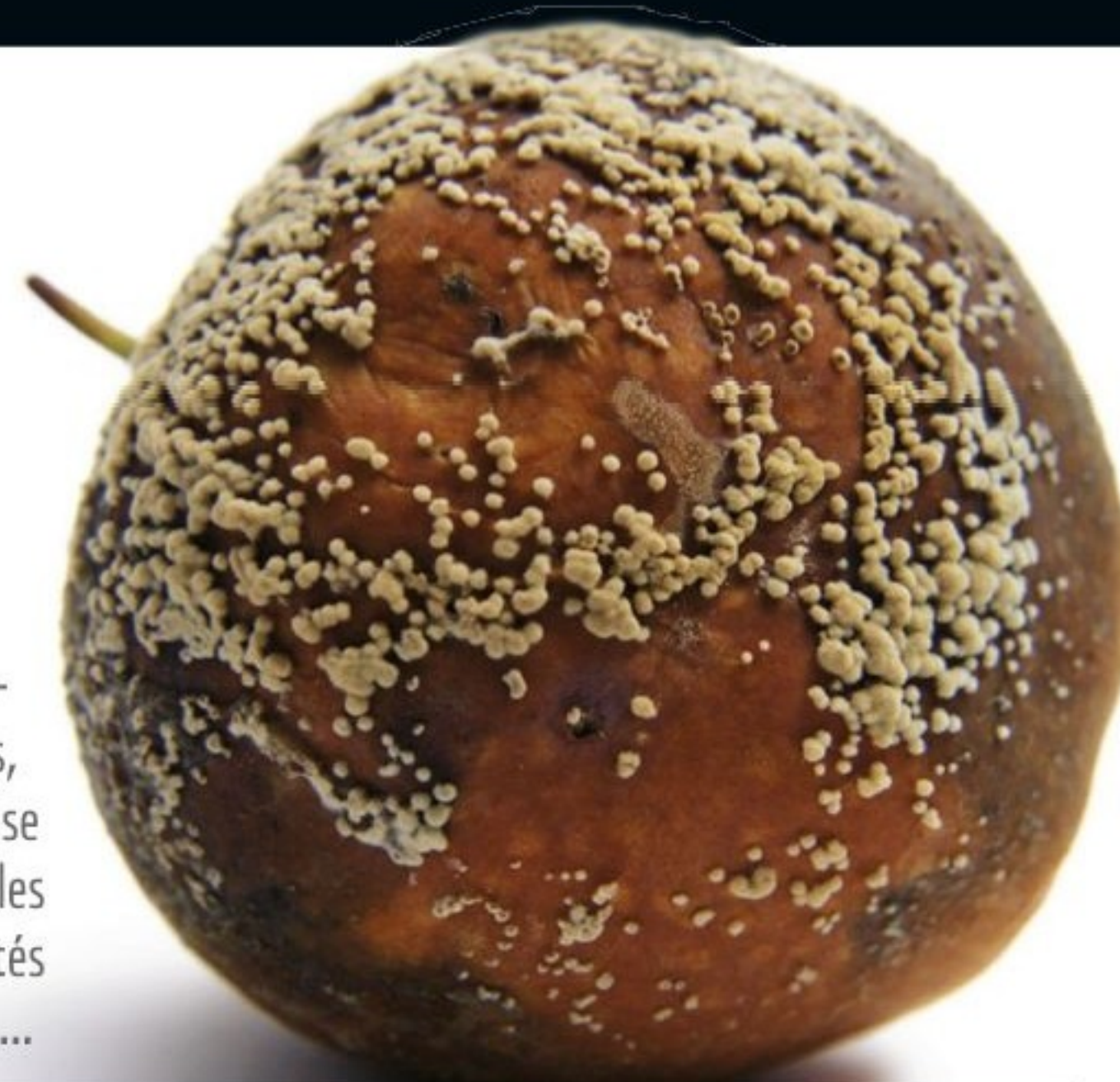
Le jet d'eau s'est engouffré brutalement dans l'orifice et un tourbillon s'est formé. Un simple vortex comme il en naît dans tous les lavabos... sauf que celui-ci, au lieu d'être sphérique, s'enroule sur lui-même jusqu'à former un nœud. Pour la première fois, William Irvine et Dustin Kleckner, physiciens à l'université de Chicago (Etats-Unis), sont parvenus à emmêler un tourbillon d'eau. "Ces vortex complexes, qu'on appelle anneaux tourbillonnaires, ont été prédits par la théorie il y a une centaine d'années; depuis, on n'a cessé d'essayer de les étudier expérimentalement, relate William Irvine. Car ces mouvements de fluides sont

au cœur de la physique de la turbulence. Si on parvient à les étudier, on comprendra les mouvements du plasma du Soleil, l'organisation des cristaux liquides, les faisceaux laser, les fluides quantiques..." Et les deux physiciens doivent cet exploit... à une simple imprimante 3D! Elle leur a en effet permis de façonner une hélice de polymère qu'ils ont submergée dans un bac d'eau rempli de minuscules bulles, vouées à rendre visibles les turbulences. En s'engouffrant dans l'hélice, l'eau s'est mise à tourbillonner, formant les structures tant attendues, dont les chercheurs commencent enfin à étudier la dynamique. **M.F.**

GÉNÉTIQUE

Les clones de clones de clones... se portent bien

Une souris clonée 25 fois de suite ! C'est l'exploit réalisé par l'équipe de Teruhiko Wakayama, du centre Riken pour la biologie du développement à Kobe (Japon). Les chercheurs ont obtenu plus de 500 souris fertiles, vivant une vie "normale". Ils ont donc résolu un problème majeur du clonage : l'accumulation de dégradations génétiques au fil des générations. Jusqu'à présent, les clonages de chats, cochons ou souris se limitaient à 6 générations, car rapidement les clones n'étaient plus viables. **R.B.**



> Il y a 10 millions d'années, notre ancêtre se mit à manger les fruits fermentés tombés au sol...

PALÉONTOLOGIE

ON A RETROUVÉ L'ORIGINE DU GOÛT POUR L'ALCOOL

Notre capacité à consommer de l'alcool serait apparue il y a 10 millions d'années, chez un ancêtre commun aux chimpanzés, aux gorilles et aux humains. Telle est la conclusion de l'étude de Steven Benner (Foundation for applied molecular evolution, Etats-Unis), qui est parvenu à retracer chez les primates l'origine et l'évolution de l'ADH4, une enzyme capable de dégrader l'éthanol, présente dans l'œsophage, l'estomac et l'intestin. Initialement inapte à cette tâche, cette enzyme aurait évolué à partir du moment où un lointain ancêtre, quittant les arbres, se mit à consommer les fruits fermentés (et donc alcoolisés!) tombés au sol. **J.G.**



INTENSE
EXTRÊME
ULTIME
PUISSANT
EXPÉRIENCE
FASCINANT
RAFFINÉ
FORCE 12

OSEZ LA PUISSANCE ULTIME...



L'OR
ESPRESSO

PALÉONTOLOGIE

LES OISEAUX ONT D'ABORD ÉTÉ DOTÉS DE QUATRE AILES

Les oiseaux, c'est bien connu, ont deux ailes... mais les plus anciens d'entre eux en auraient eu quatre ! Onze spécimens d'oiseaux primitifs avec de belles plumes sur les pattes arrière viennent en effet d'être révélés par l'équipe chinoise de Xiaoting Zheng et Xing Xu, de l'Institut de géologie et de paléontologie de Linyi. Si l'on savait que certains dinosaures possédaient de grandes plumes sur leurs membres

antérieurs et postérieurs, c'est la première fois qu'un plan corporel à quatre ailes est décrit chez les volatiles ! Ces fossiles, originaires de la province du Liaoning, dans le nord-ouest de la Chine, sont datés de 100 à 150 millions d'années, une période qui correspond à l'évolution d'un groupe de dinosaures à plume en oiseaux. Ils démontrent ainsi que les pattes postérieures des premiers oiseaux auraient d'abord

été pourvues de plumes, puis que ce caractère aurait progressivement disparu, à mesure que les oiseaux utilisaient davantage ces pattes pour leurs déplacements terrestres. Reste à déterminer à quoi pouvait servir cette seconde paire d'ailes désormais perdue. Les auteurs de l'étude suggèrent qu'elle aidait l'oiseau à se stabiliser, en augmentant sa portance. A ce jour, rien ne prouve qu'elle servait à voler. **R.B.**

▲ Ce fossile de *Microaptor* de 130 millions d'années, retrouvé en Chine, présente des traces de plumes sur ses pattes arrière.

BIOLOGIE

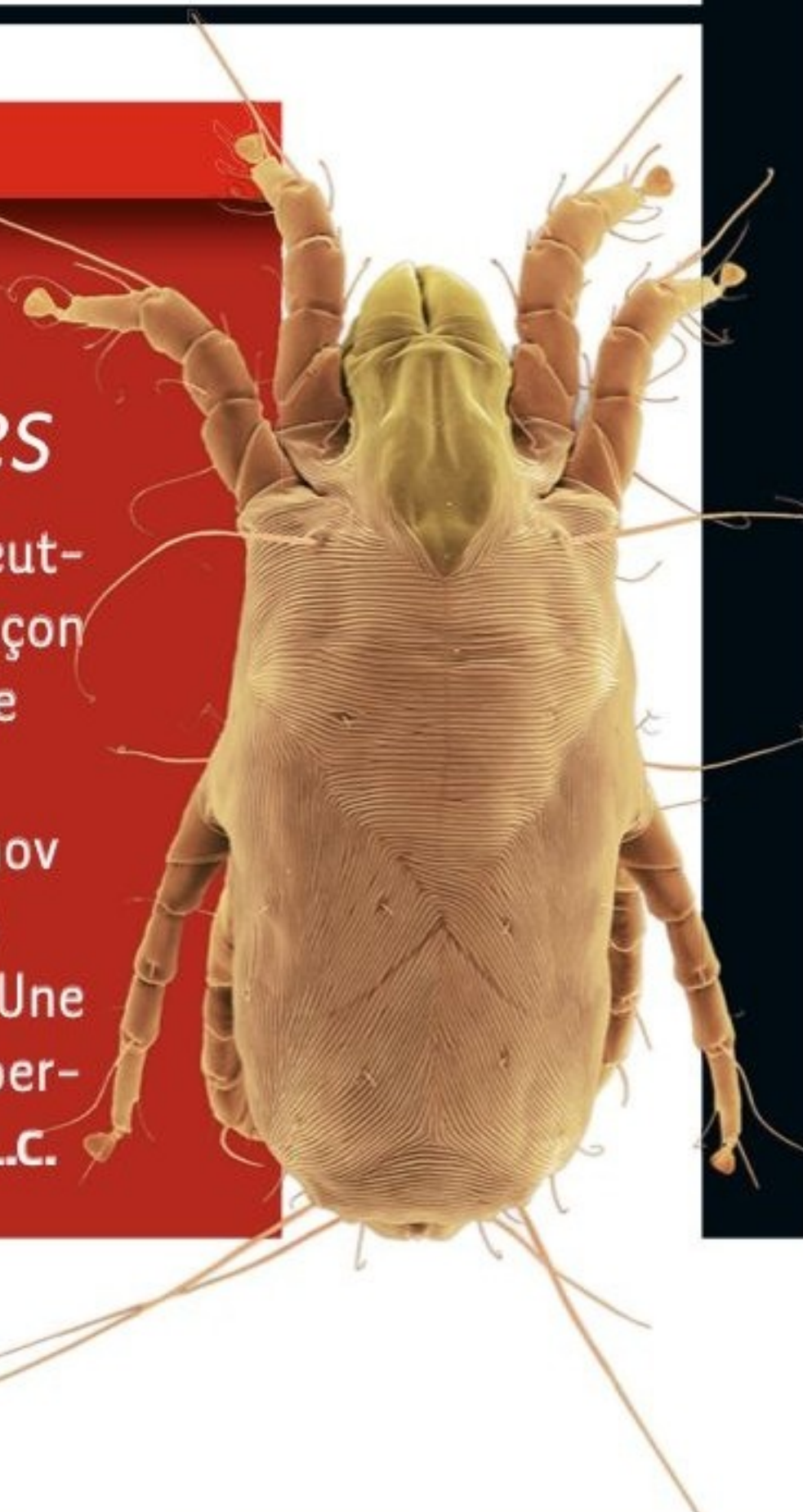
LA TAILLE SUIT UNE LOI UNIVERSELLE

Connaître la taille moyenne des individus d'une espèce suffirait pour déterminer les proportions de petits, de moyens et de grands qui la constituent. Car cette distribution serait la même pour tous, selon Andrea Giometto, de l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (Suisse). Le biologiste a observé cette règle sur treize espèces de micro-organismes aquatiques, dont certains étaient jusqu'à mille fois plus gros que les autres. Cela suggère, selon l'auteur, l'existence d'un mécanisme physiologique, simple et universel, qui contraint la taille des organismes. **E.L.**

GÉNÉTIQUE

Les acariens ont recouvré la liberté perdue par leurs ancêtres

Un parasite qui a perdu la faculté de vivre sans son hôte peut-il avoir des descendants capables de vivre à nouveau de façon indépendante ? D'après la loi énoncée par le paléontologue Louis Dollo au XIX^e siècle, la réponse est non. Pourtant, en analysant le génome des acariens domestiques, Pavel Klimov (université du Michigan, États-Unis) a découvert que leurs ancêtres étaient des parasites de vertébrés à sang chaud. Une spécialisation qui se serait perdue au fil des générations, permettant aux acariens de coloniser de nouveaux habitats. **L.C.**



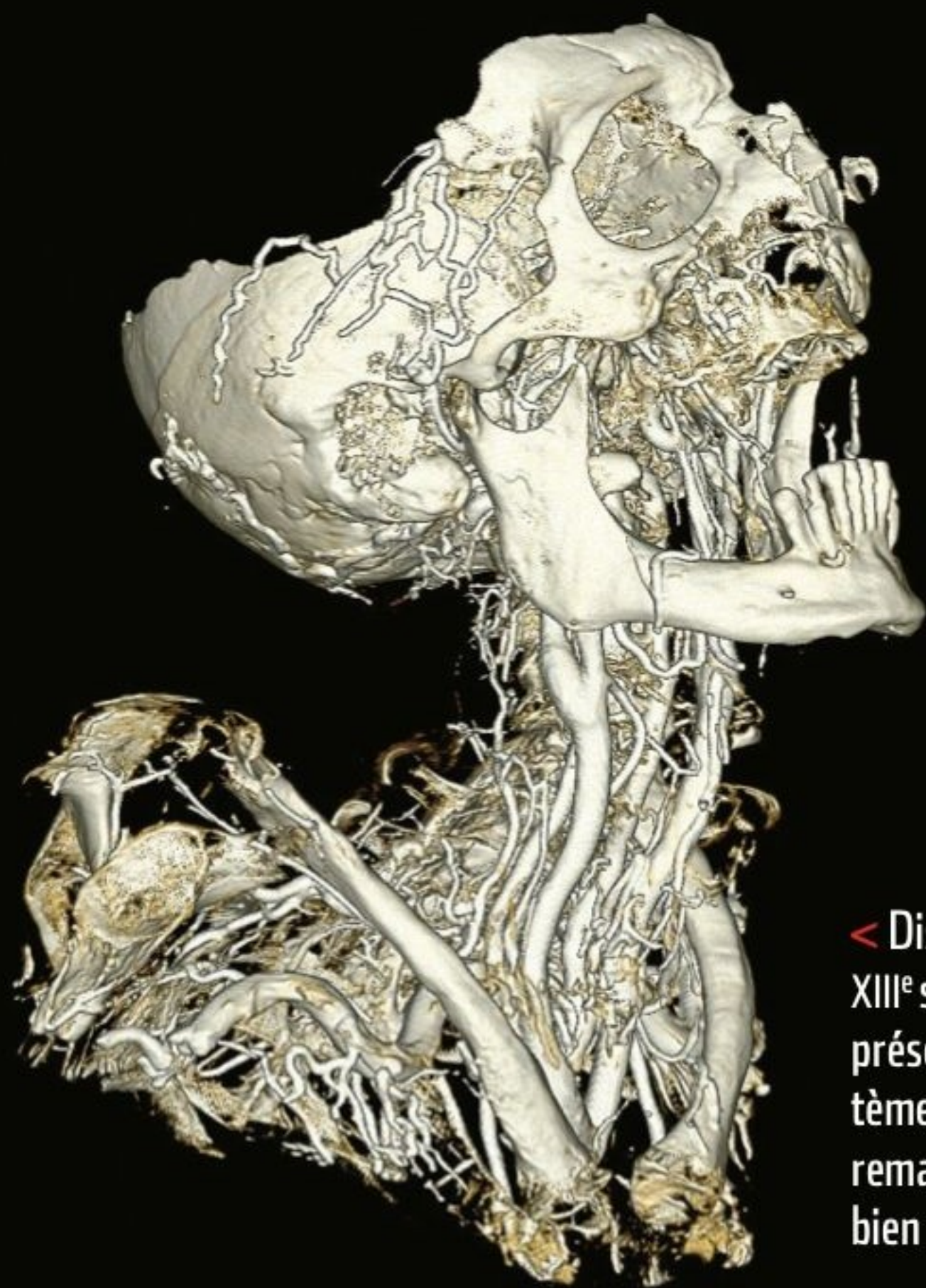
L'OR
ESPRESSO



ONYX NOIR
OSEZ LA PUISSANCE ULTIME

FORCE
12





< Disséqué au XIII^e siècle, ce buste présente un système vasculaire remarquablement bien conservé.

ARCHÉOLOGIE

AU MOYEN ÂGE, ON PRATIQUAIT DÉJÀ L'AUTOPSIE

C'est l'anonyme le plus célèbre du XIII^e siècle... Un homme roux, de type caucasien, dont on ne sait rien sinon que sitôt trépassé, il a été disséqué et "momifié" avec assez de savoir-faire pour que son buste brunâtre, délesté de son cerveau, arrive jusqu'à nous. Pour Philippe Charlier, de l'hôpital Raymond-Poincaré de Garches, qui a étudié ce vestige unique, voilà qui balaye la réputation d'obscurantisme scientifique du Moyen Âge ! Le chercheur a eu recours à un large panel d'analyses, à la spectrométrie de masse et au carbone 14 afin de faire parler cette fascinante "pièce anat-

mique". Et les surprises n'ont pas manqué, à commencer par la datation : le buste aurait été réalisé entre 1200 et 1280, soit trois siècles plus tôt qu'attendu. Surtout, le scanner a révélé l'injection *post mortem* d'un mélange de cire d'abeille, de plomb, de chaux et de cinabre dans le système vasculaire, ce qui l'a rendu plus visible – et qui aurait aussi pu contribuer à la préservation du buste, en plus d'une fumigation. Cette réalisation, qui implique une longue expérience, a pu servir à l'enseignement comme à des expérimentations, et renouvelle aujourd'hui nos connaissances sur les savoirs médicaux médiévaux. **E.R.**

NEUROSCIENCES

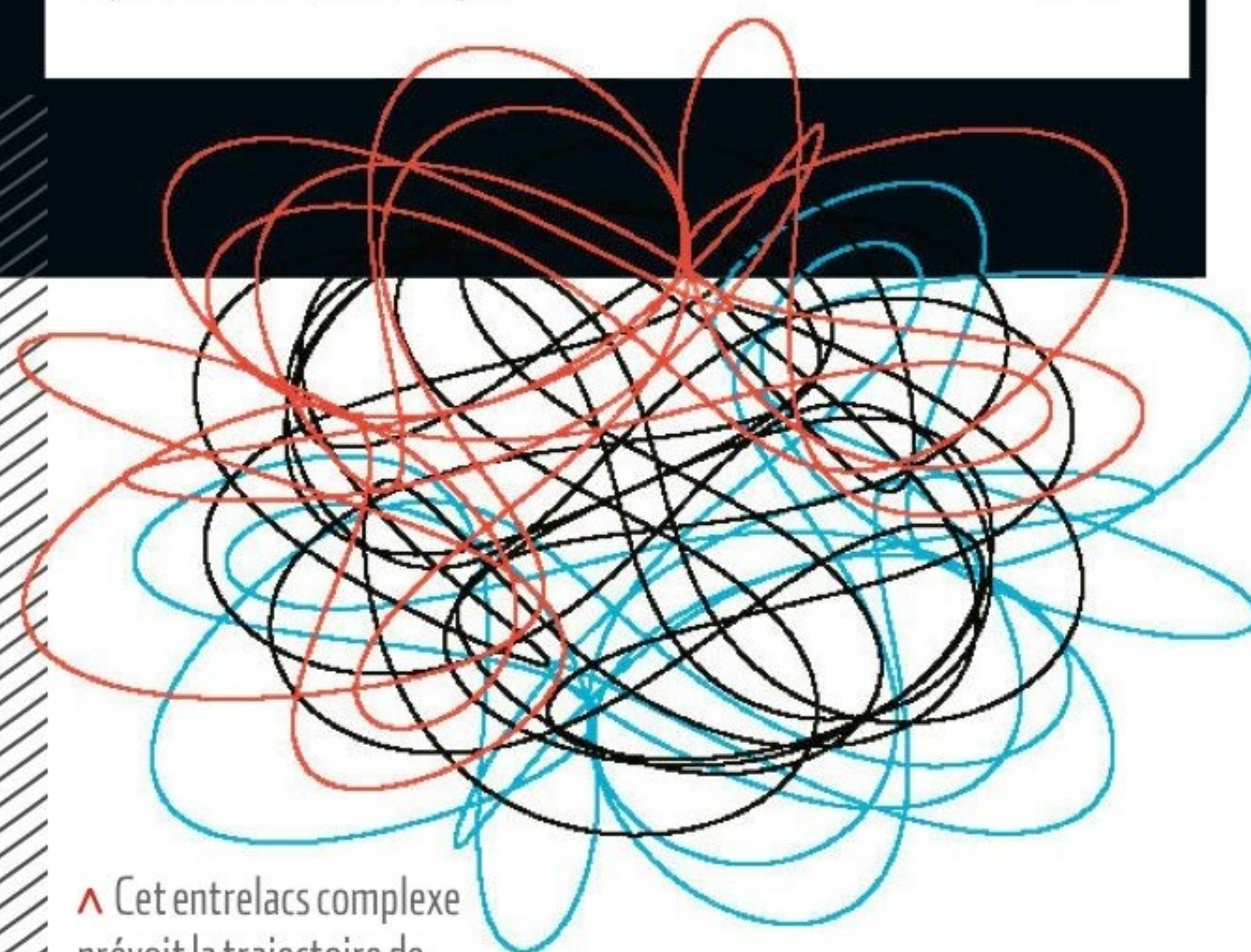
Quand le cerveau lâche prise, la créativité est stimulée

La fibre artistique est une question de flexibilité mentale. C'est ce qu'avance Evangelia Chrysikou, de l'université de Pennsylvanie (États-Unis). Chez des volontaires, le cortex préfrontal gauche, siège du contrôle mental qui filtre les pensées inutiles, a été inactivé le temps d'une tâche créative. Résultat : les cobayes ont fait preuve de plus de créativité, trouvant plus vite des utilisations inhabituelles à des objets ordinaires. **J.G.**

PHYSIQUE

CE DESSIN EST UNE SOLUTION AU PROBLÈME DES TROIS CORPS

Si l'on sait depuis Newton décrire la trajectoire de deux corps liés par attraction gravitationnelle, résoudre le problème lorsqu'il y a trois objets en mouvement reste un casse-tête. Milovan Šuvakov et Veljko Dmitrašinovic, de l'Institut de physique de Belgrade (Serbie), viennent néanmoins de découvrir treize nouvelles solutions, qui s'ajoutent aux trois déjà connues. Formant de complexes entrelacs de trajectoires, ces solutions s'appliquent au cas particulier de trois corps ayant la même masse – elles pourraient ainsi correspondre au cas d'un système stellaire triple. **M.G.**



▲ Cet entrelacs complexe prévoit la trajectoire de trois étoiles qui orbitent les unes autour des autres.

Nous créons de la chimie qui donne envie aux moustiques de s'enfuir.



Dans des villages où le paludisme représente une menace mortelle, nous fournissons des moustiquaires Interceptor® qui arrêtent les moustiques et protègent les enfants. Mais ces moustiquaires font plus que sauver des vies. Une forte diminution de la contamination permet de reprendre des activités quotidiennes comme le jeu ou l'école. Une population en bonne santé et mieux éduquée joue un rôle clé dans la lutte contre la pauvreté. Quand des moustiquaires aident la population à prospérer, c'est parce que, chez BASF, nous créons de la chimie.

www.wecreatechemistry.com

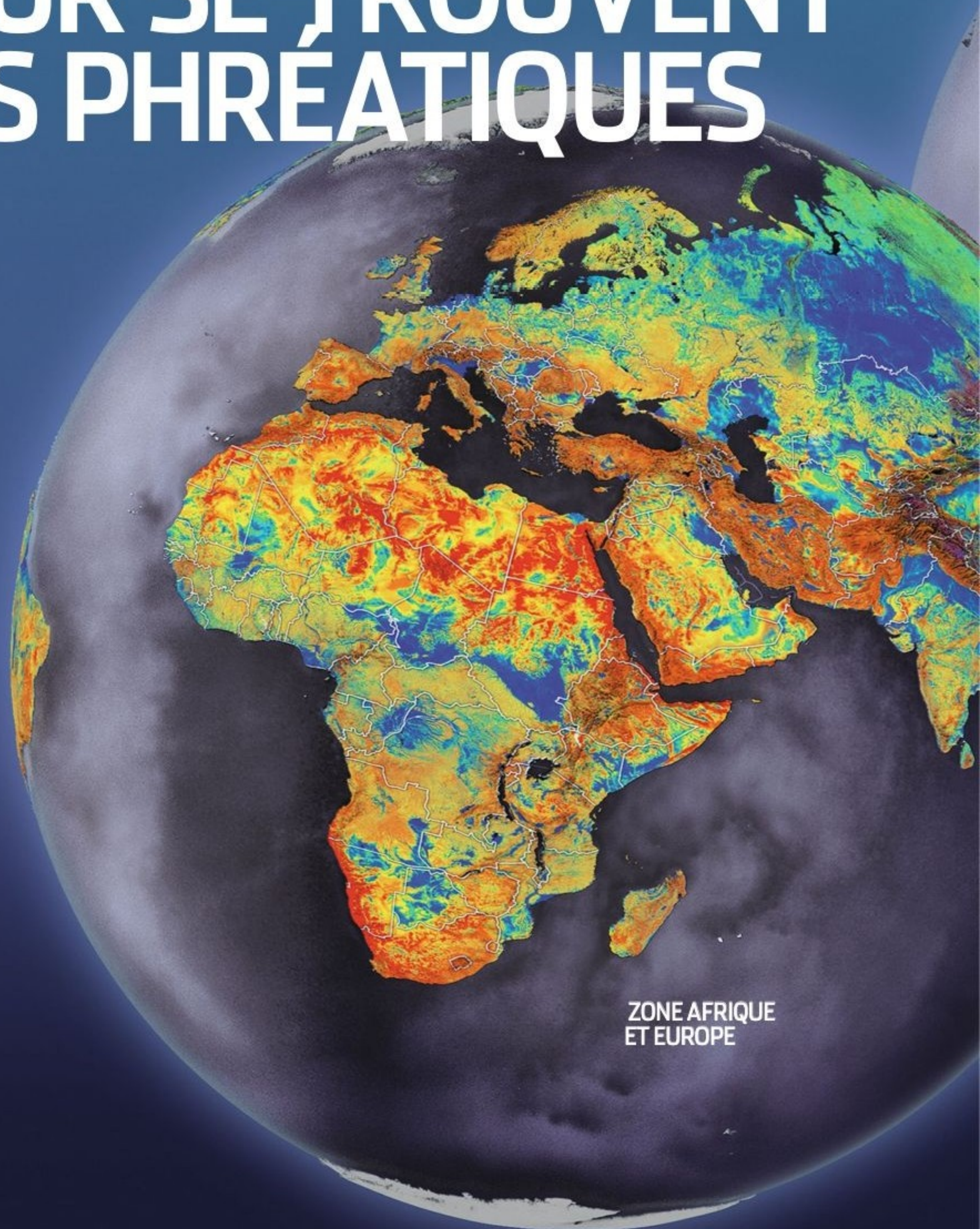
 **BASF**

The Chemical Company

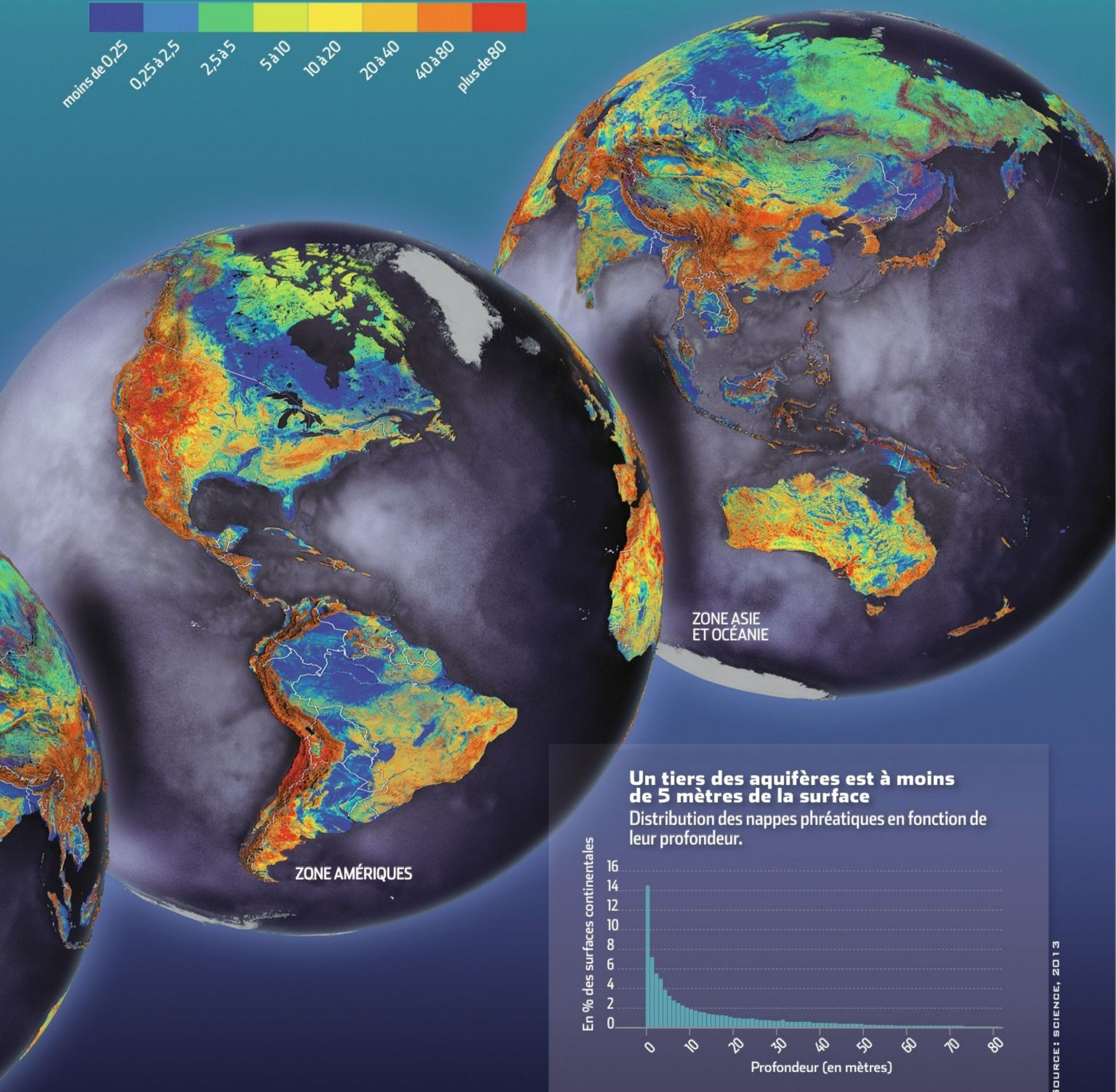
HYDROLOGIE

ON SAIT À QUELLE PROFONDEUR SE TROUVENT LES NAPPES PHRÉATIQUES

Creuser quelques décimètres ici, des dizaines de mètres là : accéder à l'eau du sous-sol ne demande pas le même effort selon l'endroit où l'on se trouve. C'est ce qui ressort d'une carte inédite, qui détaille la profondeur des nappes phréatiques. Réalisée par Ying Fan, de l'université Rutgers, aux Etats-Unis, elle montre que pour près d'un tiers des surfaces continentales les eaux souterraines sont à moins de 5 m de profondeur, voire à moins de 25 cm (dans les zones humides d'Europe du Nord ou d'Amazonie). Et même dans les vallées arides du sud des Etats-Unis ! Ces nappes phréatiques sont bien plus profondes le long de la Cordillère des Andes, dans le nord de l'Afrique, et le sud de l'Europe, au climat méditerranéen. Problème : les nappes superficielles, qui alimentent les lacs et rivières ainsi que les zones humides, sont intensément exploitées par l'homme. *"Leur niveau baisse dans de nombreuses régions du monde où l'eau souterraine est pompée pour irriguer les cultures, en particulier dans les zones arides et semi-arides, s'exclame Ying Fan. Nous devons accorder plus d'attention aux eaux souterraines et aux écosystèmes qui en dépendent."* J.G.

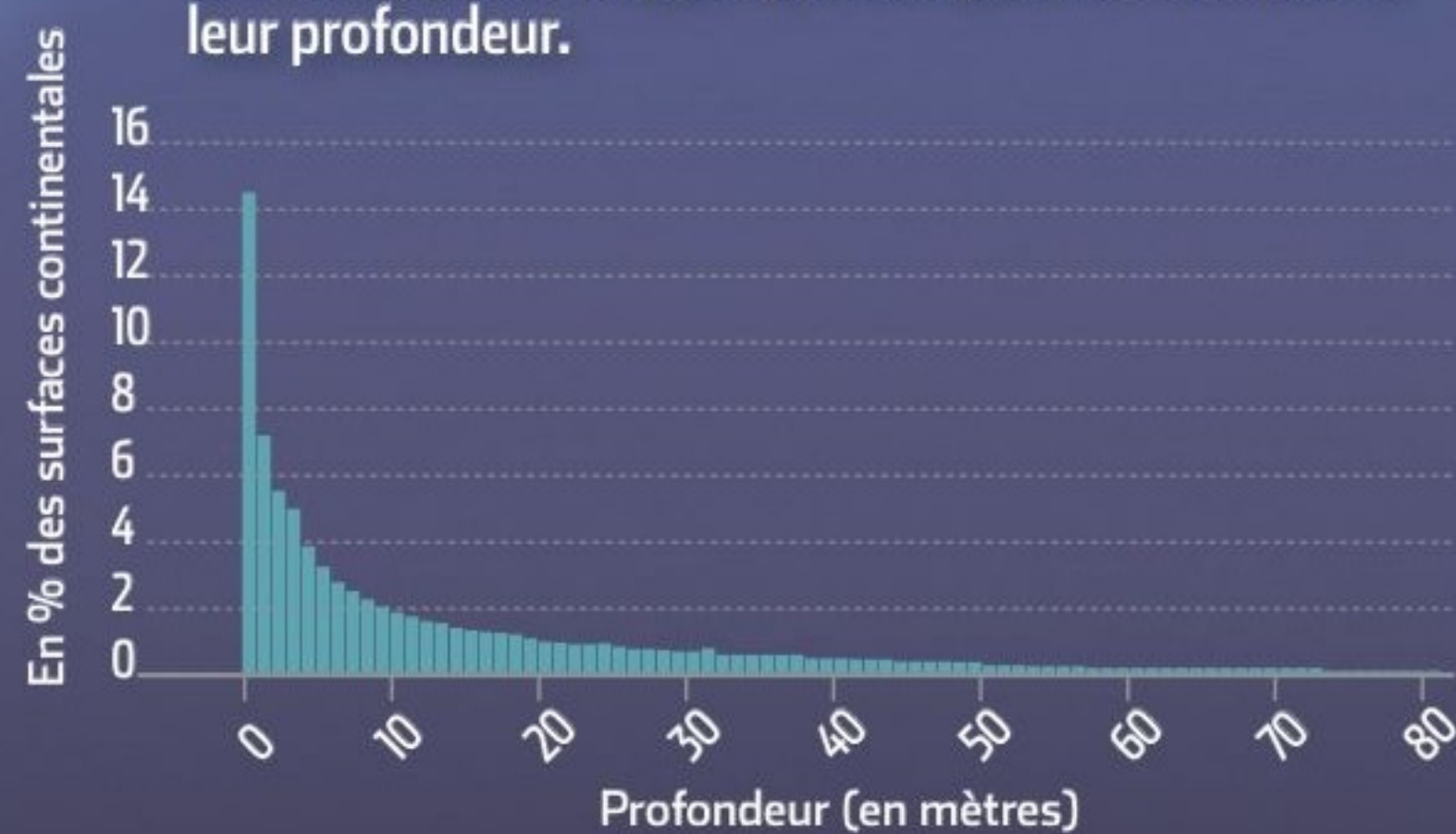


Profondeur des réserves d'eau (en mètres)



Un tiers des aquifères est à moins de 5 mètres de la surface

Distribution des nappes phréatiques en fonction de leur profondeur.



SOURCE: SCIENCE, 2013

30 % de l'eau douce de la planète est contenue dans les aquifères souterrains.

2 milliards de personnes à travers le monde dépendent des eaux souterraines.

60 % de l'eau utilisée en France provient des nappes phréatiques.

CLIMATOLOGIE

LA PLANÈTE EST REFROIDIE PAR LES PETITS VOLCANS

Au cours de la dernière décennie, les éruptions volcaniques ont contré un quart du réchauffement qu'auraient dû provoquer les émissions de gaz à effet de serre. C'est ce que vient de démontrer Ryan Neely, de l'université du Colorado (Etats-Unis). Au départ, un constat: les concentrations de fines particules en suspension dans la stratosphère, entre 20 et 30 km d'altitude, ont augmenté de 4 à 10 % par an de 2000 à 2010. Or, ces aérosols renvoient la lumière du soleil vers l'espace, ce qui leur confère un pouvoir de refroidissement climatique. Leur origine est multiple: émissions de dioxyde de soufre par les industries

(les centrales au charbon, en particulier), par les volcans ou les feux de forêt. A partir de simulations numériques, Ryan Neely est parvenu à identifier de modestes éruptions volcaniques de la zone tropicale comme en étant la principale source. Contrairement à ce que l'on pensait, l'impact de la pollution se révèle donc secondaire. *"Une surprise, vu l'énorme croissance des émissions de dioxyde de soufre de la Chine et de l'Inde au cours de cette décennie"*, indique Ryan Neely. Le chercheur avance une explication possible: *"Les aérosols d'origine humaine, plus gros, retombent plus vite que les petites particules produites par les volcans."* V.E.



> En formant un bouclier contre les rayons du soleil, les fines particules émises lors des éruptions freinent le réchauffement.

100 millions

C'est le nombre de requins tués chaque année, selon Boris Worm (université Dalhousie, Canada): 6 à 8 % des populations de squales finiraient dans les filets des pêcheurs. Or, leur taux de renouvellement ne serait que de 5 % par an, d'où leur déclin. Désormais, la Convention sur le commerce international des espèces menacées d'extinction protégera cinq espèces supplémentaires de requins. L.C.

ÉNERGIE

Le potentiel des grands parcs éoliens est surestimé

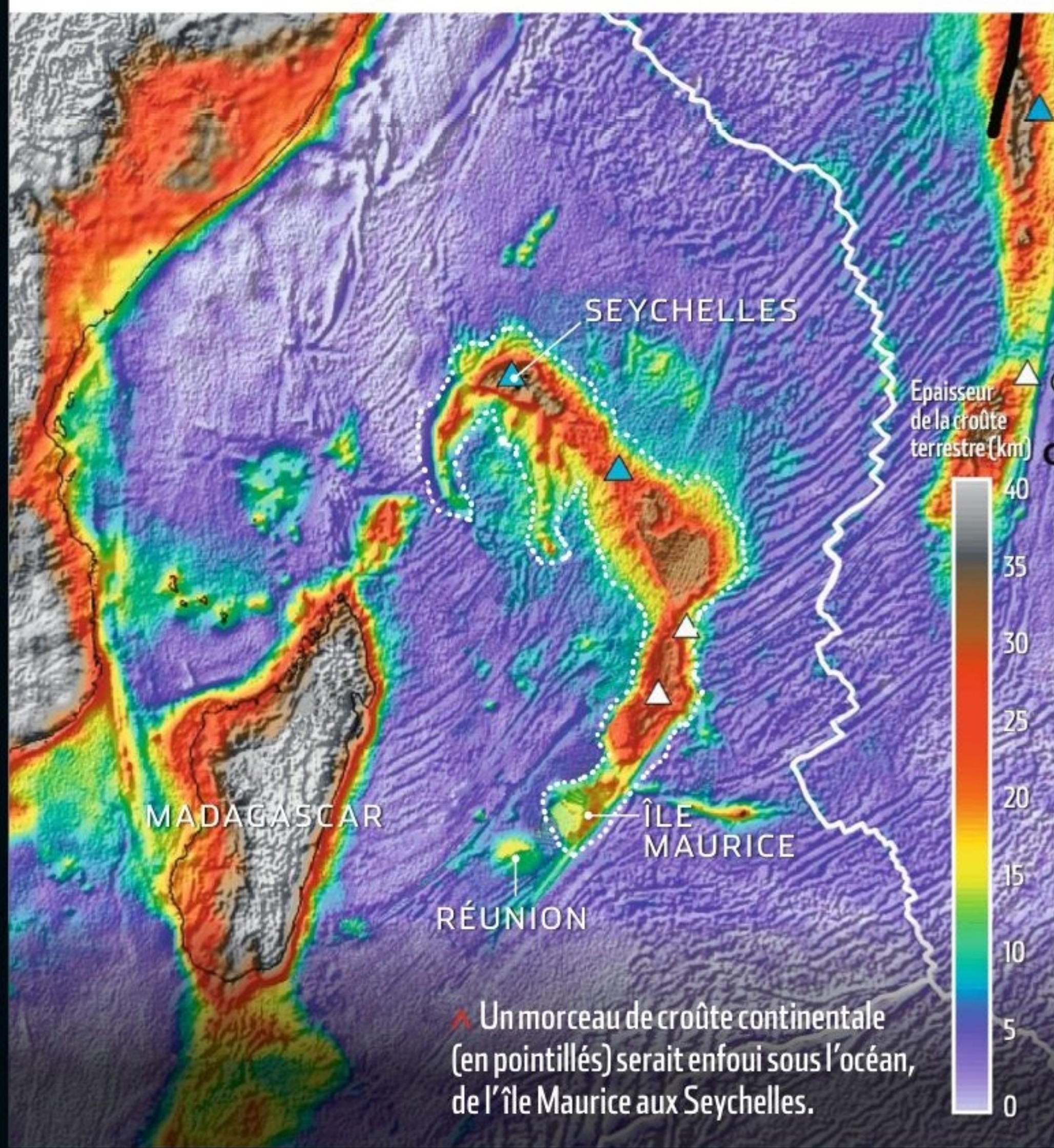
Un watt par mètre carré: telle serait la vraie capacité globale de production des grandes fermes éoliennes, selon Amanda Adams (université de Caroline du Nord, États-Unis). Soit deux à quatre fois moins que d'après les précédentes estimations. La différence? La prise en compte dans ce nouveau calcul des turbulences créées à l'arrière des éoliennes. Celles-ci ralentissent les vents sur quelques centaines de mètres autour de la turbine, et affectent aussi la production d'énergie éolienne des parcs voisins. E.H.



GÉOLOGIE

AU FOND DE L'Océan INDIEN REPOSERAIT UN VIEUX CONTINENT

Mauritia. C'est le nom donné au continent que Trond Torsvik (université d'Oslo, Norvège) et son équipe viennent de découvrir... sous le plancher de l'océan Indien ! Ce qui a permis de le déceler ? L'étonnante présence de minéraux âgés de près de 2 milliards d'années sur les plages de l'île Maurice, alors que cette île volcanique s'est formée il y a quelques millions d'années seulement. Pour les géologues, un morceau de croûte continentale gît sous l'île, et a été ponctionné lors de la remontée du magma vers la surface. Ce fragment, qui s'étalerait de l'île Maurice aux Seychelles, aurait commencé à se détacher de Madagascar il y a plus de 80 millions d'années. *"Il était d'abord attaché à l'Inde, dont il s'est séparé avant de finir au milieu de l'océan Indien"*, explique Bernhard Stienberg, de l'université d'Oslo. Etiré et aminci, Mauritia aurait ensuite été recouvert par les laves liées à l'intense activité volcanique de la région, puis submergé sous les vagues. Plusieurs autres fragments pourraient encore être mis au jour. Cette découverte soulève cependant quelques doutes. *"On a déjà retrouvé des minéraux très anciens dans des roches très jeunes, sans pour autant parler de continent caché"*, conteste Guilhem Barruol, de l'université de la Réunion. D'autres travaux sont attendus pour valider l'existence de ce microcontinent disparu. **C.L.**





★ Alors qu'on s'inquiète du déclin des abeilles domestiques, la pollinisation repose surtout sur les insectes sauvages, aussi menacés.

AGRICULTURE

L'ABEILLE SAUVAGE EST VITALE POUR LES CULTURES

Miser sur les abeilles domestiques pour produire melons, amandes ou café est un mauvais calcul. D'après les résultats d'une étude internationale, leur participation à la pollinisation des plantes serait en effet marginale par rapport à celle des abeilles, papillons, mouches et autres pollinisateurs sauvages. Les scientifiques ont observé 600 champs dans le monde, cultivés selon 41 systèmes différents, de la monoculture intensive à l'agriculture traditionnelle. Résultat: le travail des pollinisateurs sauvages y apparaît essentiel. Plus ils visitent les plants, plus les graines ou les fruits sont abondants. A l'inverse,

l'augmentation des visites d'abeilles domestiques n'améliore la fructification que dans 14 % des systèmes d'exploitation. Et avec deux fois moins d'efficacité! Pourtant, jusqu'à présent, les agronomes se sont surtout inquiétés du déclin des populations de ces abeilles domestiques, lié à l'usage des pesticides, à la culture intensive ou à des virus. Or, certaines études attestent que les pollinisateurs sauvages connaissent un déclin au moins aussi massif. Ils souffriraient en plus de la disparition des zones boisées où ils nichent, ou des floraisons de plus en plus précoces dues au changement climatique. **A.D.**

DE LA VIE A FOISON DANS LES ABYSSES

Dans la fosse des Mariannes (Pacifique), Challenger Deep, le point le plus profond de la planète (- 10 898 m) abrite une activité microbienne deux fois plus intense qu'à des profondeurs moindres. La matière organique qui s'y accumule permettrait aux microbes de survivre dans ce milieu extrême. **L.C.**

DES HIVERS BORÉAUX MOINS RUDES

Les écarts entre les températures estivales et hivernales diminuent en Arctique. Le climat y est désormais similaire à celui qui régnait, voici trente ans, de 400 à 700 km plus au Sud. A ce rythme, en 2091, le nord de la Suède pourrait ressembler à l'actuel sud de la France... **L.C.**

MARÉES ROUGES TOXIQUES

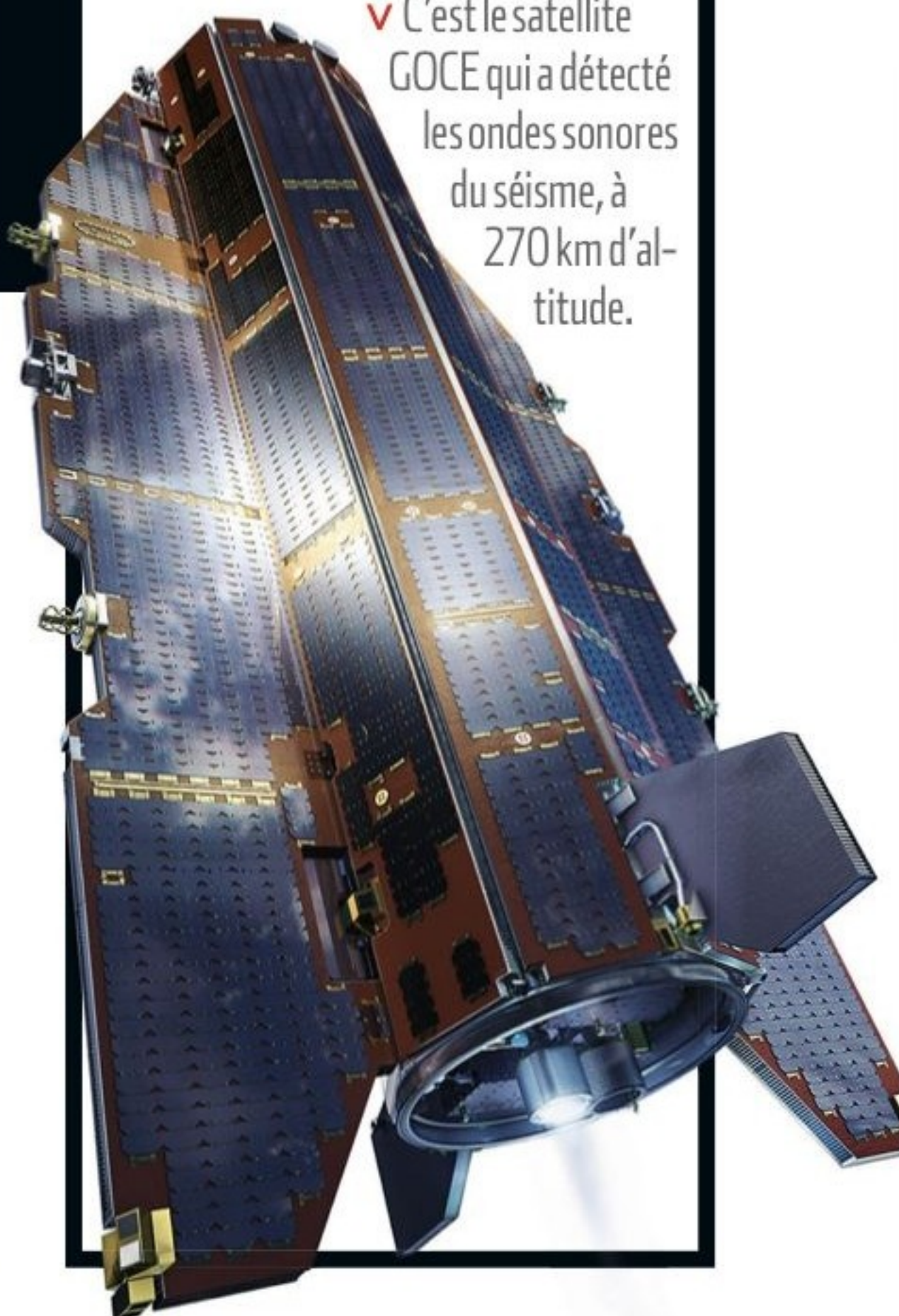
Le phosphate et l'azote sont des nutriments essentiels au développement de l'algue *Karenia brevis*, responsable des marées rouges sur les côtes de Floride. Mais, ironie du sort, c'est lorsque le phosphate manque que l'algue devient jusqu'à sept fois plus toxique. Avec des conséquences parfois graves pour la santé humaine. **C.H.**

GÉOPHYSIQUE

LE SÉISME DE 2011 AU JAPON A ÉTÉ RESENTI JUSQUE DANS L'ESPACE

Le puissant tremblement de terre qui a touché le Japon le 11 mars 2011 a même secoué un satellite en orbite autour de la Terre, affirme Raphaël Garcia, de l'Observatoire Midi-Pyrénées. De magnitude 9, le séisme a fait vibrer la surface terrestre, engendrant des ondes sonores qui se sont propagées dans l'atmosphère. A 270 km d'altitude, le satellite GOCE, dont les accéléromètres détectent le moindre mouvement vertical, à la manière d'un sismographe, a été ballotté tel un bouchon à la surface d'une eau agitée. Cette observation devrait permettre de mieux comprendre les relations entre la Terre solide et l'atmosphère gazeuse. **S.F.**

▼ C'est le satellite GOCE qui a détecté les ondes sonores du séisme, à 270 km d'altitude.



Découvrez la nouvelle tablette
Samsung **GALAXY Note**
8.0

Prête à emporter!



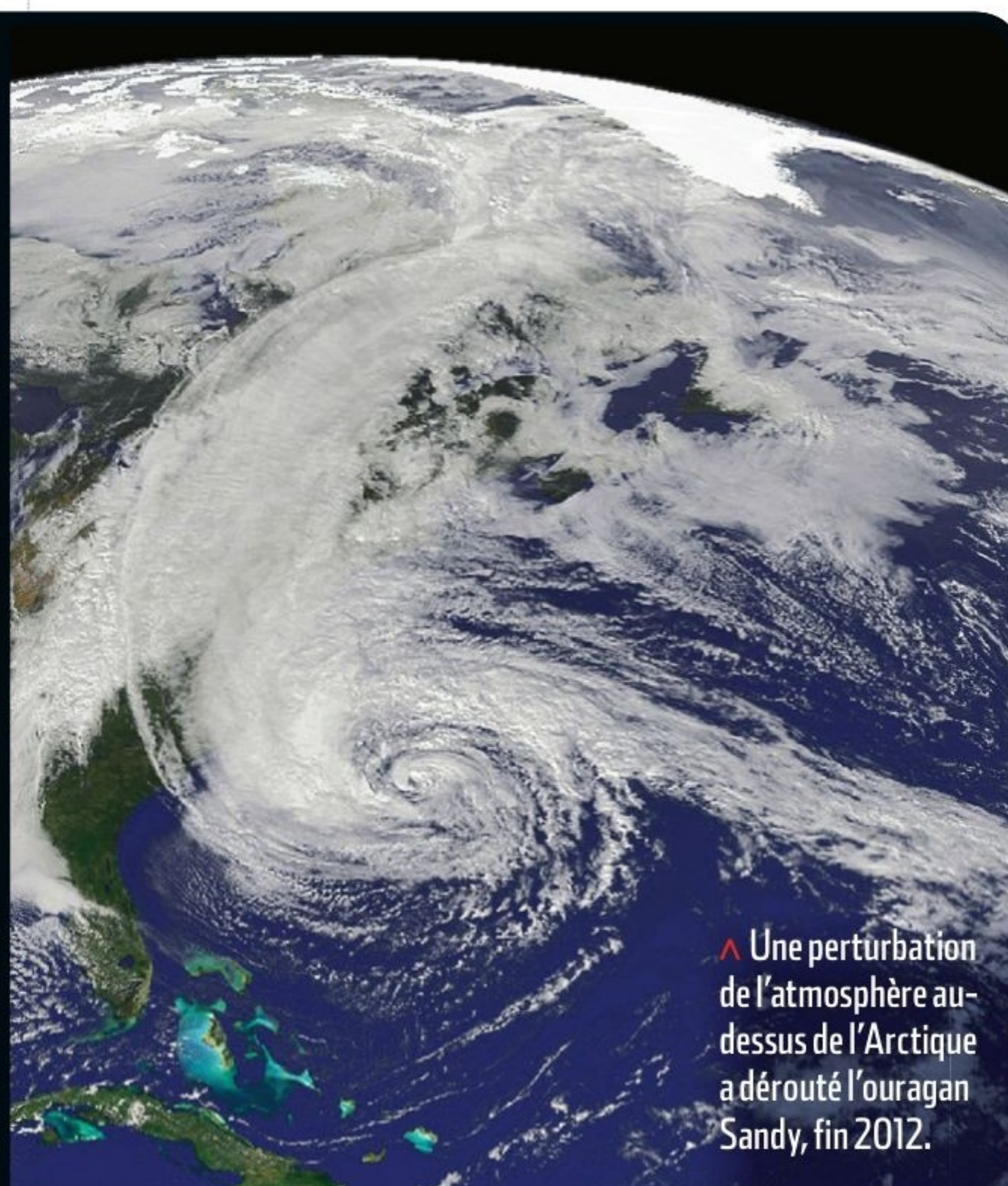
UNE FONCTION MULTITÂCHE INNOVANTE

Avec son écran 8 pouces et ses performances multimédia, il devient possible de lire, regarder des vidéos, prendre des notes, surfer, communiquer et même créer, le tout en mobilité.

La tablette Samsung Galaxy Note 8.0 allie puissance et innovations technologiques et offre de nouvelles possibilités de multitâche grâce à la fonction partage d'écran qui permet de gérer deux applications en même temps.



www.samsung.com/fr/galaxynote8



▲ Une perturbation de l'atmosphère au-dessus de l'Arctique a dérouté l'ouragan Sandy, fin 2012.

MÉTÉOROLOGIE

LA FONTE DES GLACES INFLUENCE LES OURAGANS

Si l'ouragan Sandy a violemment frappé New York en octobre 2012, c'est à cause du recul de la glace de mer en Arctique. Telle est l'hypothèse défendue par Charles Greene, de l'université Cornell (Etats-Unis). Contrairement à la plupart des cyclones touchant les Antilles, qui remontent vers le nord en longeant la côte Est américaine et n'atteignent que rarement cette dernière, Sandy a opéré un virage inattendu vers l'ouest et balayé New York. Ce qui, d'après le chercheur, est dû à des conditions atmosphériques particulières, liées à l'importante fonte

estivale de la glace de mer: *"Lorsque la banquise fond, l'eau est plus exposée aux radiations solaires et se réchauffe. Il en résulte un dégagement de chaleur de l'océan vers l'atmosphère avec, à la clé, une pression atmosphérique anormalement élevée sur l'Arctique et le Groenland."* Cette anomalie de pression aurait bloqué Sandy, alors contraint à dévier vers l'ouest. Ces conditions atmosphériques ont également favorisé sa convergence avec un autre cyclone, contribuant à en faire le deuxième ouragan le plus dévastateur qu'aient connu les Etats-Unis. **C.H.**

SYLVICULTURE

Les vieux arbres résistent mieux au réchauffement

Les forêts peuplées de jeunes arbres souffrent plus des changements climatiques que celles composées d'arbres de plus de 80 ans. C'est ce qu'a observé Yong Luo (université Lakehead, Canada) sur des pins, des peupliers et des épicéas dans les forêts boréales canadiennes. Ceci s'expliquerait par une plus grande compétition entre les jeunes arbres pour l'espace et les nutriments, qui les rendrait plus vulnérables aux agressions extérieures, telles que la sécheresse. **B.B.**

BIODIVERSITÉ

ON PEUT SAUVER LE DIABLE DE TASMANIE

Un vaccin pourrait-il enrayer l'épidémie de cancer facial qui décime les diables de Tasmanie? C'est en tout cas l'espoir qu'offrent les résultats obtenus par l'équipe de Hannah Siddle (université de Cambridge, Angleterre), qui vient de comprendre pourquoi le système immunitaire de ces petits marsupiaux ne reconnaît pas les cellules tumorales comme étrangères: c'est qu'elles sont dépourvues, à leur surface, d'une molécule de reconnaissance. Or, les chercheurs ont réussi à forcer, *in vitro*, ces cellules cancéreuses à se dévoiler, ouvrant ainsi la voie à un traitement. Observé pour la première fois en 1996, le cancer facial du diable de Tasmanie est une forme extrêmement rare qui se transmet d'un individu à l'autre par morsure. **E.B.-V.**



> Un vaccin protégerait les marsupiaux du cancer facial qui fait peu à peu disparaître leur espèce.

EN SOLO OU EN FAMILLE, IL A TOUT POUR VOUS SÉDUIRE



FIAT FREEMONT
7 vraies places
Transmission 4x4 et 4x2
Boîte manuelle ou automatique, 140 à 280 ch

Stéphane
Rotenberg vous
présente le FIAT
Freemont sur
www.fiat.fr

ESPACE, CONFORT, POLYVALENCE, SANS SACRIFIER LE STYLE.

Fiat Freemont est LA voiture familiale faite pour vous. Avec ses équipements de série, elle va vite devenir votre meilleure alliée, pour vos voyages comme vos trajets quotidiens.

© Pascalito



“Avec moi, découvrez
Fiat Freemont et ses détails
qui changent la vie.”

Stéphane Rotenberg

FOCUS

SPÉCIAL ENFANTS

Avec Fiat Freemont, le bonheur de vos enfants est à l'honneur ! Adieu les “quand est-ce qu'on arrive ?” : pour leur faire oublier le trajet, avec le **Pack Vidéo**, ils peuvent regarder un film, tandis que vous écoutez tranquillement la radio. Pratique, les **portières avec ouverture à 90°** et les **rehausseurs de siège intégrés** vous permettent de les installer à bord, en deux temps trois mouvements. Et à l'intérieur, **22 rangements** accueillent tous leurs jouets.



LE CONFORT

Le confort Freemont, c'est d'abord plus d'espace et des sièges réglables à l'infini. C'est aussi pouvoir tout contrôler à bord sur votre **écran tactile grand format** : naviguer sur votre **radio CD MP3** bien sûr, mais aussi vérifier vos manœuvres avec la **caméra de recul**, activer le **GPS**, ou encore régler la **température** de l'habitacle ou celle des **sièges chauffants**. Summum du luxe, avec la **climatisation Tri-zone**, chaque passager peut choisir son degré de confort.

LA SÉCURITÉ ACTIVE

Le plaisir de la route, c'est aussi se sentir en sécurité. Et Fiat Freemont a tout prévu. Le **système ESP** vous garantit une stabilité à toute épreuve, ainsi qu'une **aide au démarrage en côte**, très pratique si vous habitez une rue en pente par exemple. Quand vous le souhaitez, la transmission 4 roues motrices vous permet à la demande de passer en mode 4x4, pour sortir des sentiers battus ou tout simplement affronter pluie, neige ou verglas. Avec Fiat Freemont, votre sécurité est assurée par le **système de contrôle de pression des pneus** et votre départ en vacances ne passe plus forcément par la station service.

FIAT FREEMONT

À PARTIR DE

23 800 €⁽¹⁾

SANS CONDITION



FABRICANT
D'OPTIMISME

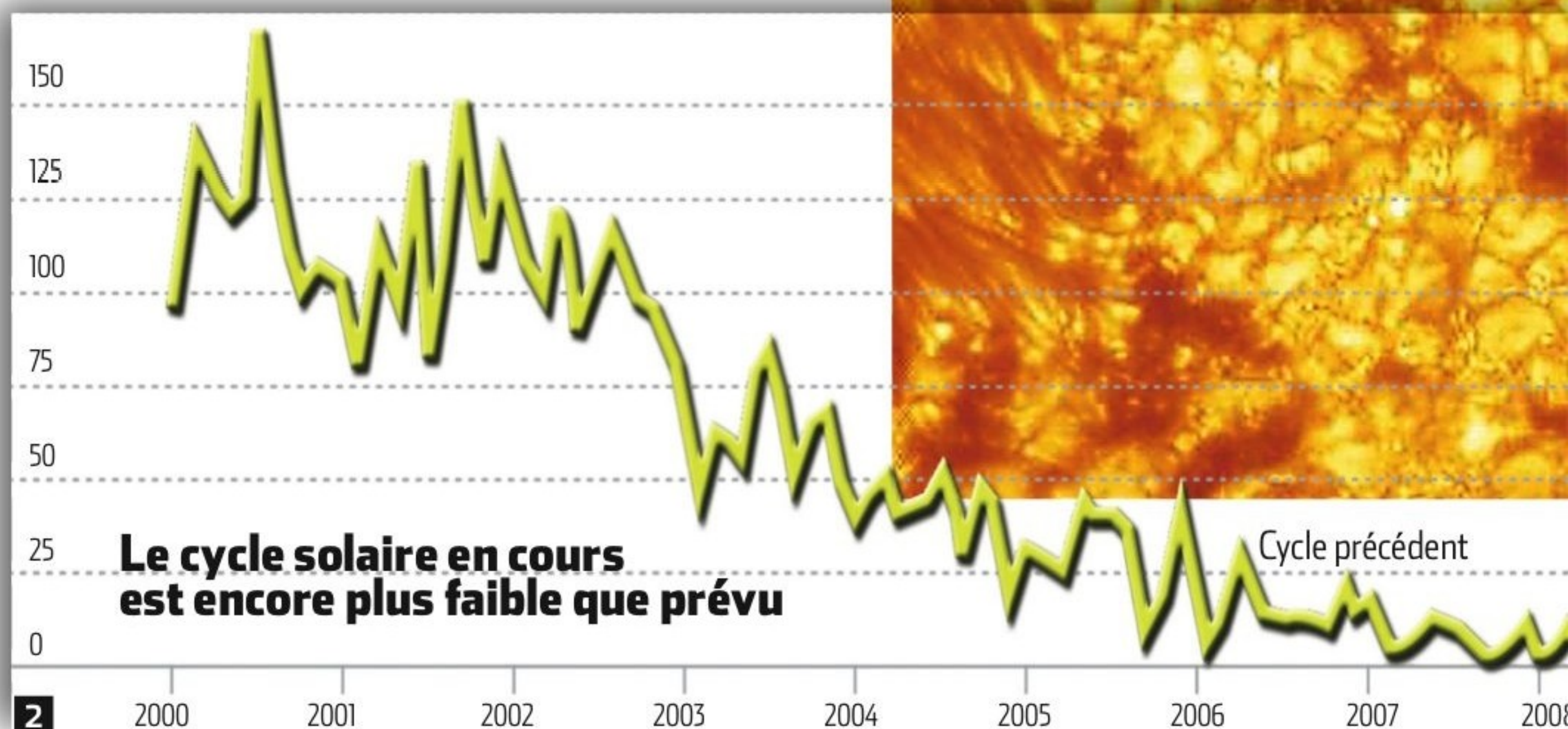
* Remboursement minimum de la totalité du montant du malus écologique (1 500 € ou 5 000 €) à partir de 3 enfants à charge, sauf version 3.6 V6 4x4. Tarifs forfaitaires applicables aux véhicules dont le taux d'émissions est compris respectivement entre 156 et 175 g/km ou entre 191 et 200 g/km. Réduction de 20 g par enfant à charge du taux d'émissions de CO₂ pris en compte pour le calcul du malus. Réduction accordée sous forme d'un remboursement de la totalité du malus écologique à acquitter pour Fiat Freemont. Voir sur fiat.fr les modalités de remboursement. (1) Somme restant à payer pour l'achat d'un Fiat Freemont 2.0 Multijet Diesel 140ch neuf, déduction faite de 3500€ de remise Fiat. Offre non cumulable, valable jusqu'au 30/04/2013, dans le réseau Fiat participant. Tarif au 01/02/2013. Version présentée : Fiat Freemont Lounge AWD 2.0 Multijet 170ch avec option peinture métallisée (+550€) incluant l'offre = 32 250€. Consommation mixte (l/100km) et émissions de CO₂ (g/km) : 7,3 et 194.

SOLEIL IL EST DÉCIDÉMENT EN PANNE

Démarrage tardif, activité en berne... Le cycle solaire en cours s'annonce comme le plus faible depuis cent ans. Ce qui surprend les astrophysiciens, incapables pour l'heure de prédire la suite.

Ce devait être le point culminant de son activité. Le sommet de sa vivacité retrouvée. Le moment du nouveau cycle où le Soleil ferait feu de tout bois, exhibant un foisonnement de taches. Les astrophysiciens l'avaient affirmé en 2009: *"Le maximum solaire est attendu en mai 2013."* Las... En guise d'apothéose, le Soleil n'offre depuis des mois qu'un pâle spectacle. Le nombre de taches à sa surface, qui témoigne de son activité magnétique et suit un cycle de onze ans, ne décolle pas. Pis, après un accès de fièvre inattendu en décembre 2011 (près d'une centaine de taches), il s'est effondré. Ainsi, en février 2013, seules 38 taches constellaient notre astre... bien loin des 90 prévues initialement pour ce maximum solaire.

"Je suis persuadé que l'activité du Soleil va remonter, assure David Hathaway, de la Nasa, membre du panel de prévisions du cycle solaire. Pour autant, le cycle actuel, démarré en 2008, s'annonce deux fois plus faible que le précédent. Et ce sera sûrement le plus faible depuis cent ans!" Autre particularité: ce



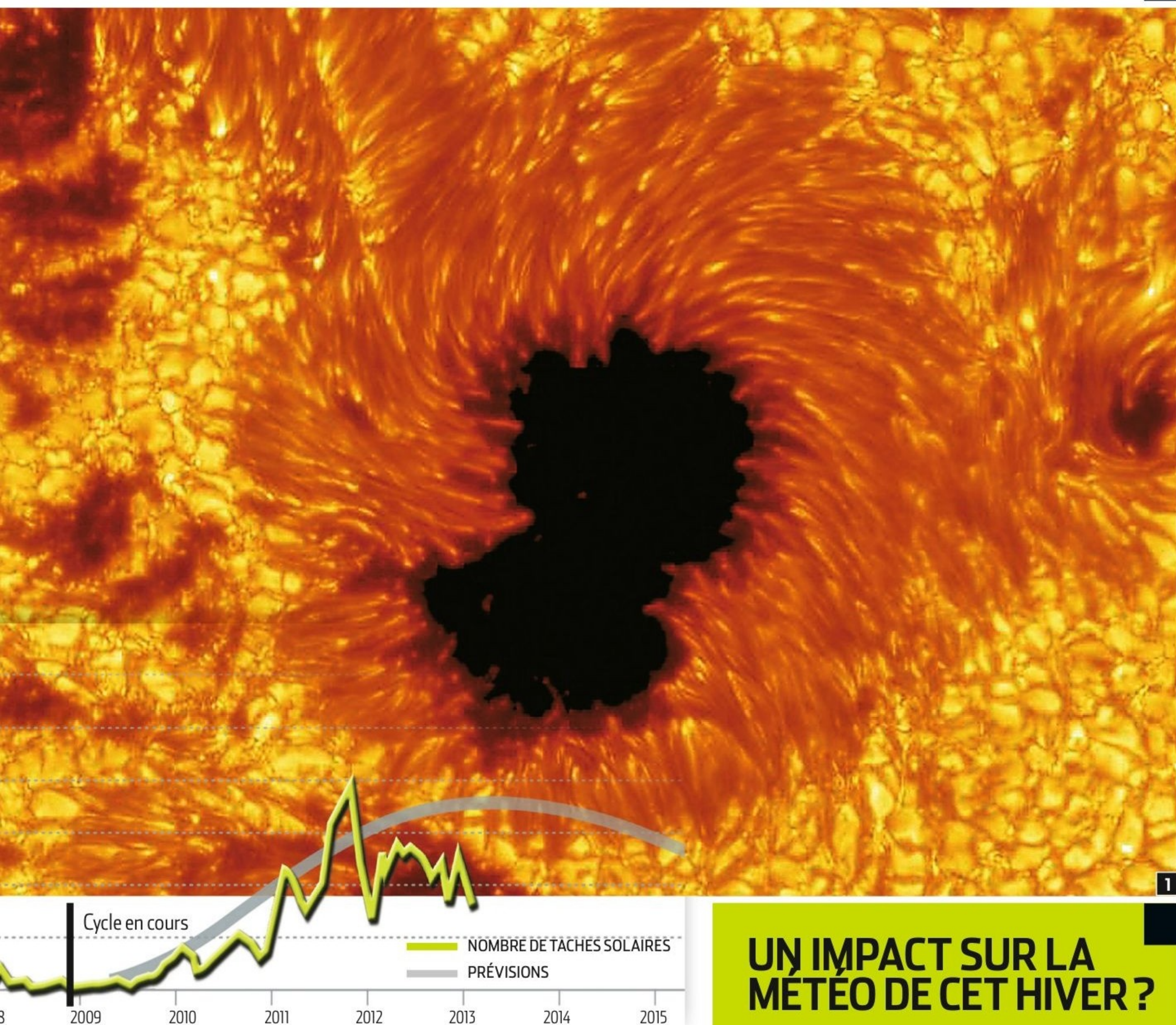
cycle, qui en est à sa moitié, devrait connaître non pas un, mais deux pics d'activité! *"Les deux hémisphères du Soleil peuvent présenter des pics d'activité décalés dans le temps, explique David Hathaway. Nous avons déjà assisté à un pic fin 2011. Si cela continue ainsi, nous pouvons nous attendre à un second pic en 2014."*

Activité plus faible, dédoublement du pic: le cycle en cours détonne. Déjà, son démarrage s'était fait attendre. Prévu pour mars 2007, il n'avait eu lieu

1 Les taches qui constellent la surface du Soleil, indices de son activité magnétique...

2 ... sont beaucoup moins nombreuses que prévu, témoignant d'un nouveau cycle solaire, initié en 2008, étonnamment faible.

qu'en décembre 2008 (voir S&V n° 1119, décembre 2010, p. 52). Bref, le comportement de notre étoile n'en finit pas de dérouter les spécialistes. *"L'évolution du Soleil ces six/sept dernières années a échappé aux prévisions faites à partir de dizaines de méthodes différentes, constate Frédéric Clette, de l'Observatoire royal de Belgique, fournisseur officiel du décompte des taches solaires. Mais la plupart de ces prévisions sont fondées sur les données collectées au cours des cinquante dernières années. Or,*



SOURCE: HATHAWAY/NASA/MSFC, 03/13

elles ont été marquées par une succession de cycles intenses – un épisode atypique, sans équivalent sur les 400 dernières années au moins. Le Soleil fait donc peut-être simplement un retour à un régime plus ‘normal’ au regard des siècles passés.”

LE DÉBUT D'UNE ACCALMIE ?

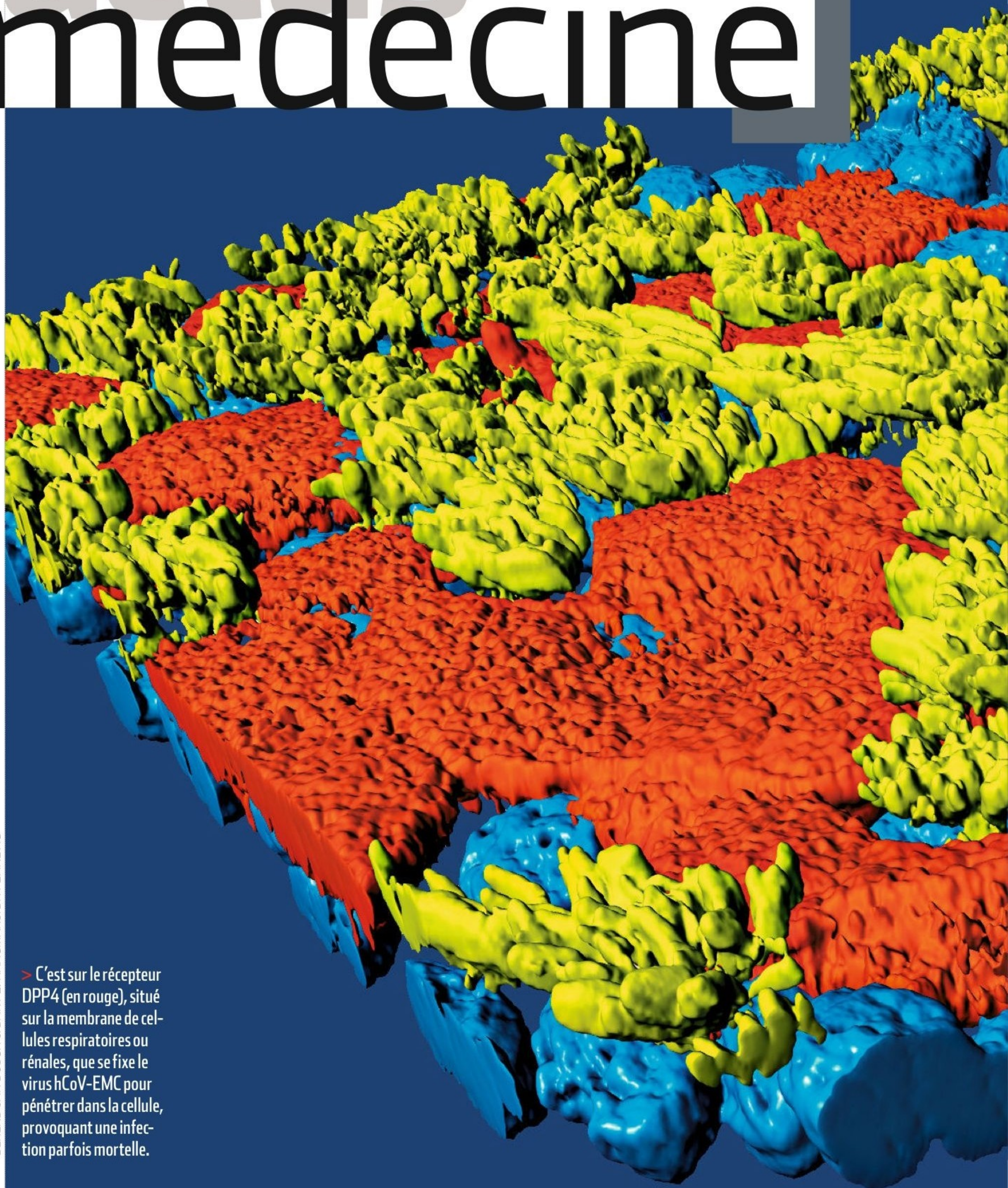
Si le Soleil semble en panne, il n'est donc peut-être pas pour autant malade ! Ses prochains cycles devraient trancher entre deux scénarios opposés. “Certaines mesures et analyses

suggèrent que le cycle suivant sera encore plus faible et que nous pourrions même entrer dans une période de ‘grand minimum’, tel que le minimum de Maunder, au XVII^e siècle, caractérisé par un Soleil totalement calme durant soixante ans, détaille Frédéric Clette. A l'inverse, d'autres interprétations, ainsi que l'historique des taches solaires, montrent que l'actuelle faiblesse du cycle n'exclut pas le retour à des cycles plus forts.” La réponse descendra du ciel. A partir de 2019, environ... **B.B.**

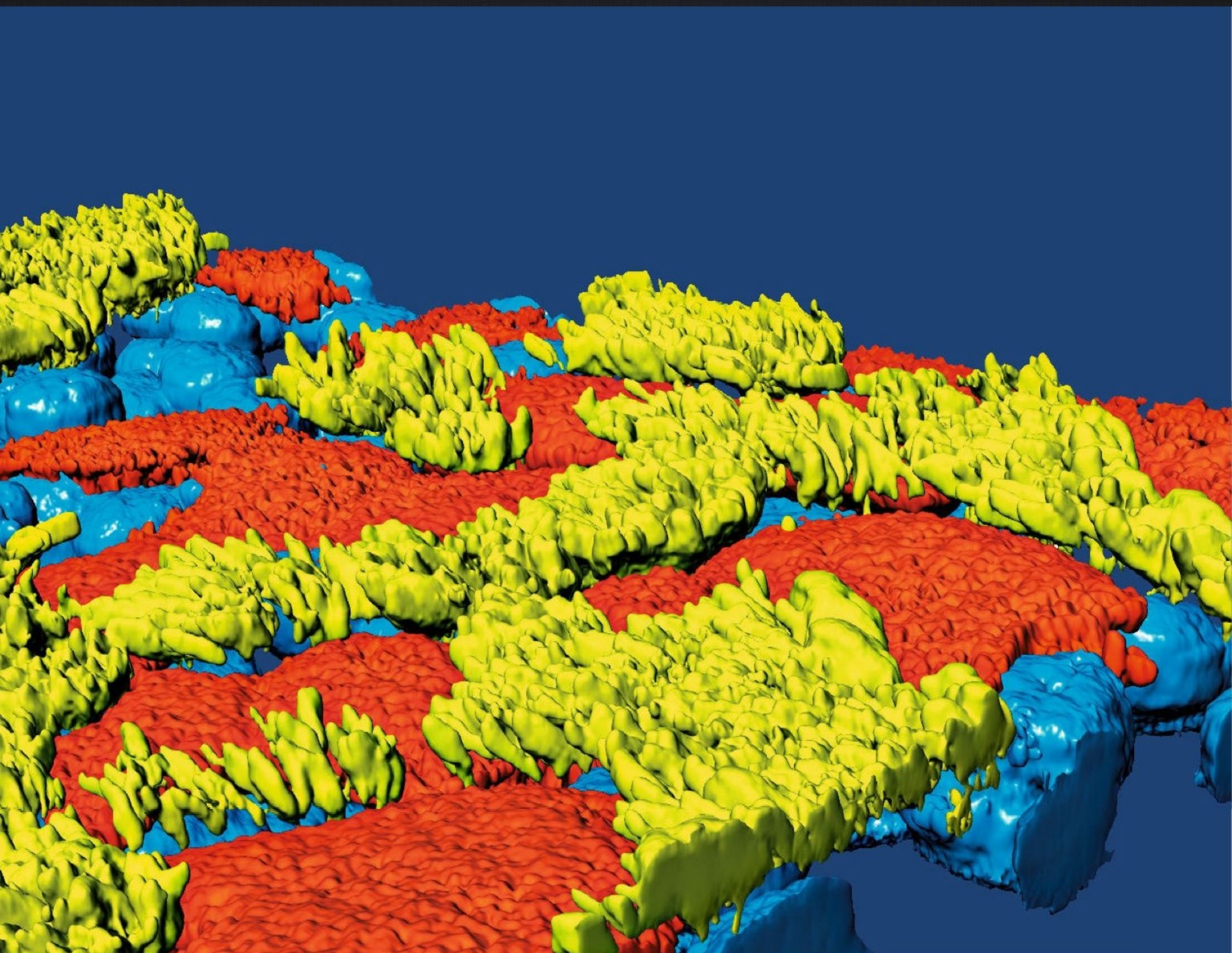
UN IMPACT SUR LA MÉTÉO DE CET HIVER ?

De la neige, peu de soleil, des températures inférieures à la moyenne... L'hiver 2012/2013 a été “plutôt frais” selon Météo France. Faut-il y voir une conséquence de la faiblesse actuelle du Soleil ? S'il est difficile de l'affirmer pour un hiver isolé, plusieurs études ont souligné une corrélation statistique entre la basse activité solaire et la rigueur des hivers en Europe. En analysant plus de deux siècles de registres, Frank Sirocko, de l'université de Mayence (Allemagne), a ainsi montré que 10 des 14 années au cours desquelles le Rhin a gelé correspondaient à des “minimums” solaires. Une perturbation de la circulation atmosphérique lors de ces périodes expliquerait la sévérité des hivers.

actus médecine



> C'est sur le récepteur DPP4 (en rouge), situé sur la membrane de cellules respiratoires ou rénales, que se fixe le virus hCoV-EMC pour pénétrer dans la cellule, provoquant une infection parfois mortelle.



VIROLOGIE

UN NOUVEAU VIRUS TUEUR DÉVOILE SON MODE D'ACTION

Des chercheurs hollandais ont trouvé un indice majeur pour expliquer la transmission d'un nouveau et redoutable virus, le hCoV-EMC. Découvert fin 2012 chez un patient décédé en Arabie saoudite, ce coronavirus est un "cousin" de celui du syndrome respiratoire aigu sévère (SRAS), qui sévit à Hong Kong en 2003. Comme lui, le hCoV-EMC

entraîne des complications respiratoires majeures, voire des défaillances de certains organes (reins). Fin mars, il n'avait été dépisté que chez quinze patients, mais neuf en étaient morts. On est encore loin de la pandémie, mais le mode de transmission de ce virus préoccupe : si son origine est animale (chauve-souris), il pourrait désormais se transmettre

d'homme à homme. De nouveaux cas ont en effet été confirmés en Angleterre en février, chez des personnes n'ayant pas voyagé... L'équipe du centre médical Erasmus, à Rotterdam, a découvert que sa voie d'entrée pour infecter l'homme est un récepteur appelé DPP4, situé sur la membrane de cellules des voies respiratoires ou du rein. Or, cette

protéine est présente chez de nombreuses espèces, dont la chauve-souris. "Nous cherchons à bloquer l'interaction entre le virus et cette protéine DPP4, et à découvrir si l'homme ne pourrait pas être contaminé par une autre espèce. Le virus pourrait transiter par le cochon, le chien ou le singe", explique Bart Haagmans, co-auteur des travaux. **A.R.**

NEUROLOGIE

RAJEUNIR LE CERVEAU NE TIENT QU'À UN GÈNE

Lors d'un apprentissage, le cerveau se modifie: les connexions entre ses neurones se réorganisent pour stocker les nouvelles informations. Très rapide à l'adolescence, cette plasticité tend à ralentir avec l'âge. Le cerveau des adultes est donc plus rigide, ce qui se traduit par des capacités d'apprentissage plus faibles, ainsi qu'une moins bonne récupération en cas de lésion cérébrale. Des chercheurs de l'université Yale ont identifié un acteur majeur de cette évolution: le gène NGR1. Ils ont en effet découvert que des souris dépourvues de ce gène gardent toute leur vie la souplesse cérébrale de

leur adolescence. A l'âge adulte, leurs facultés d'apprentissage sont ainsi largement meilleures que celles de souris normales. Placées dans une roue destinée à tester leur équilibre, elles retiennent plus vite comment éviter la chute. Forts de ce constat, les scientifiques ont inactivé NGR1 chez des rongeurs adultes... dont le cerveau est alors redevenu aussi malléable que celui de jeunes souris! Cette découverte ouvre l'espoir qu'un jour, des médicaments bloquant NGR1 garantiront aux victimes de lésions cérébrales une guérison aussi rapide que chez les adolescents. L.C.

> En désactivant un gène chez une souris adulte, des chercheurs ont relancé sa plasticité cérébrale (ici, les neurones ayant repoussé).

IMMUNOLOGIE

L'EXCÈS DE SEL DÉGRADERAIT

Sclérose en plaques, diabète de type 1... Si des facteurs génétiques ont été identifiés pour ces maladies, entre autres, leur augmentation ces dernières années pourrait être stimulée par des facteurs environnementaux. Lesquels? L'excès de sel dans notre alimentation... selon l'hypothèse inédite et encore

controversée de trois équipes de chercheurs américains et allemands. Ceux-ci ont en effet montré, *in vitro* et *in vivo*, qu'une concentration élevée de sel induisait la production de lymphocytes Th17, des cellules immunitaires que l'on sait impliquées dans les maladies auto-immunes. Dans leurs expériences, les



VERS UNE GUÉRISON DE L'HÉPATITE C

Un taux de guérison de l'hépatite C de 100 % en trois mois : c'est ce qu'a permis la prise, une fois par jour, d'un comprimé contenant deux molécules expérimentales très bien tolérées (le sofosbuvir et le ledipasvir). Il pourrait être commercialisé en France en 2015. **R.P.**

DES CELLULES SOUCHES INDUITES EN ESSAI CLINIQUE

Après les premiers essais, dès 2010, sur des cellules souches embryonnaires, deux équipes japonaise et américaine viennent chacune de demander l'autorisation de lancer de nouveaux essais cliniques. Ils concerneront, cette fois, des cellules adultes transformées artificiellement en cellules souches, dites IPS. Une première. **E.A.**

LES MÉDECINS MISENT SUR L'EFFET PLACEBO

Selon une étude britannique, 97 % des médecins déclarent avoir déjà prescrit des placebos à leurs patients. Pour se justifier, les participants interrogés avancent que prescrire un traitement dont l'effet n'est pas prouvé face à une pathologie donnée peut tout de même "aider" les patients ! **C.T.**

DERMATOLOGIE

LE VITILIGO POURRAIT TROUVER UN TRAITEMENT

Enfin une piste contre le vitiligo, cette maladie caractérisée par une dépigmentation de la peau ? La voie suivie par une équipe américaine de l'université Loyola de Chicago est inédite. Celle-ci a développé une molécule capable de prévenir l'apparition du vitiligo chez la souris, et même de restaurer la pigmentation dans les zones déjà touchées. Dans cette maladie, l'apparition de plaques blanches sur la peau est liée à la perte d'un pigment, la mélanine. Un phénomène dû à la destruction, par le système immunitaire du patient lui-même, des cellules chargées de produire la mélanine, les mélanocytes. Les chercheurs ont identifié le responsable de ce processus destructeur : la protéine HSP70. Activée lors d'une brûlure ou d'un stress intense, elle amorce une cascade de réactions immunitaires néfastes. En modifiant cette protéine et en injectant son ADN chez des souris, les scientifiques ont réussi à contrecarrer cette cascade. *"La protéine modifiée entre en compétition avec la protéine naturelle et neutralise les cellules immunitaires impliquées dans la maladie, explique Caroline Le Poole, co-auteur des travaux. Cela fonctionne aussi in vitro sur des cellules humaines."* Les chercheurs envisagent déjà de tester leur ADN guérisseur chez l'homme, mais après avoir *"vérifié combien de temps il perdure dans les cellules et si plusieurs doses sont nécessaires, et trouvé le meilleur moyen de l'administrer"*, énumère la chercheuse. Autant dire que le chemin est encore long ! **A.R.**

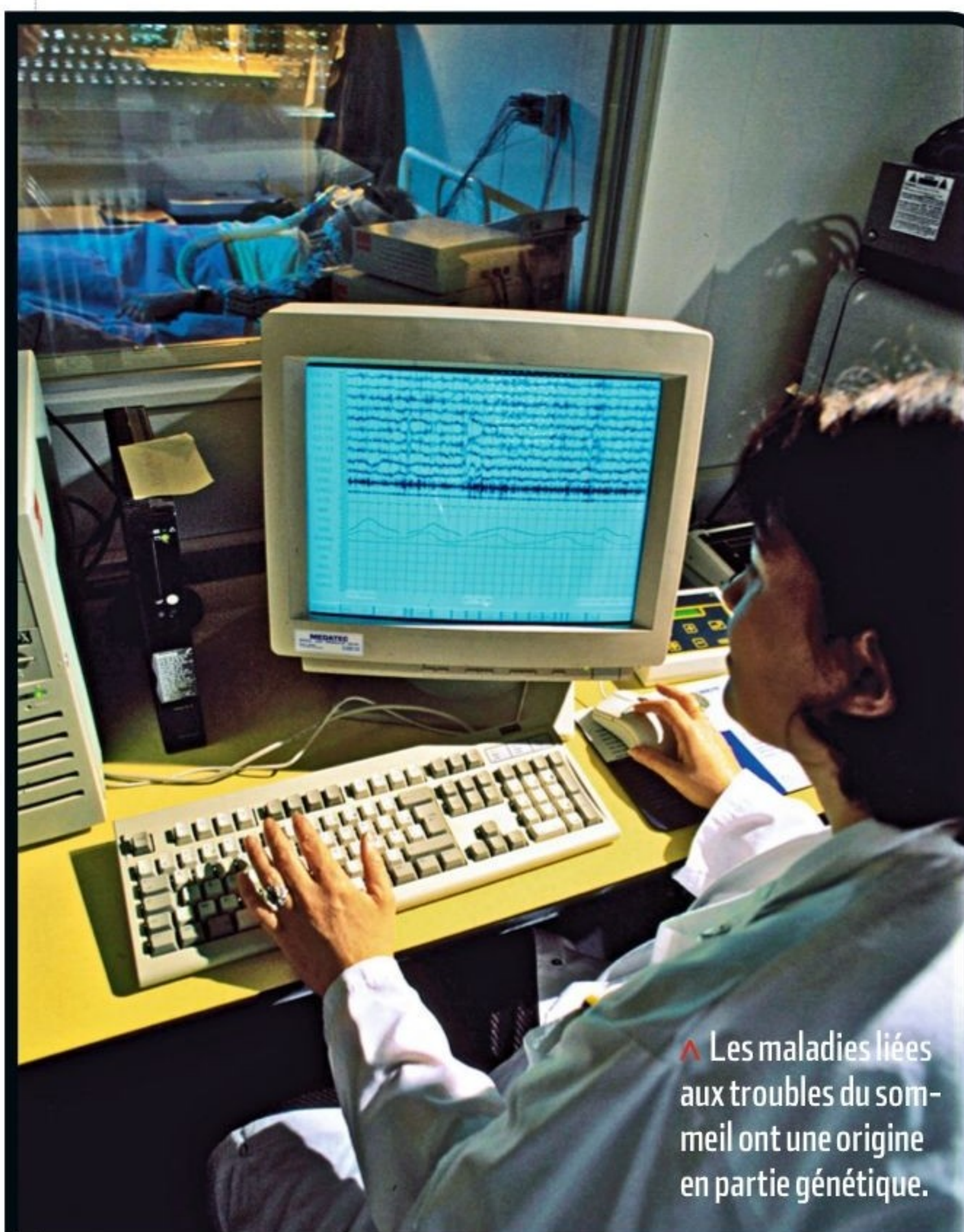


> Les chercheurs ont détecté la protéine responsable de la dépigmentation de la peau.

UNIVERSITÉ YALE - FOTOLIA - A.R. KHATIB/DEMOTIX/CORBIS

L'IMMUNITÉ

souris soumises à un régime riche en sel ont d'ailleurs développé une forme plus sévère d'encéphalomyélite auto-immune, une forme de sclérose en plaques chez le rongeur. Mais d'autres études devront étayer ces premières observations avant d'en déduire un risque identique chez l'homme. **C.H.**



▲ Les maladies liées aux troubles du sommeil ont une origine en partie génétique.

GÉNÉTIQUE

LA PRIVATION DE SOMMEIL AGIT SUR LES GÈNES

Certains gènes s'expriment différemment selon que l'on a assez dormi ou que l'on manque de sommeil : c'est la conclusion de chercheurs de l'université du Surrey (Angleterre). De jeunes volontaires, contraints à dormir six heures par nuit pendant une semaine, ont été comparés à un groupe contrôle, autorisé à dormir neuf heures. Puis, leur ARN sanguin (marqueur de la traduction de leur ADN) a été analysé au cours des quarante heures suivantes, durant lesquelles ils ont été maintenus éveillés. Résultats : les gènes impliqués

dans le rythme circadien et le métabolisme sont inhibés par la restriction de sommeil, tandis que ceux liés à la réponse au stress, aux défenses immunitaires et à l'inflammation voient leur expression amplifiée. Un mécanisme biologique qui explique, au moins en partie, les problèmes de santé encourus par les personnes qui ne dorment pas suffisamment : obésité, maladies cardiovasculaires, baisse des défenses immunitaires ou déficits cognitifs (voir "Questions/Réponses" du n° 1146, mars 2013, p. 131). **O.C.**

CARDIOLOGIE

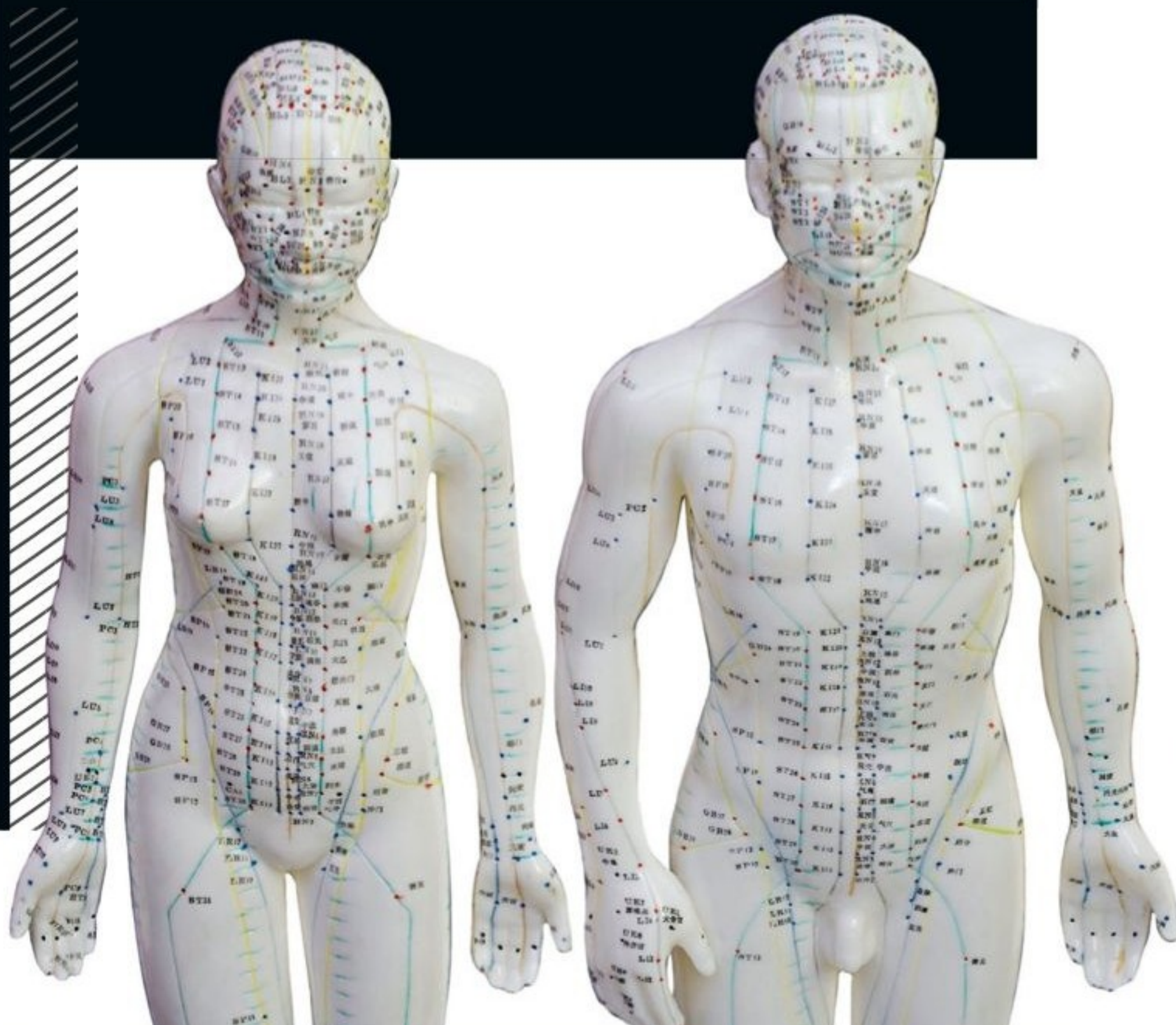
Injecter du cholestérol peut soigner les suites d'un AVC

Eviter les hémorragies après le traitement d'un accident vasculaire cérébral (AVC) serait possible... grâce à une injection de bon cholestérol ! Chez des rats, elle a entraîné une quasi-disparition des complications. Pierre Amarenco, directeur de l'étude à l'Inserm, explique : "Le caillot sanguin génère une brèche dans la barrière protectrice du cerveau. Après la recanalisation, le sang s'y engouffre parfois et cause l'hémorragie. Le bon cholestérol solidifie cette barrière." Ces tests devront être confirmés par un essai clinique. **E.D.**

ENDOCRINOLOGIE

L'ACUPUNCTURE INHIBE LES HORMONES DU STRESS

Comment de simples aiguilles plantées dans la peau pourraient-elles aider à faire baisser le stress ? Pour le savoir, une équipe de l'université de Georgetown (Washington, Etats-Unis) a soumis quatre groupes de rats à une situation stressante, puis certains d'entre eux à une séance d'acupuncture. Ces derniers présentaient alors "des niveaux moins élevés de deux hormones liées au stress, l'adrénocorticotrophine et la corticostérone", rapporte la chercheuse, Ladan Eshkevari. Reste à s'assurer que ces diminutions ne sont pas en lien avec un simple effet placebo. **C.H.**



www.citroen.fr

CITROËN préfère **TOTAL**



LE COUPÉ 5 PORTES



CITROËN DS4

FABRIQUÉE EN FRANCE

Avec une silhouette de coupé 5 portes, Citroën DS4 offre une nouvelle perception de la route. Raffinée et audacieuse, Citroën DS4 propose une large gamme de motorisations, des finitions haute couture et des ambiances intérieures personnalisables. Ne choisissez plus entre élégance, polyvalence et plaisir de conduire. Conduisez sans compromis, conduisez Citroën DS4.

CRÉATIVE TECHNOLOGIE



Modèle présenté : Citroën DS4 THP 200 Sport Chic avec peinture Blanc Nacré, jantes alliage 19", coques de rétroviseurs chromées et projecteurs directionnels Xénon bi-fonction + Détection de sous-gonflage.

CONSOMMATIONS MIXTES ET ÉMISSIONS DE CO₂ DE CITROËN DS4 : DE 4,2 À 7,7 L/100 KM ET DE 110 À 178 G/KM.

FARINES ANIMALES

LEUR RETOUR A BIEN DE QUOI INQUIÉTER



Par Caroline Tourbe

Cela n'aurait pas pu être annoncé à un plus mauvais moment. En février dernier, alors que les preuves s'accumulaient sur des fraudes massives dans la distribution de la viande de cheval en Europe, alors que des millions de plats ont été préparés à base de cette viande estampillée "100 % pur bœuf", que décidait la Commission européenne ? Rien de moins que de valider le principe d'un retour des farines animales dans l'élevage ! Avec une autorisation pour l'alimentation des poissons et autres animaux de l'aquaculture dès le 1^{er} juin... et un peu plus tard – pas avant 2014 – pour les porcs et les volailles.

A coup sûr, plus d'un consommateur a dû s'étrangler en entendant la nouvelle. Car même si, désormais, l'acronyme "PAT", pour protéines animales transformées, a remplacé le terme "farines", tout le monde garde en mémoire que les mélanges de toutes sortes de carcasses servis comme alimentation aux animaux sont à l'origine du scandale de la "vache folle" : des dizaines de milliers de bovins furent, dans les années 1990, infectés par le prion pathogène responsable de l'encéphalopathie spongiforme bovine (ESB). Et personne n'a oublié que c'est à cause de ces farines que des centaines de consommateurs de viande de vaches malades ont développé ou développent encore la maladie de Creutzfeldt-Jakob.

Et pourtant... Pour aussi déraisonnable qu'elle puisse paraître de prime abord, la décision récente de la Commission est, explique-t-elle, "conforme aux avis scientifiques les plus récents, selon lesquels le risque de transmission d'encéphalopathie spongiforme bovine entre animaux non-ruminants est négligeable, pour autant qu'il n'y a pas de recyclage entre les espèces (cannibalisme)". Et c'est vrai, le risque est "négligeable", car c'est bien parce que des vaches ont mangé de la vache que la crise sanitaire est survenue. Avec la diminution de la température de chauffage des farines, le recours aux

protéines animales chez des ruminants, et plus encore au cannibalisme – facilitant la concentration des prions pathogènes dans les aliments et leur passage d'une bête à l'autre –, est à l'origine de la crise sanitaire passée.

Aujourd'hui, le cannibalisme au sein de mêmes espèces étant banni, les volailles ne seront pas nourries avec des farines de volailles, mais avec des farines de porc – et inversement. Or, consommer des protéines animales provenant d'autres espèces n'est pas anormal pour des animaux omnivores. Enfin, autre point rassurant, l'ESB est une maladie qui est entrée dans sa "phase finale" en Europe – elle est pratiquement éradiquée dans le cheptel bovin. Voilà pour le risque scientifiquement négligeable de transmission des maladies à prion...

Oui, mais à condition que toutes les mesures de précaution dans la fabrication et l'acheminement des farines soient bien respectées et contrôlées. Et là, difficile d'estimer ce risque comme négligeable.

En réalité, la controverse sur le retour des farines animales ne repose donc pas sur des arguments scientifiques, mais sur des craintes bien légitimes de fraudes ou d'erreurs humaines. Le scandale des lasagnes à la viande de cheval, même s'il ne touche pas la filière de l'alimentation animale, en est la douloureuse preuve... Dès lors, ce n'est pas être injustement suspicieux que d'imaginer que des lots de farines animales mal étiquetés, par omission ou malveillance, puissent se retrouver dans de mauvaises mangeoires. Et ressusciter ainsi le prion et le scandale qu'il apporte avec lui...

POUR LA SCIENCE, IL N'Y A PLUS DE RISQUE... POURVU QU'IL N'Y AIT PAS DE FRAUDES !

S. AQUINO

ÉJACULATION PRÉCOCE

VOUS VOUS
ENFLAMMEZ
TROP VITE ?



HAVAS LIFE PARIS - 2PRI04401/13 - document établi en mars 2013 — (1) Althof SE et al. J Sex Med 2010; 7: 2947-2969.

1 homme sur 3 est concerné par l'éjaculation précoce⁽¹⁾. Des solutions existent.

PARLEZ-EN À VOTRE MÉDECIN

www.garderlecontrôle.fr



Campagne d'information réalisée par :
Les laboratoires MENARINI

EN PARTENARIAT AVEC :

Association pour
le Développement
de l'Information et de la
Recherche sur la Sexualité



FF-3S
FÉDÉRATION FRANÇAISE
DE SEXOLOGIE ET DE SANTÉ SEXUELLE



SCIENCE & VIE

N° 1105

OCTOBRE 2009

Trois années ont passé depuis la pandémie de grippe A (H1N1) de l'hiver 2009. Et ce n'est un secret pour personne: le virus n'a pas provoqué les ravages attendus. Les quelque 18 000 décès recensés dans le monde sont loin des millions de morts redoutés... En revanche, l'un des vaccins se retrouve, lui, au banc des accusés: le Pandemrix (du laboratoire GlaxoSmithKline, GSK) est soupçonné d'être à l'origine de dizaines de cas de narcolepsie, un trouble du sommeil rare, caractérisé par une somnolence excessive dans la journée et des accès de sommeil incontrôlables. Une nouvelle étude, publiée en mars dans le *British Medical Journal*, vient étayer ce soupçon.

UN RISQUE MULTIPLIÉ PAR 14

Avec plus de 4 millions de doses (sur 5 millions) administrées au cours de l'hiver 2009, le Pandemrix a été le vaccin le plus utilisé en France. Dès le début, des soupçons ont pesé sur son adjuvant. Soit le mélange qui, ajouté aux fragments du virus, amplifie la réponse immunitaire lors de l'injection. Dans le cas du Pandemrix, il s'agit d'une émulsion baptisée AS03, à base de squalène, que l'on trouve notamment dans l'huile de foie de requin. Dès octobre 2009, *S&V* soulignait que, pour cette émulsion inédite (en dehors de

VIRUS H1N1

LE VACCIN CONTRE LA "GRIPPE A" DE PLUS EN PLUS SUR LA SELLETTE

Une nouvelle étude l'affirme: le vaccin le plus utilisé en France contre la grippe A durant l'hiver 2009 serait bien à l'origine de cas de narcolepsie.



quelques essais), "les données manquaient sur son innocuité chez certaines populations fragiles", comme les femmes enceintes ou les jeunes enfants.


Dans leur étude publiée en mars, Elizabeth Miller et ses confrères de l'agence de protection sanitaire britannique se sont intéressés aux cas de narcolepsie diagnostiqués chez les 4-18 ans entre janvier 2008 et juillet 2011. Pour éviter les biais, le diagnostic difficile de cette maladie rare a été chaque fois confirmé par trois spécialistes. Et les résultats interpellent: le Pandemrix aurait multiplié le risque de narcolepsie par 14,4. Une autre étude, finlandaise, suggérait déjà un risque multiplié par 13.

▲ Quatre millions de doses de Pandemrix, le vaccin aujourd'hui soupçonné d'accroître le risque de narcolepsie, ont été administrées en France à l'hiver 2009.

A la lecture de ces derniers chiffres, la culpabilité du vaccin semble établie. Etude après étude, les soupçons se confirment en Scandinavie, au Royaume-Uni ou en France (deux études préliminaires montrent un risque accru chez les enfants et chez certains adultes). Mais la réalité est plus nuancée: tous les pays utilisateurs du Pandemrix ne voient pas, pour l'instant, d'augmentation de cas. Comme en Amérique du Nord, où l'adjuvant AS03 était pourtant présent dans tous les vaccins. Un argument avancé par le laboratoire GSK pour affirmer que cet adjuvant demeure un bon candidat pour d'autres vaccins potentiels.

C.T.

P. ALLARD/RÉA



LANCEMENT MONDIAL EN EXCLUSIVITÉ

DEFIANCE™

Syfy

Au-delà de l'imagination

AVEC CANALSAT, PRENEZ UNE SERIE D'AVANCE.

Defiance : Le monde a changé, les règles aussi.

Tous les mardis sur **Syfy** uniquement,
puis dans Canalsat à la demande*.

CANALSAT
regardons mieux

*Inclus dans votre abonnement CANALSAT. Service disponible uniquement sur iPad (iOS 4.1 et ultérieurs), PC et sur TV par satellite et, selon l'opérateur, par ADSL/Fibre. Sous réserve de disposer du matériel compatible et d'une connexion Internet haut débit. Episodes disponibles jusqu'à 7 jours après leur diffusion.

actus technos

JOGMEC/HANDOUT/EPA/MAX PPP - IFM/CEOMAR

FORAGE

ON SAIT ENFIN PUISER LE GAZ SOUS L'OCEAN

Voici une étape technologique qui pourrait bien alléger la dépendance énergétique de certains pays. Pour la première fois, des ingénieurs japonais ont réussi à extraire du gaz à partir d'hydrates de méthane naturellement présents dans les fonds marins. Ces cristaux, composés d'eau et de méthane, souvent appelés "glace qui brûle", sont difficiles d'accès car ils se forment dans des conditions de forte pression et basse température, notamment dans les bassins sédimentaires enfouis sous les océans. Pour parvenir jusqu'à eux, l'organisme Jogmec et l'Institut japonais des sciences et techniques industrielles avancées (AIST) ont réalisé, à l'aide d'un navire de recherche,

un forage par 1 000 m de fond pour atteindre un dépôt d'hydrates de méthane, à 300 m sous le plancher de l'océan. Pour libérer ensuite le gaz piégé dans de fines "cages" de glace cristallisée, les ingénieurs ont utilisé une méthode de dépressurisation : ils ont provoqué une dépression en pompant des fluides autour du puits. Cette chute de pression fait fondre les cristaux d'hydrates de méthane, qui libèrent alors leur gaz. Optimiser et déployer ce procédé à grande échelle permettrait de proposer une alternative au pétrole et au nucléaire. D'autant que ce gaz se transporte sur de longues distances, dans des conditions plus souples que celles requises pour le gaz naturel liquéfié. J.J.



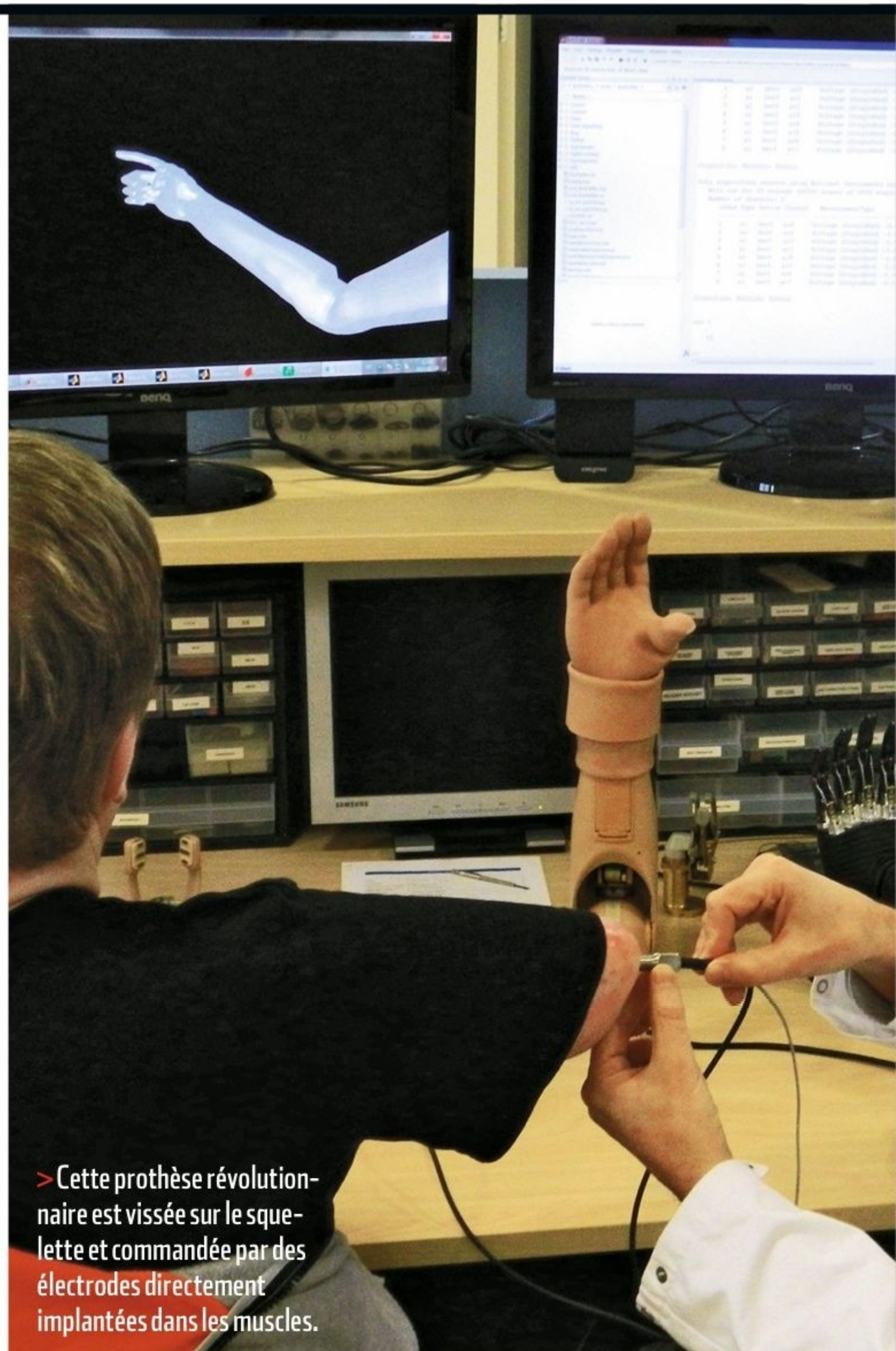
▲ Les cristaux d'hydrates de méthane, prisonniers dans les fonds marins, s'enflamment en fondant, d'où leur surnom de "glace qui brûle".

ROBOTIQUE

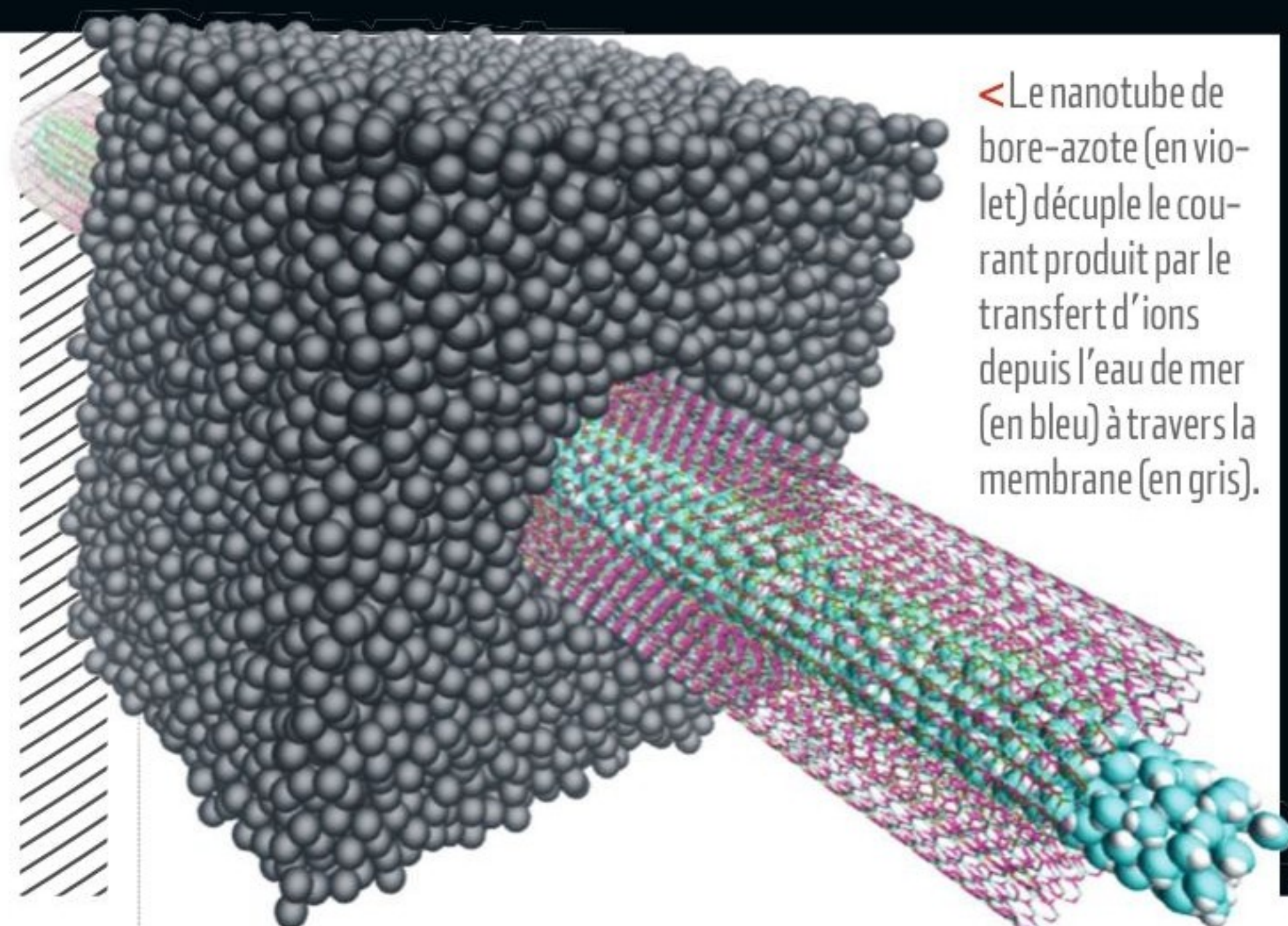
UNE PROTHÈSE VA RESTAURER LE SENS DU TOUCHER

C'est une première mondiale réalisée à l'hôpital universitaire Sahlgrenska de Göteborg (Suède): l'implantation réussie et durable (déjà plus d'un mois) d'une nouvelle génération de prothèses de bras. Ce membre artificiel, doté de moteurs et d'une batterie, pallie les défauts des prothèses actuelles qui n'autorisent qu'un nombre de mouvements limité. Ce bras est directement ancré sur le squelette grâce à une vis en titane. Par ailleurs, au lieu de placer des électrodes sur la peau pendant une durée limitée, comme c'est le cas aujourd'hui, les chercheurs les ont implantées directement dans le bras, sur les nerfs et sur les muscles. Ainsi, quand le patient veut faire un geste, davantage de signaux électriques parviennent à la prothèse à travers la vis.

De nombreux mouvements deviennent ainsi possibles sans effort. Y compris au niveau de chaque doigt. Second avantage: ce système devrait permettre au patient de retrouver le toucher. *"Nous allons explorer, par neurostimulation, s'il peut 'sentir' les choses comme avec sa propre main"*, explique Max Ortiz Catalan, de l'université de technologie Chalmers (Göteborg), à l'origine de cet exploit. Pour ce faire, les chercheurs vont envoyer des impulsions électriques au niveau des doigts de la prothèse et vérifier si ces informations sont transmises jusqu'aux électrodes. Des tests sont déjà en cours. S'ils sont concluants, il suffira de placer des capteurs de pression et de température au bout des doigts pour recréer la sensation du toucher. **L.B.**



> Cette prothèse révolutionnaire est vissée sur le squelette et commandée par des électrodes directement implantées dans les muscles.



< Le nanotube de bore-azote (en violet) décuple le courant produit par le transfert d'ions depuis l'eau de mer (en bleu) à travers la membrane (en gris).

ÉNERGIE

LE COURANT PASSE ENTRE EAUX

Utiliser l'osmose, c'est-à-dire la différence de salinité entre l'eau douce et l'eau de mer, pour produire de l'électricité... Cette idée à l'étude depuis plusieurs années se heurtait à des problèmes de rendement enfin résolus. Des physiciens de l'université de Lyon ont simplement modifié la membrane imper-

méable qui sépare en deux le réservoir d'eau douce et d'eau salée. Conçue pour ne laisser passer que les ions positifs de l'eau de mer vers le second bac (ce qui produit un courant électrique), cette membrane produisait jusqu'ici l'équivalent de 3 W/m² de membrane. En implantant dedans un nanotube



UNE BATTERIE EXTENSIBLE

Des chercheurs des universités de Northwestern et de l'Illinois (Etats-Unis) ont développé une batterie au lithium-ion étirable jusqu'à trois fois sa taille ! Ses composants sont regroupés dans une enveloppe en silicone très compacte dont les interconnexions sont des fils repliés sur eux-mêmes. Elle pourra ainsi intégrer des appareils électroniques flexibles. J.J.

PREMIER CALCUL RÉUSSI POUR GALILEO

Le système de positionnement par satellite européen vient de réussir sa première opération : il a déterminé une position en 3D à l'aide de 4 satellites déjà en orbite (sur les 30 prévus) avec une précision de 10 à 15 m au sol. Sa mise en service est prévue fin 2014. M.V.

NI VU NI CONNU

Baile Zhang, de l'université de technologie de Nanyang (Singapour), vient d'inventer une boîte d'invisibilité, en calcite transparente, capable de camoufler en lumière visible des objets de l'ordre du centimètre. Elle contient une cavité dont la géométrie des parois guide la lumière sans la déformer vers l'œil... S.F.

DOUCE ET SALÉE

de bore-azote, dont la surface est chargée négativement, les chercheurs ont créé entre les deux réservoirs un courant plus de mille fois plus intense. Cette énergie renouvelable pourrait être produite à l'embouchure des fleuves et sa capacité mondiale serait équivalente à celle de mille réacteurs nucléaires ! F.G.

MATÉRIAU

LA FIBRE OPTIQUE TISSÉE DOPE LES ANTICANCÉREUX

Ce bout de tissu, c'est l'incroyable invention d'un laboratoire de l'Ecole nationale supérieure des arts et industries textiles de Roubaix (Ensaï). Couplée à un laser, cette "étoffe" tissée à partir de fibres optiques de 250 µm de diamètre produit de la lumière pour traiter des lésions précancéreuses et des cancers cutanés. Elle exploite pour cela la technique dite de photothérapie dynamique : la lumière fait pénétrer sous l'épiderme une pommade photosensible, étalée préalablement sur la peau, et destinée à détruire les cellules cancéreuses. Si cette thérapie n'est certes pas nouvelle, on devait utiliser jusqu'ici des panneaux de diodes électroluminescentes trop rigides pour s'adapter aux courbures du corps. Résultat, certaines zones n'étaient pas assez irradiées tandis que d'autres, au contraire, recevaient de trop fortes doses qui causaient des douleurs au patient. "40% de la surface à traiter était mal illuminée", explique Cédric Cochrane, à l'origine de l'invention à l'Ensaï. Grâce à ce procédé de tissage innovant, il a réussi à réduire ce ratio à 13 %. En appliquant de minuscules torsions sur les fibres optiques, il est parvenu à contrôler l'angle de réfraction de la lumière et a ainsi pu améliorer l'homogénéité de sa diffusion dans toutes les directions. Si les essais cliniques confirment son efficacité, cette méthode pourrait servir à traiter des cancers du poumon, de la plèvre ou des ovaires. S.Ba.



Couplé à un laser, ce textile en fibres optiques permettra, par photothérapie dynamique, de traiter tout le corps du patient.

JE VEUX PILOTER DES ROBOTS GRÂCE AUX ANTENNES DES PAPILLONS

SON IDÉE

NORIYASU ANDO, neuro-éthologiste, professeur assistant au Centre de recherche pour les sciences et technologies de pointe, université de Tokyo (Japon)

Science & Vie : Comment vous est venue l'idée de tester un robot commandé par un papillon ?

Noriyasu Ando : L'idée était de mettre au point un robot mobile autonome piloté par un papillon de nuit, l'insecte constituant le cerveau de cette biomachine, dont le robot n'est que le corps. Nous avons choisi le bombyx du mûrier qui est capable de se diriger en suivant les phéromones, c'est-à-dire les odeurs qu'il détecte.

S&V : Quels défis a-t-il fallu relever ?

N.A. : Analyser précisément le comportement de l'insecte qui doit guider le robot fut, de loin, l'étape la plus difficile. Il nous a fallu trois ans pour concevoir ce robot autonome et lui permettre de reproduire le comportement parfois complexe du bombyx. Pour un papillon, s'orienter au gré des odeurs perçues est, en pratique, une tâche difficile dans la mesure où leur répartition dans l'air n'est pas homogène. Lorsqu'il sent

des phéromones femelles, le mâle peut se lancer dans une danse nuptiale faite de lignes droites, de zigzags et de virages à 360 degrés. Des mouvements très délicats à saisir...

S&V : Comment est-ce que cela fonctionne en pratique ?

N.A. : C'est simple. Le papillon est directement installé sur le robot. Il est placé sur une bille de polystyrène reliée à un capteur optique. Le moindre mouvement produit par le papillon mâle quand il détecte les phéromones d'une femelle fait ainsi tourner la bille, comme dans une souris d'ordinateur. Le capteur optique envoie alors l'information à un processeur embarqué qui calcule la trajectoire et contrôle la rotation des deux minimateurs électriques qui alimentent les deux roues du robot. Le papillon module ainsi les mouvements de la machine qu'il dirige pour atteindre la source des phéromones femelles que nous avons préalablement disséminées. Il joue en quelque

Afin de se déplacer seul, un robot mobile doit disposer de capteurs pour récolter des informations sur son environnement et d'un système d'analyse de ces informations pour orienter ses mouvements. Un insecte peut remplir ces deux rôles : sachant qu'il se déplace en suivant les odeurs qu'il détecte, un dispositif électronique va alors mesurer ses mouvements et s'en servir pour diriger le robot.

sorte le rôle de chien d'aveugle, sauf qu'ici ce sont ses antennes qui vont guider le robot hybride dans ses déplacements. Grâce à elles, son système sensoriel agit comme un capteur olfactif, tandis que son système nerveux central sert principalement de processeur au robot.

S&V : Avez-vous déjà obtenu de premiers résultats ?

N.A. : Oui, nous avons montré que ce robot hybride pouvait suivre une odeur et en localiser la source. Les 14 bombyx utilisés ont en effet réussi à le guider vers la source des phéromones. Même si nous dévions la trajectoire du robot, le papillon est capable de corriger "pas à pas" sa trajectoire à partir des messages chimiques contenus dans les odeurs détectées... comme l'atteste le taux de réussite de 84,2 %. C'est là un pas de plus vers la création de robots bio-niques capables de localiser des odeurs et de modifier leurs trajectoires de façon autonome !

Propos recueillis par J.G.

JÉRÉMIE SOUTEYRAT

Quand on a fini de lire Le Figaro, on le regarde.

Tout change au Figaro :
le quotidien, le Figaro magazine, le figaro.fr.
Et maintenant Le Figaro TV.

LE FIGARO

Notre quotidien, se réinventer.

Pour vivre avec nos amis les bestioles

Guêpes, mouches, moustiques, araignées, cafard... Face à l'invasion, ce manuel humoristique, plein d'illustrations rigolotes, nous donne le b.a.-ba pour survivre à la cohabitation.

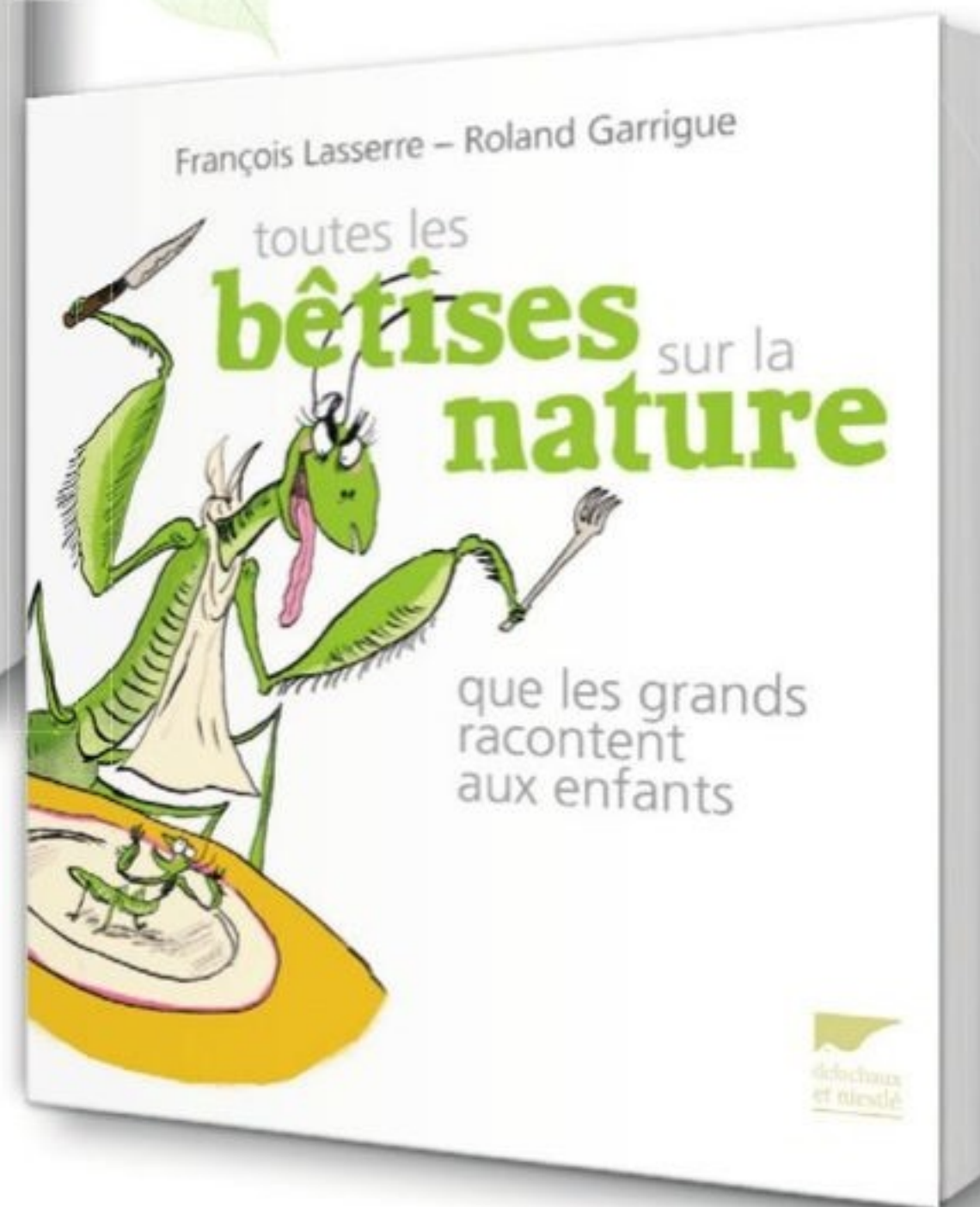
Au secours une bestiole!
12,50 €

AUTEURS FRANÇOIS LASSERRE ET ROLAND GARRIGUE.
DIM. 14,3 x 17,5 CM. 96 PAGES.
ÉD. DELACHAUX ET NIESTLÉ.



OFFRE SPÉCIALE
« livres nature »

LES 2 LIVRES
23,75 €
au lieu de 25 € seulement



Débusquez vos idées reçues!

Si vous racontez que les moucheron préfèrent les peaux sucrées, si l'on touche aux ailes d'un papillon, il meurt ou que les manchots sont des pingouins, alors il est urgent que vous lisiez ce livre à vos enfants!

Toutes les bêtises sur la nature... - 12,50 €

AUTEURS FRANÇOIS LASSERRE ET ROLAND GARRIGUE. DIM. 14,3 x 17,5 CM. 96 PAGES. ÉD. DELACHAUX ET NIESTLÉ.

LA TECHNOFOLIE DU MOIS



Rechargez en pleine nature téléphones, appareils photo et tablettes numériques!

139 €
seulement

COLISSIMO 72H OFFERTS

PAIEMENT 3x SANS FRAIS

Astucieux et performants, ce chargeur solaire s'attache aux clips de tous les sacs à dos de randonnée, grâce à ses 4 clips mâles/femelles. Exemple pour un téléphone : 1 h au soleil = 3 h de conversation. 7 h au soleil = 48 h d'écoute musicale.

Chargeur solaire universel «Outdoor» VOLTAIC®

4 WATT. WATERPROOF. 6 ou 12 V AU CHOIX. CHARGE COMPLÈTE : 7H AU SOLEIL OU 5 H VIA UNE CONNEXION USB. ADAPTABLES TOUTS TÉLÉPHONES, SMARTPHONE, TABLETTES NUMÉRIQUES, APPAREILS PHOTOS, GPS... BATTERIE INCLUSE 3000MAH, 11 WATT/H. 5 ADAPTEUR : MICRO ET MINI USB + 3 ADAPTEURS AC/DC. DIM. 29 x 18 x 4 CM.

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

Un guide complet pour identifier facilement les oiseaux avec des photographies en gros plan, des dessins de leur vol, des cartes de localisation.

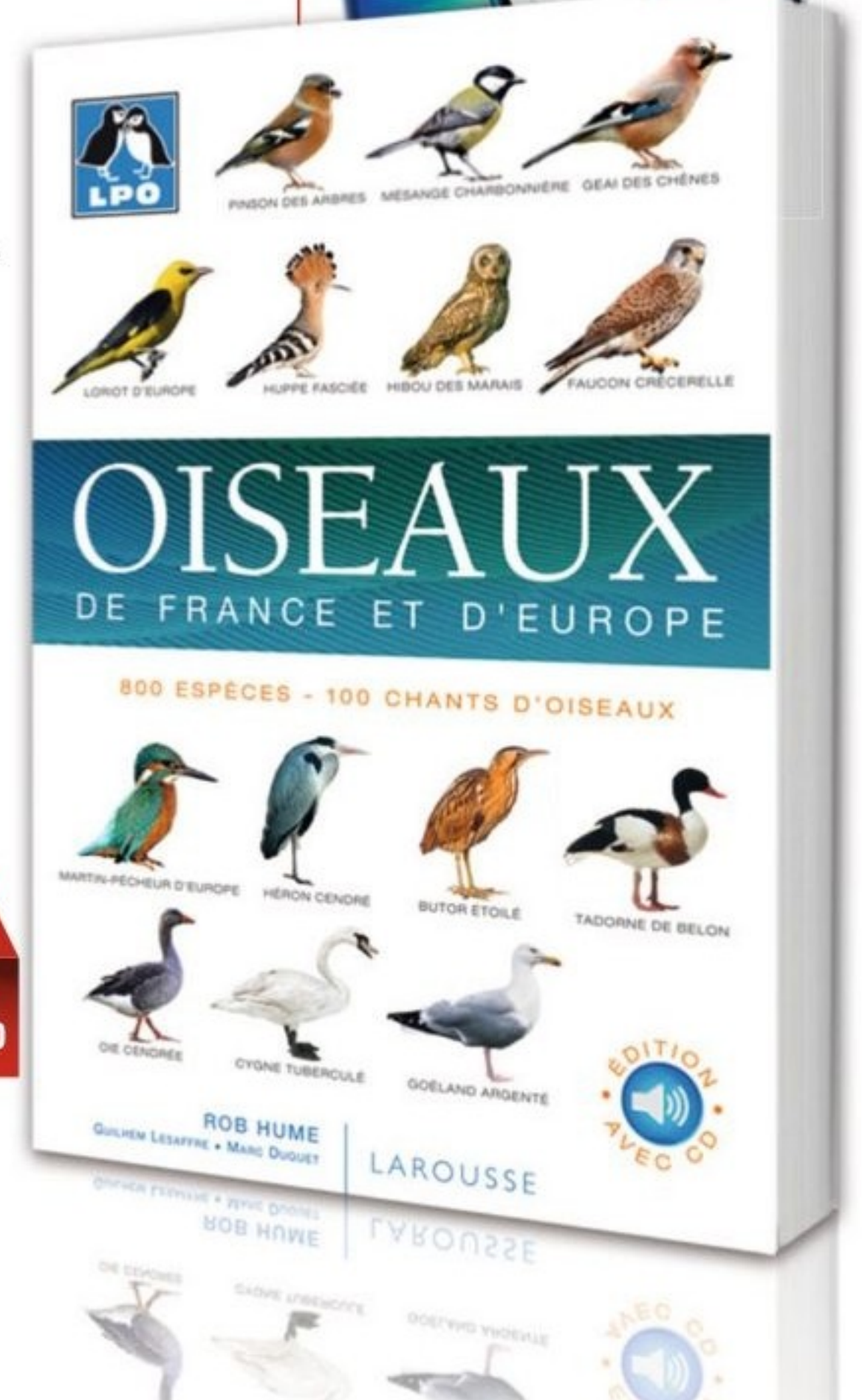
En plus, un CD avec 100 chants d'oiseaux.

Guide des oiseaux d'Europe + CD

2000 PHOTOS,
500 DESSINS
DIM. 14 x 21 CM
456 PAGES
ÉD. LAROUSSE

28,41 €
seulement
au lieu de 29,90 €

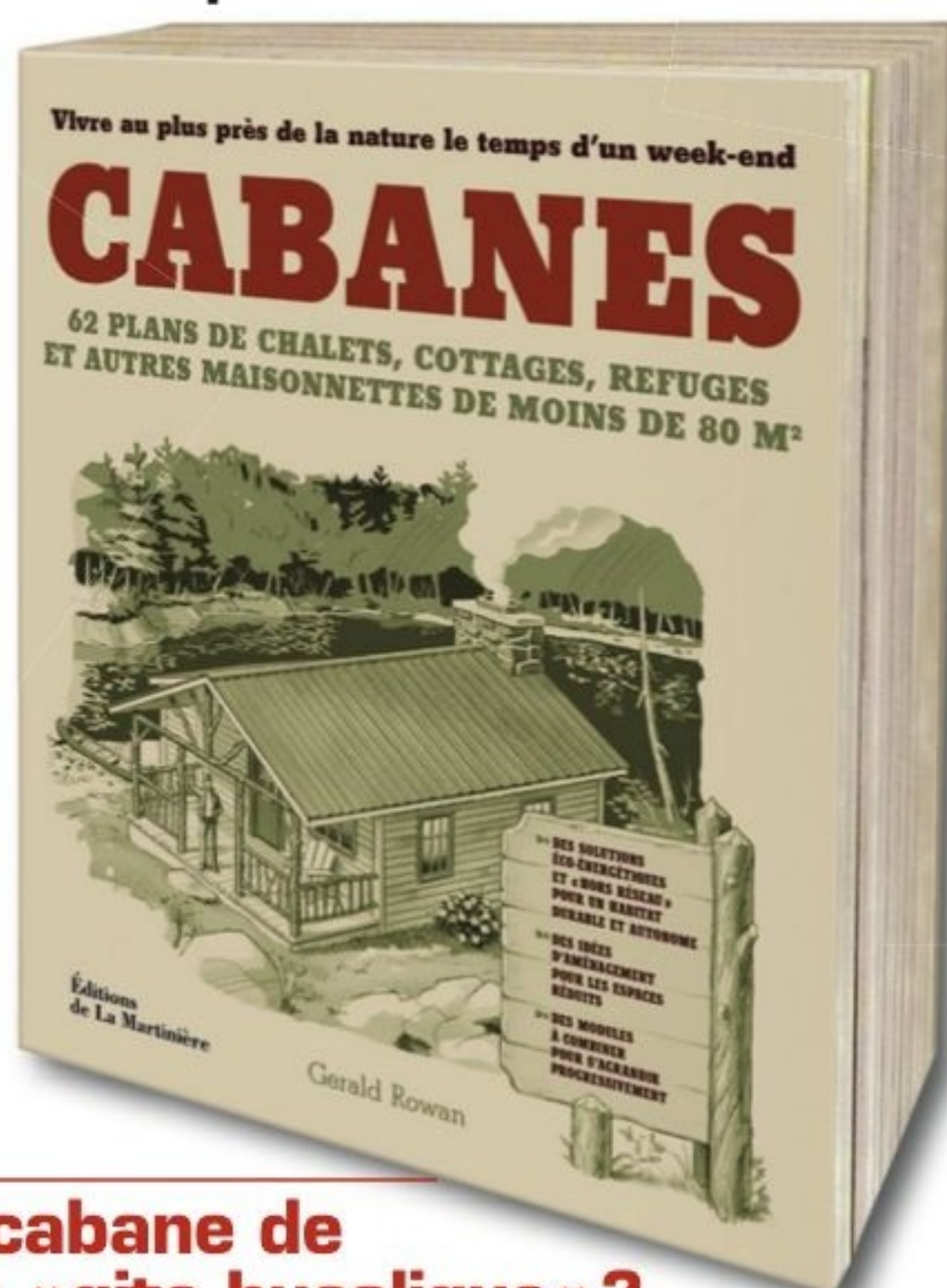
RÉDUCTION SPÉCIALE -5%



La boutique SCIENCE & VIE

www.laBoutiqueScienceetVie.com

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



Êtes-vous « cabane de pêcheur » ou « gîte bucolique » ?

Pour tous ceux qui rêvent d'évasion et de retour aux sources, ce livre est un « must have » avec 62 plans de chalets, cottage, refuge de moins de 80 m² pour construire facilement sa propre maison de bois en pleine nature.

Cabanes - 19€

AUTEUR : GERALD ROWAN. DIM. 20 x 23,5 cm. 216 PAGES. LA MARTINIÈRE.

POUR COMMANDER ET S'INFORMER

www.laboutiquescienceetvie.com

Exclusivité Internet : Livraison en Points Relais®

Renvoyez le bon de commande avec votre règlement à
La Boutique SCIENCE & VIE - CS 30 271 - 27 092 ÉVREUX CEDEX 9

01 46 48 48 83 (Paiement par CB uniquement)

BON DE COMMANDE

Articles	Réf.	Quantité	Prix	Sous-total
Livre Au secours une bestiole	371.906	x	12,50 €	= €
Livre Toutes les bêtises de la nature	371.898	x	12,50 €	= €
Offre spéciale Livres Nature	371.914	x	23,75 €	= €
Livre Oiseaux de France	357.962	x	28,41 €	= €
Chargeur solaire adaptable tout sac à dos	371.864	x	139 €	= €
Livre Cabanes	371.880	x	19 €	= €
Lampes roues de vélo	371.872	x	17,90 €	= €
SOUS-TOTAL				€
FRAIS D'ENVOI (cocher la case de votre choix)				
<input type="checkbox"/> Envoi normal			5,90 €	
<input type="checkbox"/> Ma commande atteint 39 € Envoi Coliéco			GRATUIT	
<input type="checkbox"/> Envoi Colissimo suivi (72 h)			8,90 €	
<input type="checkbox"/> Ma commande atteint 75 € Envoi Colissimo suivi 72 h			GRATUIT	
TOTAL				€

Offres valables en France métropolitaine uniquement dans la limite des stocks disponibles jusqu'au 31/07/2013. 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 ☐.

L'OBJET INSOLITE DU MOIS

LES LAMPES
17,90 €
SEULEMENT



Incroyables, ces lumières pour roues de vélos !

Elles se vissent très facilement sur la valve de la roue et créent un cercle de lumière quand vous pédalez, uniquement la nuit et au mouvement de la roue.

Lampes Mathmos de roues de vélo

LAMPES LED COULEUR DE HAUTE QUALITÉ : Ø : 1,5 cm. L 6 cm.
LOT DE 2. 6 PILES BOUTON A610 FOURNIES. POUR TOUS VÉLOS (SAUF VÉLO DE COURSE).



Vidéo explicative sur notre site web !

À RENVoyer DANS UNE ENVELOPPE AFFRANCHIE AVEC VOTRE RÈGLEMENT À :
LA BOUTIQUE SCIENCE & VIE - CS 30 271 - 27 092 ÉVREUX CEDEX 9

> Mes coordonnées

☐ M. ☐ M^{me} ☐ M^{lle}

Nom _____ Prénom _____

Adresse _____

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

CP _____ Ville _____

Tél. _____

Grâce à votre N° de téléphone (portable) nous pourrions 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

Je règle par carte bancaire

☐ Je règle en 1 fois la totalité de ma commande

☐ Je règle en 3 fois sans frais (à partir de 99€ d'achat)

Carte bancaire N° _____

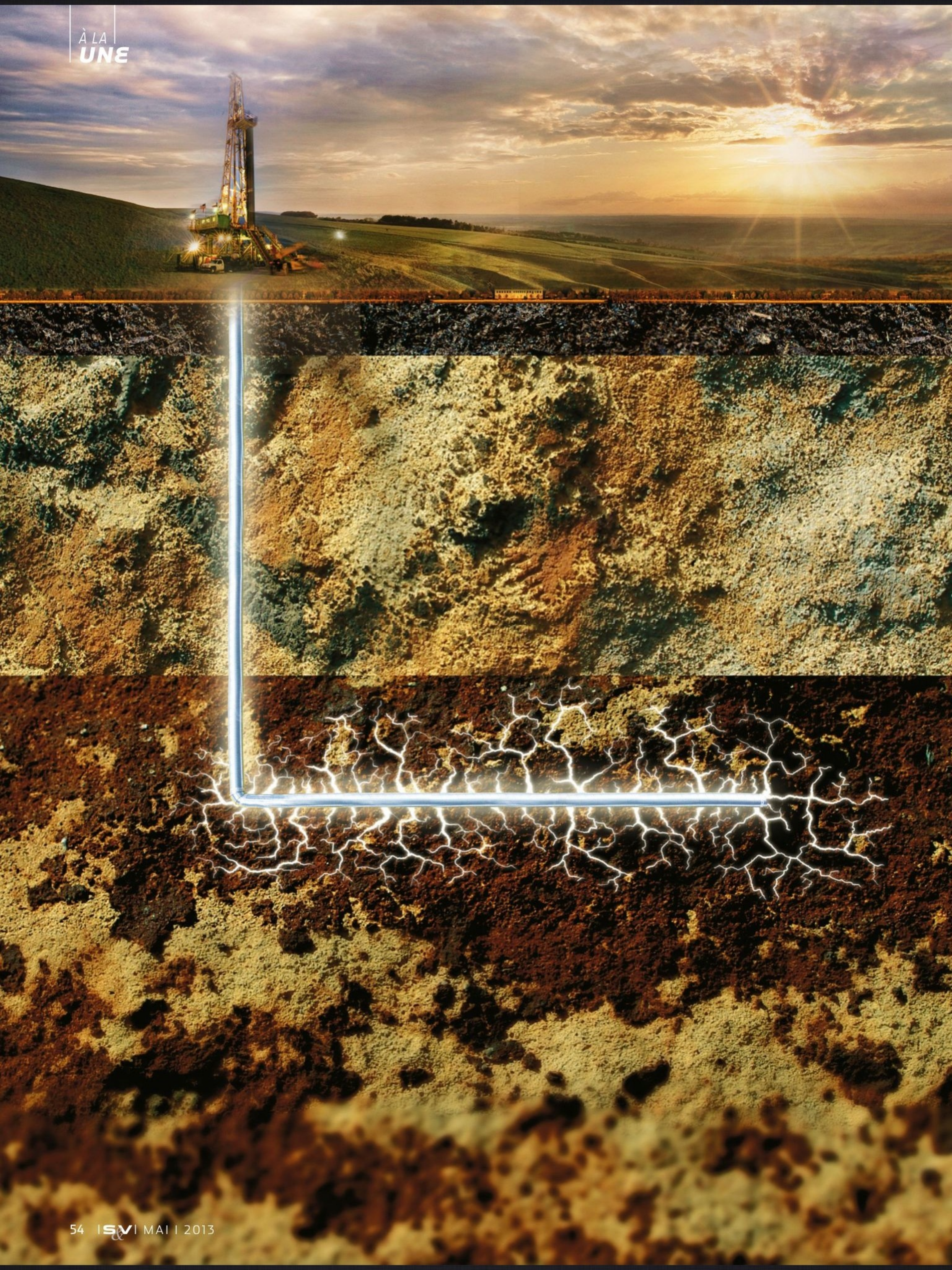
Expire fin : ____/____/____

Cryptogramme _____

Les 3 chiffres au dos de votre CB

Date et signature obligatoires

PAIEMENT
3x SANS
FRAIS



A l'heure où se profile la transition énergétique, le gaz de schiste représente une ressource miracle pour les uns, un cauchemar écologique pour les autres. Qu'en est-il réellement ? Les réponses de la science aux 7 questions essentielles.

GAZ DE SCHISTE

LE DOSSIER VÉRITÉ

PAR VINCENT
NOUYRIGAT

“Personne ne l’a vu venir”, souffle Anne-Sophie Corbeau, de l’Agence internationale de l’énergie. Alors que, au milieu des années 2000, les Etats-Unis se désespéraient de leur dépendance aux importations d’hydrocarbures, voilà qu’ils se targuent aujourd’hui de leur prochaine... indépendance énergétique. Et ce n’est pas de l’esbroufe: Il suffit de voir les quais déserts des terminaux portuaires de Louisiane, bâtis à grands frais pour accueillir les méthaniers en provenance de Russie ou du Moyen-Orient. “Nous assistons à l’un des phénomènes les plus spectaculaires de l’histoire de l’éner-

gie, plus fort encore, par son ampleur et sa rapidité, que le surgissement du nucléaire dans les années 1970”, lance Patrice Geoffron, directeur du Centre de géopolitique de l’énergie et des matières premières. A l’origine de cette révolution ? Le gaz de schiste. Le fameux gaz de schiste, dont l’extraction fiévreuse du sous-sol américain a soulevé en quelques années une onde de choc dans le monde entier, suscitant à la fois enthousiasme délirant et folle inquiétude. Mais nulle part ailleurs dans le monde ce sujet n’est aussi explosif qu’en France, où la violence des échanges égale celle des débats →

→ sur les OGM ou le nucléaire. Un sujet qu'il faut pourtant affronter sereinement, à l'heure du grand débat national sur la transition énergétique qui doit s'achever le mois prochain.

Comment en est-on arrivé là? L'histoire de cette innovation est d'abord celle de quelques pionniers américains débrouillards et obstinés, dont la lubie était de faire cracher le sous-sol. Car le

UN NOUVEL ELDORADO QUI ENFLAMME LES COMPAGNIES GAZIÈRES DU MONDE ENTIER

gaz de schiste n'est rien d'autre que du gaz naturel, du banal méthane (CH_4). Rien à signaler, non plus, sur le mode de formation de cet hydrocarbure: de la matière organique (plancton ou autre), tombée il y a des millions d'années dans les sédiments, mijote et se transforme à mesure qu'elle est enfouie sous les couches géologiques. Seulement, au lieu de migrer vers la surface pour former ensuite des gisements conventionnels, ces molécules de gaz naturel sont restées piégées dans les pores de leur couche argileuse de naissance, leur roche-mère. Les ingénieurs pétroliers connaissaient tous la présence, en quantités possiblement phénoménales, de ce "gaz de roche-mère". Mais comment espérer extraire ce gaz disséminé dans de la roche imperméable à 2 000 ou 3 000 mètres de profondeur? Seuls quelques techniciens imaginèrent pouvoir faire sauter le verrou de cette prison géologique. Et de quelle manière!

INGÉNIERIE COW-BOY, SANS FOI NI LOI

Dans les années 1950, ces bricoleurs explosaient carrément à la nitroglycérine les couches du champ Big Sandy, dans le Kentucky. Plus impressionnant: à la fin des années 1960, les États-Unis réalisèrent trois essais nucléaires au Nouveau-Mexique dans le but de stimuler des gisements gaziers récalcitrants. L'ennui, c'est que ces bombes, deux fois plus puissantes que celle

d'Hiroshima, avaient tendance à rendre le gaz... radioactif. Des projets plus raisonnables virent le jour dans les années 1970. Le département de l'Énergie travaillait alors à perfectionner une vieille technique expérimentée en 1947, dans le Kansas: la fracturation hydraulique, c'est-à-dire l'injection sous pression d'un fluide (carburant, eau) dans la dizaine de mètres d'épaisseur de la

roche-mère. Dans le même temps, l'industrie pétrolière s'armait de têtes de forage dirigées capables de tracer des

puits horizontaux – pour passer sous une ville par exemple. Plusieurs petites compagnies eurent alors l'idée de combiner ces deux techniques: creuser un puits horizontal, avant de fracturer ensuite la couche sur des centaines de mètres dans le sens de la longueur



– une fracturation horizontale. L'objectif étant, on l'aura compris, de soutirer un maximum de gaz.

Lors de la décennie 1990, quelques audacieux "fractureurs" firent leurs armes dans le bassin sédimentaire du Barnett, au Texas. À force de persévérance, une société familiale, Mitchell Energy, trouva vers 2005 la bonne recette physico-chimique garantissant la rentabilité de l'opération. La suite ressemble à la ruée vers l'or: des centaines d'entrepreneurs

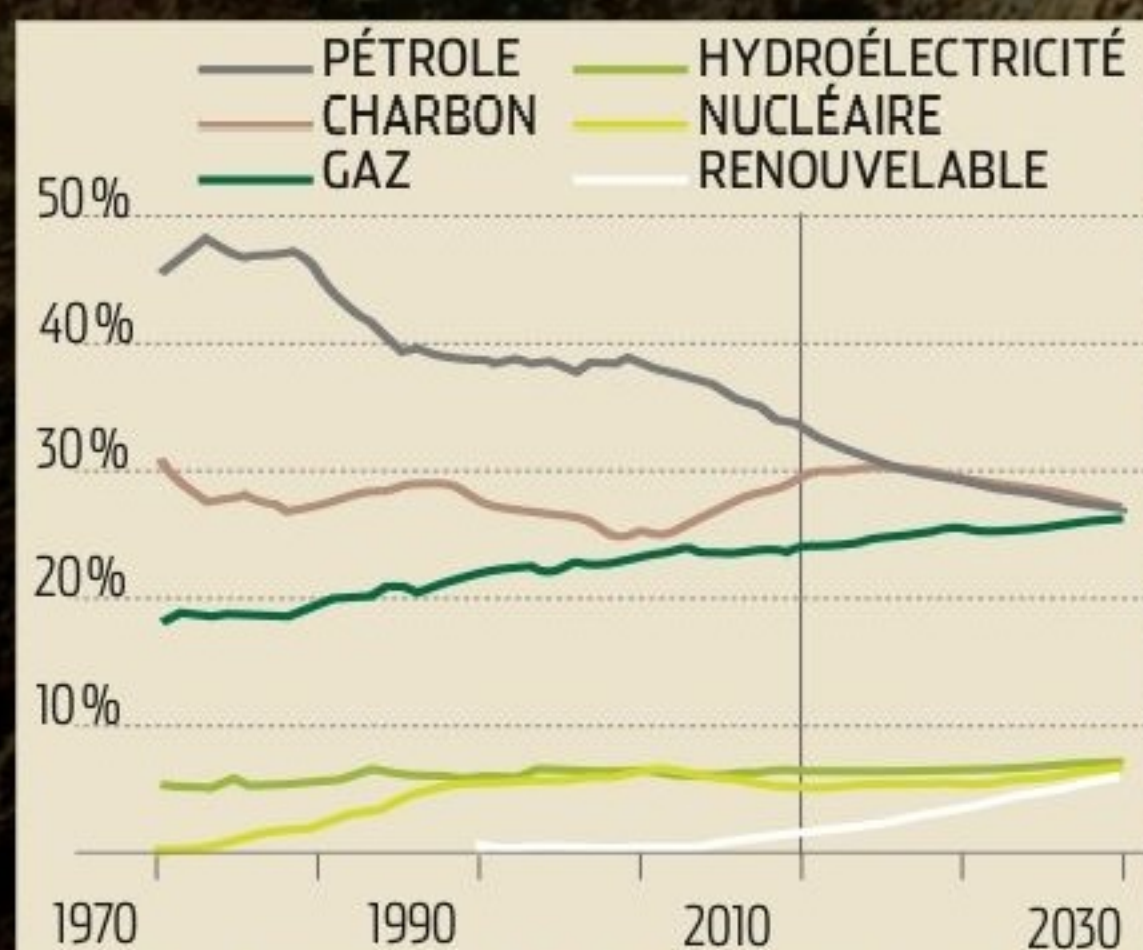
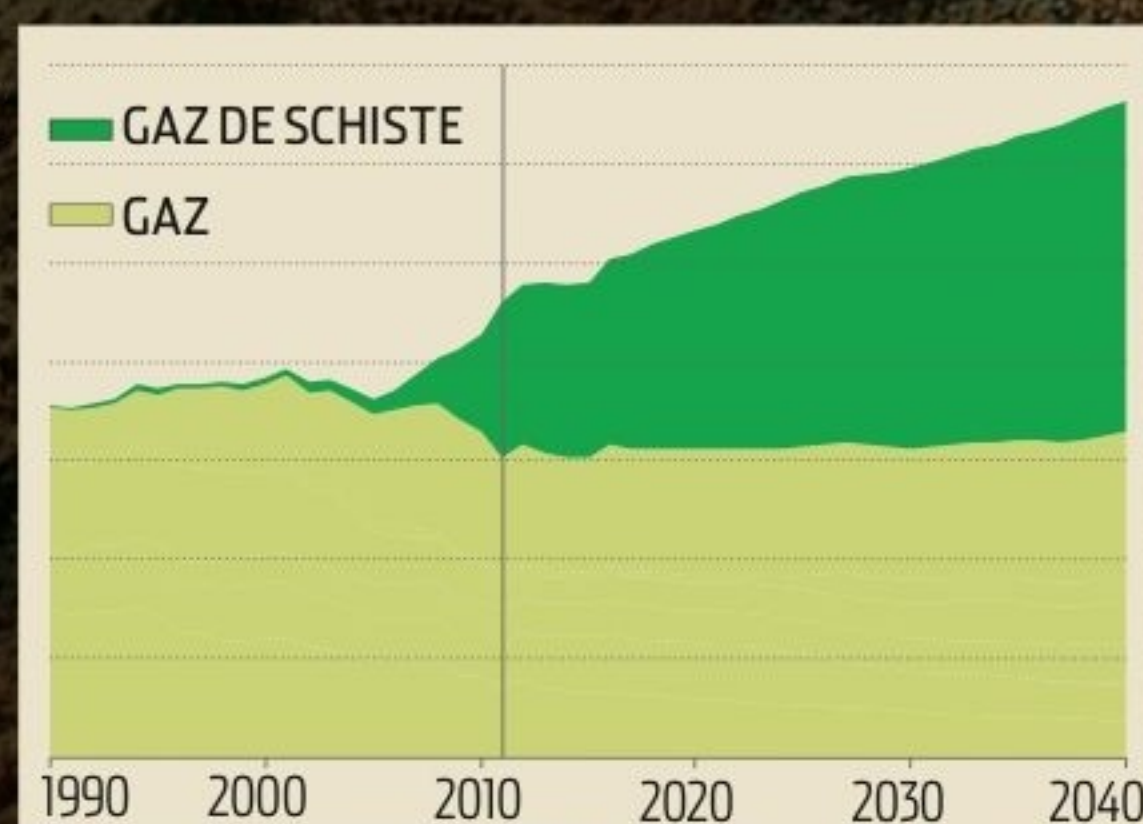
agressifs louent des tours de forage et convergent vers le Barnett. Puis vers les roches-mères, depuis longtemps identifiées mais délaissées, des bassins sédimentaires de Fayetteville, de Marcellus, d'Eagle Ford, sont prises d'assaut. Les conditions de travail sont spartiates, les puits consolidés à la vavite, les fracturations à haute pression pas toujours maîtrisées... Bref, de l'ingénierie cow-boy sans foi ni loi. Les Majors n'entreront dans le jeu que vers 2008. Au total, en moins de dix ans,





UNE "SUCCESS STORY" AMÉRICAINE

En cinq ans, l'extraction du gaz de schiste (photos) a quasiment offert son indépendance énergétique aux Etats-Unis (courbe ci-contre). A l'échelle de la planète, le gaz pourrait même devenir l'énergie phare du XXI^e s (en dessous).



SOURCES: BP - EIA

plus de 50 000 puits ont été creusés dans le sol américain. Pour un résultat spectaculaire: non seulement le déclin de la production de gaz américain est durablement enravé (voir courbe), mais les Etats-Unis sont en passe de devenir le premier producteur mondial de gaz naturel devant l'ogre russe! En prime, l'Oncle Sam s'est racheté une petite virginité climatique, en consommant logiquement moins de charbon...

UNE REDISTRIBUTION DES RÉSERVES

Depuis cinq ans, les compagnies gazières brûlent de reproduire sur d'autres continents ce modèle américain. Leurs géologues ont compulsé les archives, cartes et échantillons, afin de déceler les roches-mères présentant le meilleur potentiel. Assaillie de demandes du monde entier, l'agence américaine d'information sur l'énergie (EIA) a dressé une liste de 48 bassins sédimentaires prometteurs, dans 32 pays. Il en ressort une bien meilleure répartition géographique que celle des gisements conventionnels.

Certaines régions, peu familières de la production d'hydrocarbures, regardent désormais leur sous-sol avec un œil neuf et pétillant. Avec, en toile de fond, une possible redistribution de la carte énergétique: selon Anne-Sophie Corbeau, "la répartition mondiale des réserves de gaz qui se concentrait autour du trio Russie-Iran-Qatar pourrait se reformer à l'avenir autour de deux grands pôles, Etats-Unis et Chine". Et, manifestement, l'Europe ne manque pas non plus de gaz de schiste, au grand désarroi de la Russie, qui utilise ses ressources comme un instrument de pression. "La Pologne, qui cherchait depuis longtemps à s'affranchir des Russes, se retrouve avec apparemment beaucoup de gaz sous les pieds, et elle entend bien l'exploiter", observe Anne-Sophie Corbeau. On le voit, l'histoire du gaz de schiste ne se résume pas une simple aventure technologique... Surtout qu'un autre pays européen est dans le viseur des groupes gaziers en raison de son sous-sol prometteur: la France. →

LE GAZ DE SCHISTE, C'EST QUOI ?

Le gaz de schiste est du gaz naturel. Simplement, au lieu d'avoir migré vers de grands réservoirs, ses molécules de méthane sont restées piégées dans les pores de leur roche de naissance, une argile très peu perméable. Les pétroliers doivent donc ici extraire un gaz disséminé au sein d'une couche récalcitrante.

[illegible]

ECRANS&MEDIAS

«Ce que j'ai découvert m'a choqué»

Nous à l'endroit des parents, le LK, Karla Kovaly, parle anglais et s'occupe en France, à Paris, de la vie de son fils. Cinq ans par habitude au primaire, elle a pu aller à l'école, à 6 ans, 11 ans, 15 ans, 17 ans, 19 ans, 21 ans, 23 ans, 25 ans, 27 ans, 29 ans, 31 ans, 33 ans, 35 ans, 37 ans, 39 ans, 41 ans, 43 ans, 45 ans, 47 ans, 49 ans, 51 ans, 53 ans, 55 ans, 57 ans, 59 ans, 61 ans, 63 ans, 65 ans, 67 ans, 69 ans, 71 ans, 73 ans, 75 ans, 77 ans, 79 ans, 81 ans, 83 ans, 85 ans, 87 ans, 89 ans, 91 ans, 93 ans, 95 ans, 97 ans, 99 ans, 101 ans, 103 ans, 105 ans, 107 ans, 109 ans, 111 ans, 113 ans, 115 ans, 117 ans, 119 ans, 121 ans, 123 ans, 125 ans, 127 ans, 129 ans, 131 ans, 133 ans, 135 ans, 137 ans, 139 ans, 141 ans, 143 ans, 145 ans, 147 ans, 149 ans, 151 ans, 153 ans, 155 ans, 157 ans, 159 ans, 161 ans, 163 ans, 165 ans, 167 ans, 169 ans, 171 ans, 173 ans, 175 ans, 177 ans, 179 ans, 181 ans, 183 ans, 185 ans, 187 ans, 189 ans, 191 ans, 193 ans, 195 ans, 197 ans, 199 ans, 201 ans, 203 ans, 205 ans, 207 ans, 209 ans, 211 ans, 213 ans, 215 ans, 217 ans, 219 ans, 221 ans, 223 ans, 225 ans, 227 ans, 229 ans, 231 ans, 233 ans, 235 ans, 237 ans, 239 ans, 241 ans, 243 ans, 245 ans, 247 ans, 249 ans, 251 ans, 253 ans, 255 ans, 257 ans, 259 ans, 261 ans, 263 ans, 265 ans, 267 ans, 269 ans, 271 ans, 273 ans, 275 ans, 277 ans, 279 ans, 281 ans, 283 ans, 285 ans, 287 ans, 289 ans, 291 ans, 293 ans, 295 ans, 297 ans, 299 ans, 301 ans, 303 ans, 305 ans, 307 ans, 309 ans, 311 ans, 313 ans, 315 ans, 317 ans, 319 ans, 321 ans, 323 ans, 325 ans, 327 ans, 329 ans, 331 ans, 333 ans, 335 ans, 337 ans, 339 ans, 341 ans, 343 ans, 345 ans, 347 ans, 349 ans, 351 ans, 353 ans, 355 ans, 357 ans, 359 ans, 361 ans, 363 ans, 365 ans, 367 ans, 369 ans, 371 ans, 373 ans, 375 ans, 377 ans, 379 ans, 381 ans, 383 ans, 385 ans, 387 ans, 389 ans, 391 ans, 393 ans, 395 ans, 397 ans, 399 ans, 401 ans, 403 ans, 405 ans, 407 ans, 409 ans, 411 ans, 413 ans, 415 ans, 417 ans, 419 ans, 421 ans, 423 ans, 425 ans, 427 ans, 429 ans, 431 ans, 433 ans, 435 ans, 437 ans, 439 ans, 441 ans, 443 ans, 445 ans, 447 ans, 449 ans, 451 ans, 453 ans, 455 ans, 457 ans, 459 ans, 461 ans, 463 ans, 465 ans, 467 ans, 469 ans, 471 ans, 473 ans, 475 ans, 477 ans, 479 ans, 481 ans, 483 ans, 485 ans, 487 ans, 489 ans, 491 ans, 493 ans, 495 ans, 497 ans, 499 ans, 501 ans, 503 ans, 505 ans, 507 ans, 509 ans, 511 ans, 513 ans, 515 ans, 517 ans, 519 ans, 521 ans, 523 ans, 525 ans, 527 ans, 529 ans, 531 ans, 533 ans, 535 ans, 537 ans, 539 ans, 541 ans, 543 ans, 545 ans, 547 ans, 549 ans, 551 ans, 553 ans, 555 ans, 557 ans, 559 ans, 561 ans, 563 ans, 565 ans, 567 ans, 569 ans, 571 ans, 573 ans, 575 ans, 577 ans, 579 ans, 581 ans, 583 ans, 585 ans, 587 ans, 589 ans, 591 ans, 593 ans, 595 ans, 597 ans, 599 ans, 601 ans, 603 ans, 605 ans, 607 ans, 609 ans, 611 ans, 613 ans, 615 ans, 617 ans, 619 ans, 621 ans, 623 ans, 625 ans, 627 ans, 629 ans, 631 ans, 633 ans, 635 ans, 637 ans, 639 ans, 641 ans, 643 ans, 645 ans, 647 ans, 649 ans, 651 ans, 653 ans, 655 ans, 657 ans, 659 ans, 661 ans, 663 ans, 665 ans, 667 ans, 669 ans, 671 ans, 673 ans, 675 ans, 677 ans, 679 ans, 681 ans, 683 ans, 685 ans, 687 ans, 689 ans, 691 ans, 693 ans, 695 ans, 697 ans, 699 ans, 701 ans, 703 ans, 705 ans, 707 ans, 709 ans, 711 ans, 713 ans, 715 ans, 717 ans, 719 ans, 721 ans, 723 ans, 725 ans, 727 ans, 729 ans, 731 ans, 733 ans, 735 ans, 737 ans, 739 ans, 741 ans, 743 ans, 745 ans, 747 ans, 749 ans, 751 ans, 753 ans, 755 ans, 757 ans, 759 ans, 761 ans, 763 ans, 765 ans, 767 ans, 769 ans, 771 ans, 773 ans, 775 ans, 777 ans, 779 ans, 781 ans, 783 ans, 785 ans, 787 ans, 789 ans, 791 ans, 793 ans, 795 ans, 797 ans, 799 ans, 801 ans, 803 ans, 805 ans, 807 ans, 809 ans, 811 ans, 813 ans, 815 ans, 817 ans, 819 ans, 821 ans, 823 ans, 825 ans, 827 ans, 829 ans, 831 ans, 833 ans, 835 ans, 837 ans, 839 ans, 841 ans, 843 ans, 845 ans, 847 ans, 849 ans, 851 ans, 853 ans, 855 ans, 857 ans, 859 ans, 861 ans, 863 ans, 865 ans, 867 ans, 869 ans, 871 ans, 873 ans, 875 ans, 877 ans, 879 ans, 881 ans, 883 ans, 885 ans, 887 ans, 889 ans, 891 ans, 893 ans, 895 ans, 897 ans, 899 ans, 901 ans, 903 ans, 905 ans, 907 ans, 909 ans, 911 ans, 913 ans, 915 ans, 917 ans, 919 ans, 921 ans, 923 ans, 925 ans, 927 ans, 929 ans, 931 ans, 933 ans, 935 ans, 937 ans, 939 ans, 941 ans, 943 ans, 945 ans, 947 ans, 949 ans, 951 ans, 953 ans, 955 ans, 957 ans, 959 ans, 961 ans, 963 ans, 965 ans, 967 ans, 969 ans, 971 ans, 973 ans, 975 ans, 977 ans, 979 ans, 981 ans, 983 ans, 985 ans, 987 ans, 989 ans, 991 ans, 993 ans, 995 ans, 997 ans, 999 ans, 1001 ans, 1003 ans, 1005 ans, 1007 ans, 1009 ans, 1011 ans, 1013 ans, 1015 ans, 1017 ans, 1019 ans, 1021 ans, 1023 ans, 1025 ans, 1027 ans, 1029 ans, 1031 ans, 1033 ans, 1035 ans, 1037 ans, 1039 ans, 1041 ans, 1043 ans, 1045 ans, 1047 ans, 1049 ans, 1051 ans, 1053 ans, 1055 ans, 1057 ans, 1059 ans, 1061 ans, 1063 ans, 1065 ans, 1067 ans, 1069 ans, 1071 ans, 1073 ans, 1075 ans, 1077 ans, 1079 ans, 1081 ans, 1083 ans, 1085 ans, 1087 ans, 1089 ans, 1091 ans, 1093 ans, 1095 ans, 1097 ans, 1099 ans, 1101 ans, 1103 ans, 1105 ans, 1107 ans, 1109 ans, 1111 ans, 1113 ans, 1115 ans, 1117 ans, 1119 ans, 1121 ans, 1123 ans, 1125 ans, 1127 ans, 1129 ans, 1131 ans, 1133 ans, 1135 ans, 1137 ans, 1139 ans, 1141 ans, 1143 ans, 1145 ans, 1147 ans, 1149 ans, 1151 ans, 1153 ans, 1155 ans, 1157 ans, 1159 ans, 1161 ans, 1163 ans, 1165 ans, 1167 ans, 1169 ans, 1171 ans, 1173 ans, 1175 ans, 1177 ans, 1179 ans, 1181 ans, 1183 ans, 1185 ans, 1187 ans, 1189 ans, 1191 ans, 1193 ans, 1195 ans, 1197 ans, 1199 ans, 1201 ans, 1203 ans, 1205 ans, 1207 ans, 1209 ans, 1211 ans, 1213 ans, 1215 ans, 1217 ans, 1219 ans, 1221 ans, 1223 ans, 1225 ans, 1227 ans, 1229 ans, 1231 ans, 1233 ans, 1235 ans, 1237 ans, 1239 ans, 1241 ans, 1243 ans, 1245 ans, 1247 ans, 1249 ans, 1251 ans, 1253 ans, 1255 ans, 1257 ans, 1259 ans, 1261 ans, 1263 ans, 1265 ans, 1267 ans, 1269 ans, 1271 ans, 1273 ans, 1275 ans, 1277 ans, 1279 ans, 1281 ans, 1283 ans, 1285 ans, 1287 ans, 1289 ans, 1291 ans, 1293 ans, 1295 ans, 1297 ans, 1299 ans, 1301 ans, 1303 ans, 1305 ans, 1307 ans, 1309 ans, 1311 ans, 1313 ans, 1315 ans, 1317 ans,

l'éon qui voulait éviter que des barons ne s'emparent de ces ressources locales pour guerroyer contre l'Empire". L'Hexagone ayant perdu sa tradition minière depuis plus d'un demi-siècle, cette relocalisation de l'extraction n'en est que plus rude.

Au printemps 2011, une loi interdisant la fracturation hydraulique est votée au parlement, par 176 voix contre 151. Tout contrevenant se voit passible d'un an de prison et de 75 000 euros d'amende – y compris, d'ailleurs, s'il pratique la classique fracturation verticale sur un gisement conventionnel. C'est une première mondiale. L'exploration elle-même n'est plus possible puisqu'elle exige aussi des stimulations hydrauliques. Les trois permis du Sud-Est sont donc abrogés.

CACOPHONIE GOUVERNEMENTALE

Maintenant, ce sont les industriels qui s'insurgent. D'aucuns regrettent la disparition du génie français qui avait su exploiter sans accroc, à partir de 1957, le volumineux gisement

Docu Sur Arte, une enquête menée contre la Pennsylvanie et la Pologne filme, sans discours militant, les ravages des exploitations pétrogazières et la lutte des villageois.

10,
dé-
lo-

**Gaz de schiste,
forage
au ventre**

**GAZ DE SCHISTE :
PAS DANS MON JARDIN !**

La suspension provisoire des permis d'exploration de gaz de schiste n'a pas
dans le sud-est de la France. Sur place, la résistance

manifestation contre le géant pétrolier américain Chevron

[illegible]

tées, incluant les Causses et les Cévennes, misent sur le tourisme vert et visent une inscription au patrimoine mondial de l'humanité. Il est loin le modèle américain, où de grandes plaines quasi désertes offrent un terrain de jeu idéal à quelque 1 200 tours de forage – la France n'en a qu'une seule de présentable –, tandis que le droit du sous-sol assure au propriétaire du terrain de juteux bénéfices. Ce qui facilite plutôt l'accueil des riverains. *“ Rien de tel en France où l'Etat s'approprie les ressources stratégiques du sous-sol,* signale Christophe Didier chargé des risques du sous-sol à l'Ineris. *Cette tradition remonte à Napo-*



"GASLAND" : LE FILM DOCUMENTAIRE QUI A MIS LE FEU AU GAZ DE SCHISTE

L'action se déroule au fin fond du Colorado, dans une maison proche de puits de gaz de schiste. Un vieil homme sort un briquet, le frotte puis met le feu... à l'eau qui sort du robinet de sa cuisine, gorgé de gaz. Cette scène, parmi d'autres, est tirée du documentaire *Gasland* consacré aux ravages de cette exploitation gazière aux Etats-Unis. Sorti dans les salles en 2010, puis diffusé sur une chaîne américaine, ce film choc a fait l'effet d'une bombe à l'heure où de nombreux pays commençaient tout juste à s'intéresser à cette nouvelle manne. *Gasland* n'est sans doute pas pour rien dans la violence de l'opposition au gaz de schiste en France. Et les efforts des industriels pour dénoncer ses approximations n'y ont rien fait – en réalité, le méthane qui s'échappe du robinet en question ne viendrait pas de l'exploitation du gaz de schiste. Depuis, Hollywood s'est emparé de ce sujet de société à travers le récent *Promised Land*. Lequel dresse une image tout aussi sombre du phénomène...

de Lacq "dont le gaz contenait de l'hydrogène sulfuré à la fois ultra-corrosif pour les aciers et mortel pour les humains – par précaution, des masques à gaz avaient été distribués à 10 km à la ronde", rappelle Roland Vially, de l'IFP. Mais les ingénieurs pétroliers ne sont pas les seuls à exprimer leur frustration. Les économistes font de plus en plus entendre leur voix. Pourquoi? Notre pays importe 98 % de son gaz, le reste provient du gisement quasi épuisé de Lacq, dont la fermeture est prévue à la fin 2013. Si bien que la facture énergétique de la France est abyssale, atteignant pour le seul gaz naturel 13 milliards d'euros en 2011. Or, cette situation est amenée à durer car "il n'existe pas de scénario prospectif sérieux où l'on ne consomme plus de gaz vers 2030, assure Patrice Geoffron. Le simple fait d'explorer nos éventuelles ressources pourrait avoir une valeur économique, au sens où elle modifierait le rapport de force avec nos fournisseurs de gaz dès lors plus enclins à revoir leurs prix à la

baisse pour nous dissuader de l'exploiter. S'il se trouve que le potentiel était révélé, nous pourrions le garder sous nos pieds telle une réserve stratégique en attendant de se mettre d'accord sur leur extraction".

Mais d'autres rêvent tout haut d'exploitation dans les plus brefs délais.

LA FRANCE BALANCE ENTRE PRINCIPE DE PRÉCAUTION ET ESPOIR ÉNERGÉTIQUE...

Difficile, en pleine crise, de ne pas être étourdi par la *success story* américaine, les 600 000 emplois créés ou ces prix du gaz quatre fois moindres qu'en Europe au bénéfice des industries américaines grandes consommatrices de gaz, comme la pétrochimie, ou d'électricité à l'image de la sidérurgie. D'où ces nombreux rapports sur la compétitivité qui font de l'exploitation des gaz de schiste une mesure phare, d'où aussi ces saillies du ministre du Redressement productif, Arnaud

de Montebourg, assénant qu'"il vaut mieux l'exploiter que l'importer".

Mais est-ce si sûr? Lors de la conférence environnementale, le 14 septembre dernier, François Hollande lançait à la tribune: "Dans l'état actuel de nos connaissances, personne, je dis bien personne ne peut affirmer que l'exploitation des gaz et huile de schiste par fracturation hydraulique, seule technique aujourd'hui connue,

est exempte de risques lourds pour la santé et pour l'environnement". Le ton est donné. A la suite de ce discours, sept demandes de permis d'exploration sont rejetées, car certains étaient suspectés de s'intéresser à la roche-mère. Dans cette atmosphère à couper au couteau, une circulaire du ministère de l'Ecologie, émise le 21 septembre 2012 auprès des préfets, précise même que toute tentative d'imagerie par ondes sismiques de ces formations géologiques depuis la surface était →

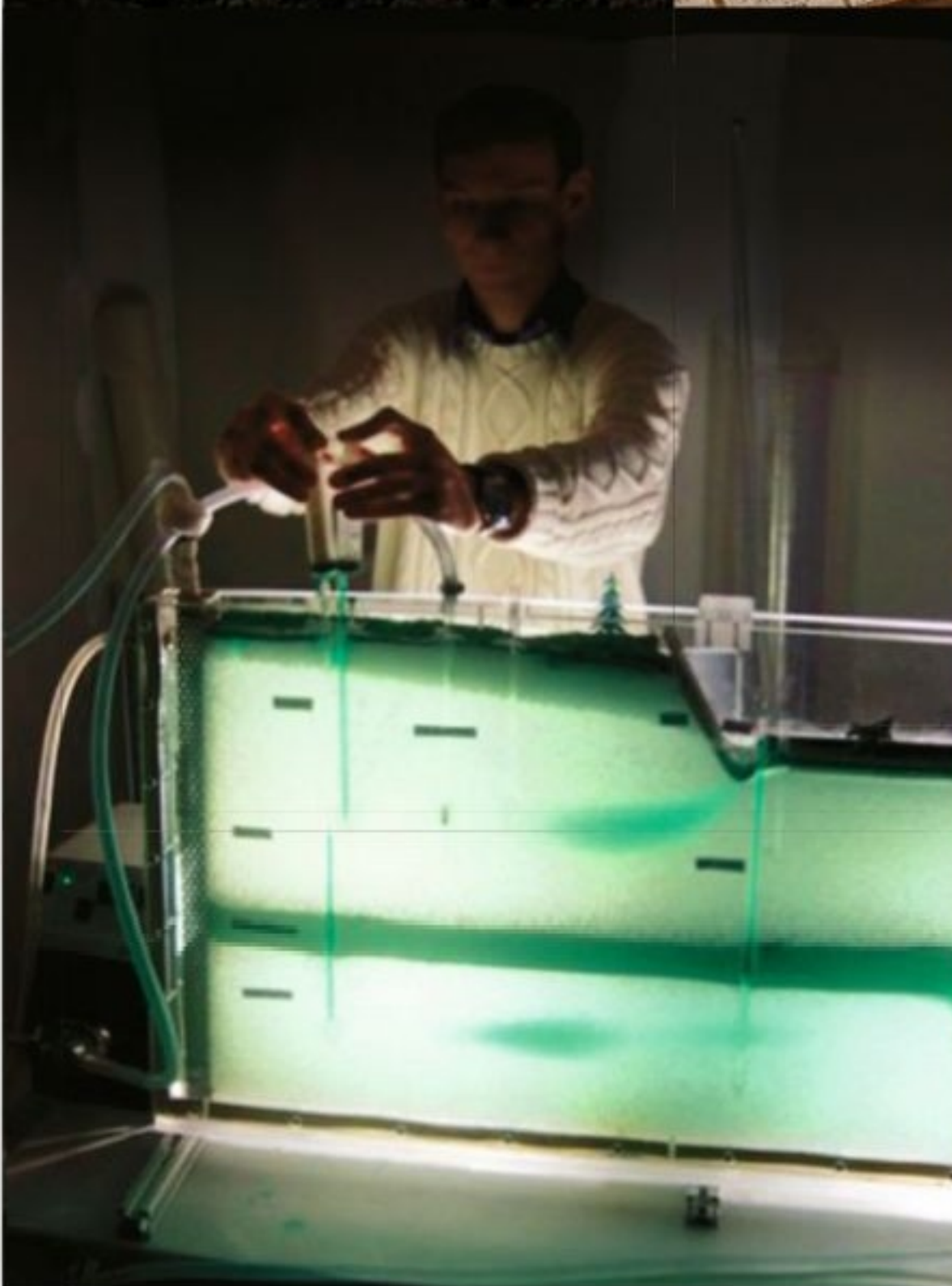
→ prohibée. En clair, il n'est pas permis d'en savoir plus sur cette hypothétique ressource. Une telle intransigeance ne se rencontre guère qu'en Bulgarie, fortement soupçonnée de céder aux pressions de la Russie, grande adversaire des gaz de schiste.

Certes, la recherche académique sur le sujet n'est pas interdite en France. Sauf que, en pratique, elle est impossible ! Les grands organismes scientifiques (CNRS, BRGM, Ineris, Ifpen) ont beau avoir défini dans un rapport très fouillé les axes de recherche, l'intention est restée lettre morte. *"Parce qu'il est devenu politiquement intenable en France de financer le moindre programme de recherche publique sur la question ; le blocage est total"*, analyse Jean-Reynald de Dreuz, hydrogéologue à l'université de Rennes. La poignée de scientifiques indépendants qui a l'audace de plancher sur le sujet est obligée de se cacher, de se greffer tant bien que mal à des forums scientifiques internationaux, voire de solliciter discrètement des fonds auprès de groupes pétroliers étrangers.

Leur situation est d'autant plus délicate, remarque Christophe Didier, *"que l'on peut trouver vain de passer du temps à étudier la fracturation hydraulique, interdite par la loi et qui, tel que cela se dessine, n'a pas d'avenir en France"*. Il faudra se contenter, cet automne, d'un simple rapport parlementaire sur les alternatives à cette technique. Ou se satisfaire de la connaissance privée et

UN NOUVEAU CHAMP DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Depuis à peine trois ans, le gaz de schiste mobilise la science : des géologues en quête de ressources parcourent les bibliothèques d'échantillons (ci-contre), des spécialistes de la formation des fractures lancent de nouvelles expériences...



très empirique issue des compagnies pétrolières... lesquelles ne souhaitent bien souvent s'exprimer que sous le couvert de l'anonymat, par crainte de remettre de l'huile sur le feu. Tout le monde s'accorde pourtant sur l'intérêt d'encadrer les compagnies, comme on impose des limites d'émissions de CO₂ aux constructeurs automobiles : *"La loi de 2011 interdisant la fractu-*

ration prévoyait une commission de suivi des techniques dédiée aux hydrocarbures de roches-mères, ainsi qu'un puits expérimental bardé de capteurs qui devait tenir lieu de site de recherche : eh bien, ni l'un ni l'autre n'ont été mis en œuvre", constate François Kalaydjian, responsable des technologies de développement durable à l'Ifpen.

DES VÉRITÉS ÉMERGENT...

Bien sûr, personne n'est dupe de la farouche volonté d'un organisme aussi lié à l'industrie que l'IFP de démontrer, à travers ce puits pilote, que l'exploit-

DR - G. LEIMDORFER/RAPHO

DES RÉACTIONS CONTRASTÉES DANS LE MONDE

Euphorie, hésitation, hostilité : le gaz de schiste ne laisse aucun pays indifférent, pour peu que son territoire recèle des gisements potentiels. Charge alors aux responsables politiques de faire la part entre les désirs d'indépendance énergétique et les inquiétudes manifestées.



ÉTATS-UNIS Toujours plus

Dans ce pays pionnier, le gaz de schiste représente déjà 30 % de la production nationale de gaz. Seul l'Etat de New York résiste toujours, avec son moratoire sur la fracturation qui court jusqu'en 2015.



CHINE Aucune hésitation

Doté potentiellement des plus importantes réserves mondiales, la Chine a fait du gaz un objectif de son douzième plan quinquennal. Et les grandes compagnies étrangères ont pu débuter l'exploration du pays.



POLOGNE Résolument pour

Fer de lance européen, la Pologne a déjà accordé 112 permis d'exploration, et une trentaine de puits ont même été forés. Les résultats des premières fracturations sont mitigés, mais la Pologne veut produire dès 2015.



IL N'Y A PAS QUE LE GAZ DE SCHISTE

Il existe en effet trois autres réserves atypiques de gaz naturel : le gaz compact, le gaz de houille et l'hydrate de gaz. Le premier est du méthane piégé dans des formations de calcaire ou de grès très peu perméables ; il est exploité intensivement aux États-Unis depuis 40 ans. Le gaz de houille, plus connu sous le funeste nom de grisou, se cache dans les anfractuosités du charbon, et il est à l'origine d'explosions dans les galeries de mine. La France mise aujourd'hui sur sa récupération, indique Roland Vially de l'Ifpen : *"Des études sérieuses montrent que le bassin Lorrain en contiendrait 370 milliards de mètres cubes"*, soit 8 ans de consommation nationale. D'autant qu'il n'y a pas besoin ici de fracturation hydraulique ! Enfin l'hydrate de gaz est du méthane emprisonné, en quantités prodigieuses, dans la glace du permafrost et dans les sédiments marins profonds. Un moyen de l'en extraire vient d'être testé avec succès au large du Japon (voir p. 46).

tation du gaz de schiste est parfaitement sûre. Il n'empêche, soutient Jean Reynald de Dreuzy, *"tous les scientifiques du monde, y compris les Américains, réclament un site expérimental afin de comprendre les phénomènes physico-chimiques que génère cette activité d'extraction. Car le développement des gaz de schiste s'est fait dans la précipitation, sans que quiconque n'ait mesuré l'état initial du sous-sol avant un forage ; il manque donc la moitié des données pour pouvoir juger de son impact réel !"* Sans compter que *"les compagnies ont gardé confidentielles la plupart des informations*

sur ces effets délétères", déplore Kirk Nordstrom de l'Institut d'études géologiques des États-Unis (USGS).

Ignorance, opacité, dogmatisme... La science commence tout juste à se pencher sur cette innovation énergétique. Les premiers fruits de cette recherche internationale ont déjà infléchi la position de quelques pays (voir ci-dessous). Car si les analyses sont encore balbutiantes, quelques vérités commencent à émerger. Des vérités pas toujours bonnes à entendre, selon que l'on appartient au camp des pour ou des contre. Mais des vérités dont il faut avoir pris connaissance pour se

forger une opinion éclairée, alors que la transition énergétique s'installe au cœur de l'actualité française avec un grand débat citoyen, puis un projet de loi prévu cet automne.

On l'a compris, le gaz de schiste se situe au carrefour exact du rêve énergétique et du cauchemar environnemental. Mais au-delà des opinions toutes faites et des certitudes bien arrêtées, qu'en est-il réellement du potentiel de cette ressource, des techniques de son extraction, des dégâts sur les sols ou même atmosphériques... En sept questions que tout le monde se pose, voici les réponses de la science. ■



GRANDE-BRETAGNE Pourquoi pas ?

Après un moratoire de plus d'un an et demi, à la suite du séisme déclenché par un essai de fracturation, le gouvernement a autorisé en décembre la reprise des explorations. Mais à des conditions hyper drastiques.



CANADA En plein doute

Seul pays en dehors des États-Unis à produire du gaz de schiste, le Canada est en proie à la violente opposition des habitants. Le doute s'est installé, comme en témoigne le moratoire en cours au Québec depuis mars 2011.



ALLEMAGNE Ni oui ni non

Le gouvernement a présenté, en février, un projet de loi interdisant la fracturation dans les zones d'eaux potables. Ce qui l'autorise ailleurs... Or la Rhénanie-Westphalie, où se trouve le gros des réserves, s'y oppose.



BULGARIE Résolument contre

Sous la pression de la rue – et de la Russie, dit-on – le parlement bulgare a voté début 2012 l'interdiction de la fracturation hydraulique par 166 voix contre 6. L'amende encourue, 50 millions d'euros, est à la hauteur des réticences.

LE DOSSIER VÉRITÉ EN 7 QUESTI

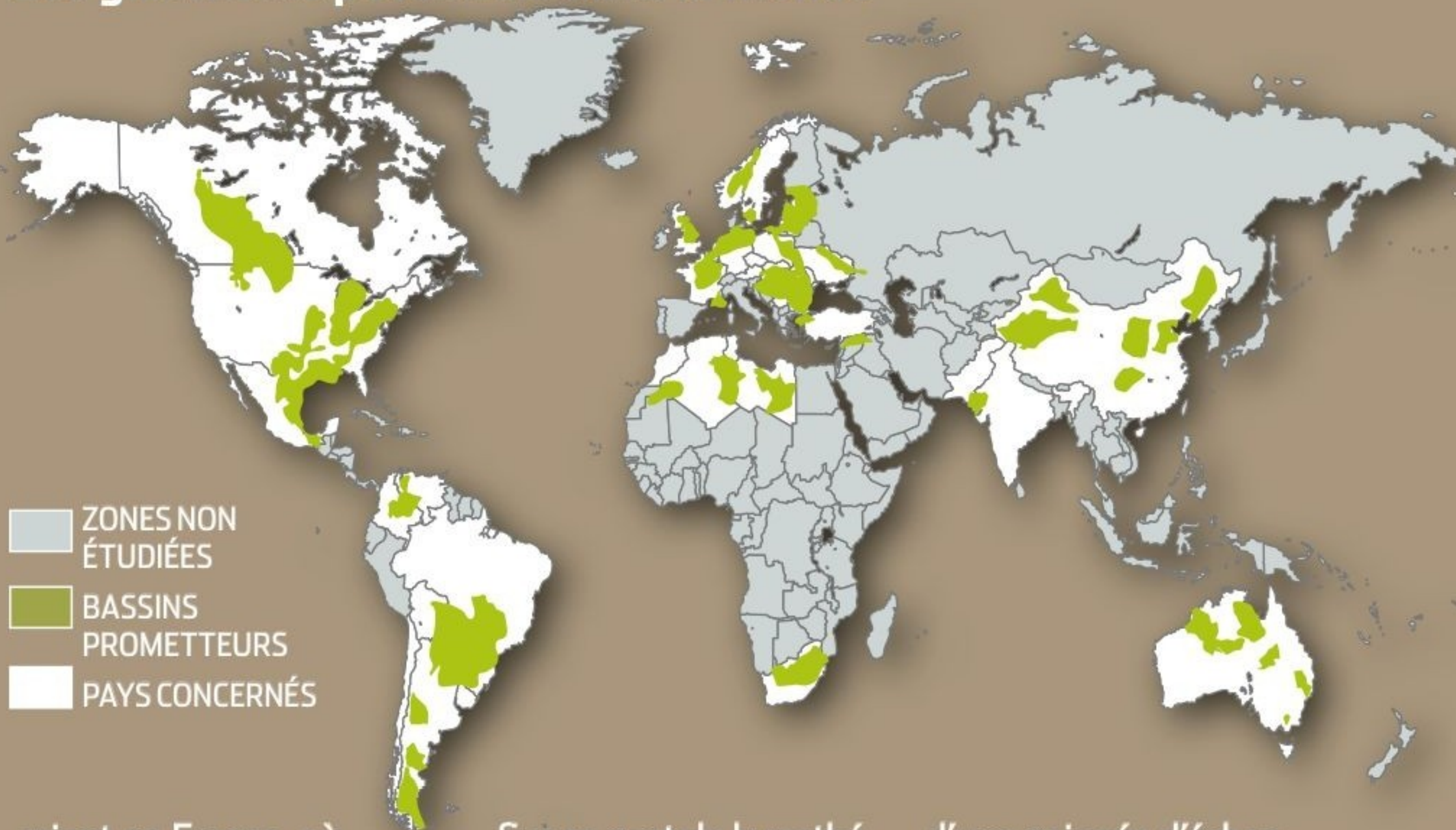
1

Ressource

S'AGIT-IL VRAIMENT D'UNE MANNE CONSIDÉRABLE ?

Les gisements potentiels dans le monde

A cette question, personne ne peut répondre avec certitude. Pas même les Américains, qui explorent pourtant leur sous-sol tous azimuts, mais où *"l'évaluation des réserves de gaz de schiste reste délicate en raison du manque de recul historique sur cette ressource récente : difficile, par exemple, de prévoir quelle sera la production totale d'un puits"*, relève Timothy Carr, professeur de géologie à l'université de Virginie-Occidentale. Rappelons que cette ressource est disséminée dans les pores de la roche-mère. Si bien qu'à la différence d'un gisement conventionnel aux contours bien définis, *"c'est la fracturation qui crée artificiellement un réservoir dont on peine à prévoir les caractéris-*



criant en France, où aucun forage n'a été entrepris. Certes, de formidables espoirs ont été placés dans le sous-sol hexagonal qui, selon l'agence américaine Energy Information Administration (EIA), renfermerait quelque 5 100 milliards de m³ de gaz récupérable, soit plus d'un

Sur ce pactole hypothétique, pas moins de 2150 milliards de m³ se trouveraient dans l'est du bassin de Paris, vers la Moselle... une zone où la présence de gaz de schiste est jugée par les spécialistes au mieux inaccessible, au pire improbable, tant les éléments disponibles ne permettent pas de conclure. Quant aux 2950 milliards restants, soit tout de même plus de dix fois l'emblématique gisement de Lacq, ils seraient concentrés dans le bassin du sud-est de la France (voir carte). De fait, c'est dans cette zone que les compagnies ont fait leurs demandes de permis, sur la foi d'anciens rapports de forages conventionnels,

d'une poignée d'échantillons et de cartes dressées à l'époque par Elf-Aquitaine.

Un manque flagrant de données récentes

Premier constat : la roche-mère, qui s'est déposée ici il y a 180 millions d'années, montre des caractéristiques prometteuses, comme un taux élevé de matière organique. En tout cas, aucun de ces paramètres n'interdit la présence juteuse de gaz. Mais de là à parier sur un quelconque volume... *"Il est impossible d'avancer quoi que ce soit avec les données anciennes et parcel-laires dont on dispose sur cette région, tranche Michel Séranne, spécialiste du bassin du Sud-*

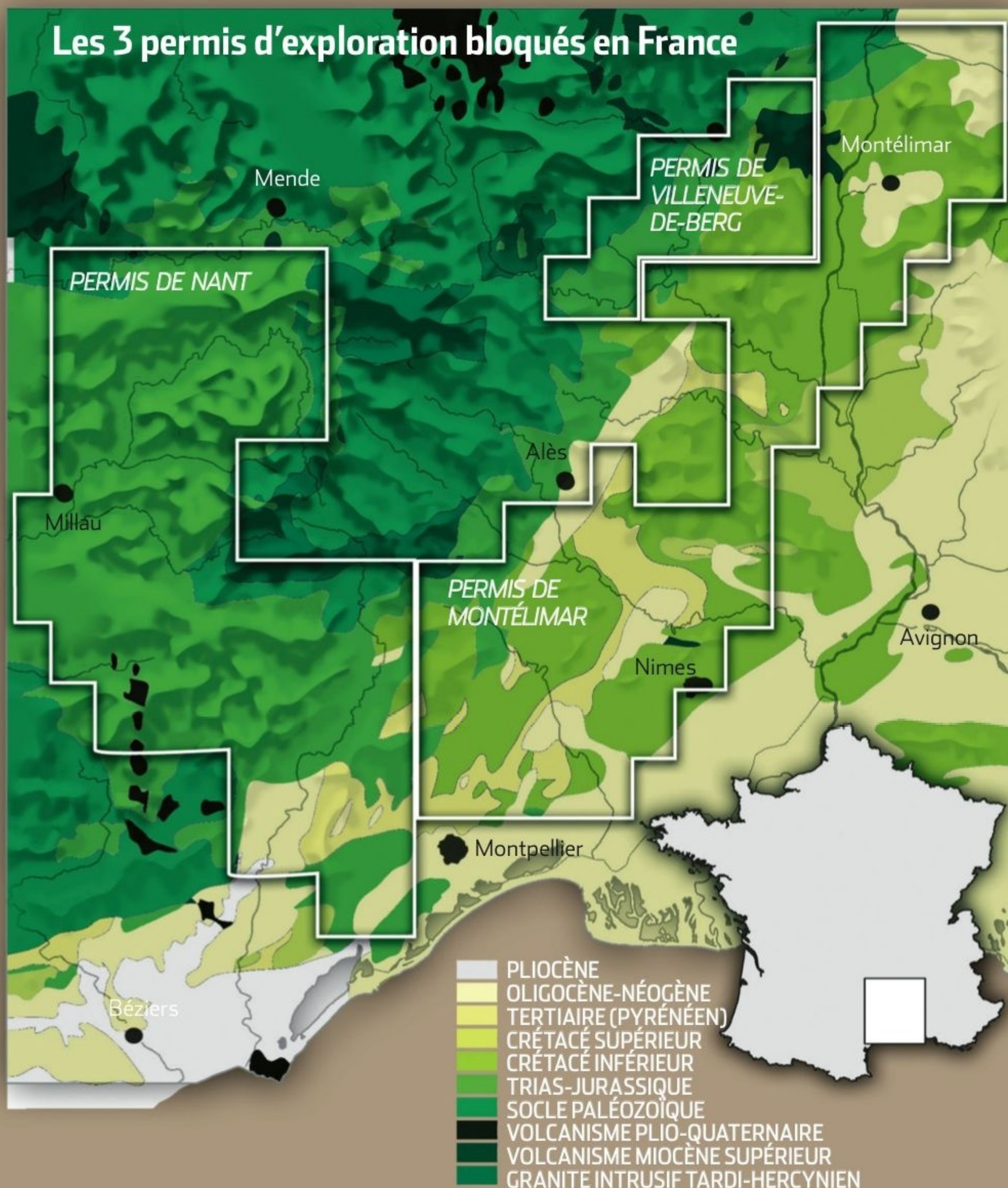
AUCUN GÉOLOGUE N'ACCORDE DE CRÉDIT AUX CHIFFRES ASTRONOMIQUES MAIS TOTALEMENT THÉORIQUES ANNONCÉS EN FRANCE ET AILLEURS

tiques", explique Bruno Courme, directeur chez Total de la filiale gaz de schiste Europe. En clair, on ne peut anticiper le volume d'une poche de gaz qui n'a pas encore été créée.

Ce manque de connaissance est encore plus

siècle de consommation nationale ! Mais aucun géologue n'accorde de crédit à ces chiffres astronomiques issus d'une évaluation toute théorique... en France comme dans les 31 autres pays évalués par l'EIA. Qu'on en juge.

Les 3 permis d'exploration bloqués en France



Est à l'université de Montpellier-II. Les campagnes de relevés d'imagerie sismique datent des années 1970-1980, avec des résolutions très grossières."

Au-delà du manque d'informations, la structure géologique de ce bassin est nettement plus complexe que les formations américaines prolifiques. En cause, les nombreuses

phases de déformations qu'il a subies (formation des Alpes, des Pyrénées, ouverture du Golfe du Lion...). "Même les zones les plus paisibles, visées par les pétroliers, sont très fragmentées en blocs réduits (de l'ordre de 10 km), justifiant chacun une étude géologique particulière, énonce Michel Séranne. Il est donc impos-

sible d'extrapoler un paramètre favorable à l'échelle de la région, comme on peut le faire sur les bassins américains plus réguliers qui permettent de raisonner sur des centaines de kilomètres." Taux de matière organique, épaisseur de la roche-mère, surface d'intérêt... L'EIA s'est laissée aller à des généralisations abusives. Michel Séranne

En mars 2010, la France accordait trois permis d'exploration dans le bassin du Sud-Est (datant du Paléozoïque et Jurassique), dont les archives laissaient entrevoir les promesses. L'exploration n'ayant jamais réellement débuté, le volume de gaz reste inconnu.

a calculé que "l'incertitude sur le montant des réserves atteint un facteur mille !" Soit de 3000 milliards de m³ (selon l'EIA) à... 3 petits milliards. Etant entendu que nombre d'endroits ne sont pas exploitables, rappelle Bruno Courme, car "il n'est pas question de forer dans le parc national des Cévennes ou près des gouffres".

Quand bien même il y aurait profusion de ressource, un dernier doute serait encore à lever : à savoir, la capacité de la roche à se laisser fracturer. Car cette propriété qui dépend de nombreux paramètres (teneur en argile, en quartz...) ne peut être modélisée. Le seul moyen d'en avoir le cœur net consiste à opérer un essai de fracturation hydraulique... interdite en France. Or, les premiers tests réalisés en Pologne ont été désespérément mauvais, alors que ceux entrepris en Argentine sont excellents. "En France, faute de travaux d'exploration, on ne peut strictement rien dire", résume Roland Vially, géologue de l'Ifpen. Ce qui laisse la porte ouverte à tous les fantasmes.

2 Extraction

POURQUOI EST-IL NÉCESSAIRE DE FRACTURER LA ROCHE POUR EXPLOITER LE GAZ DE SCHISTE ?

Parce qu'il n'existe pour l'instant aucun autre moyen d'extraire ce gaz. En effet, cette ressource se retrouve littéralement piégée dans les pores de sa roche-mère, située à 3 000 mètres de profondeur. Pour rassembler ces poches diffuses en des flots de gaz susceptibles d'être remontés à la surface, il est donc nécessaire de fracturer cette couche géologique. Une opération titanesque puisqu'elle *"demande de soulever le poids considérable du terrain situé au-dessus, puis de vaincre la résistance propre de la roche,"* signale Gilles Pijaudier-Cabot, directeur du Laboratoire des fluides

gels pour acheminer plus facilement le sable qui soutiendra les fractures, produits anticorrosion, biocides... Un ajout loin d'être anodin : en avril 2011, l'Administration américaine révélait la présence inquiétante de 29 produits toxiques et cancérigènes dans les différentes recettes des industriels. Autant de raisons qui ont poussé la France à bannir la fracturation à l'eau, et à appeler en urgence à la recherche d'alternatives.

De fait, d'autres méthodes existent ; mais elles sont encore loin de convaincre les compagnies. L'idéal poursuivi aujourd'hui serait de consommer un

Laquelle aurait déjà effectué plus de mille injections. Résultat affiché : pas de consommation d'eau, une très bonne stimulation de la roche avec un minimum d'additifs... Mais il y a un problème : le propane est inflammable. Au moins deux accidents sérieux se sont déjà produits sur des sites américains. En Europe, chaque puits de ce type devrait être classé comme installation Seveso-2, ce qu'aucun industriel n'est prêt à assumer.

Des pistes... "non concluantes"

Autre fluide envisagé en laboratoire : le CO₂ à l'état supercritique, dont l'infime viscosité assure de formidables fracturations. Seulement, les ingénieurs craignent fort que le CO₂ réagisse mal une fois installé dans le sous-sol, car il est *"capable de se recombinaison avec l'eau pour former un acide qui va dissoudre les roches carbonatées voisines ou alors, dans d'autres circonstances, faire gonfler certaines roches en rebouchant ainsi les fissures"*, avertit Roland Pellenq du Massachusetts Institute of Technology (MIT).

Les travaux se poursuivent.

Le dernier candidat en lice ne fissure pas la roche mais la fragmente. Il s'agit de la fracturation électrique, une idée développée par Gilles Pijaudier-Cabot à l'université de Pau : *"Cela consisterait à déclencher le long d'un puits horizontal une grosse décharge électrique qui, telle la foudre, provoque une puissante onde de choc au sein de la roche alentour."* Sur le papier, cette technique semble remplir tous les critères. Mais voilà, reconnaît le chercheur, *"au regard de nos premières expériences en laboratoire, notre partenaire Total a jugé que cette piste n'était pas concluante"*. Il faut dire que les obstacles à surmonter ne sont pas minces, ne serait-ce que pour descendre de volumineux systèmes électriques à 3 kilomètres de profondeur, au fond du puits.

Aucune solution de laboratoire ne semble pouvoir aboutir avant une décennie. A vrai dire, Total et consorts préfèrent tenter d'améliorer ce qu'ils connaissent le mieux : la fracturation hydraulique ; qu'ils rêvent enfin saine.

LES COMPAGNIES PRÉFÈRENT MISER SUR CE QU'ELLES CONNAISSENT LE MIEUX : LA FRACTURATION HYDRAULIQUE, QU'ELLES RÊVENT ENFIN SAINE

complexes et leurs réservoirs (université de Pau). *Ce qui nécessite un fluide incompressible, typiquement l'eau, injecté en grande quantité pour maintenir la pression"*. A ces volumes d'eau exorbitants, ajoutez encore toute une panoplie d'additifs chimiques censés répondre aux nombreuses contraintes de cette opération (voir infographie) : acides pour initier les fissures,

minimum d'eau et de produits chimiques, tout en assurant bien sûr la récupération optimale du gaz. Deux voies sont explorées : recourir à un autre fluide que l'eau ou changer la nature du choc qui ouvre les fissures.

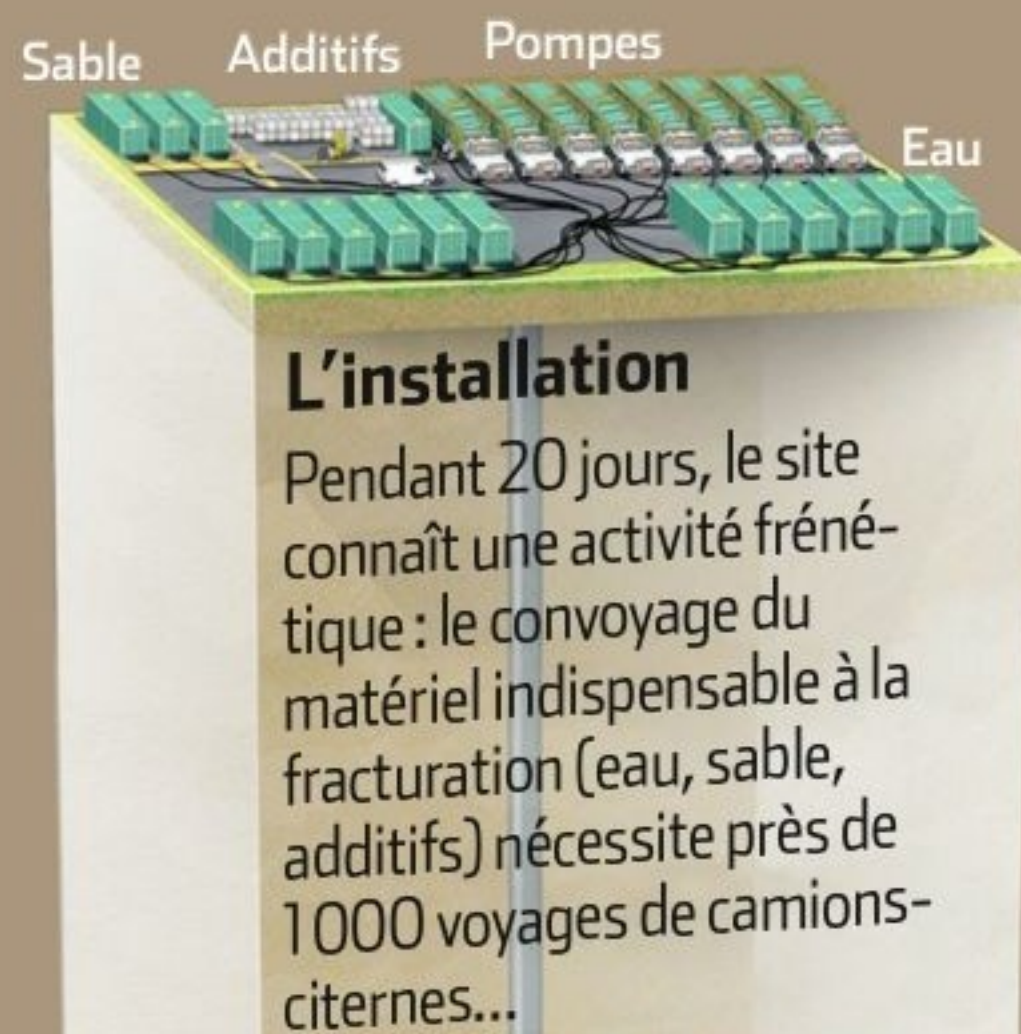
La seule technique alternative opérationnelle à ce jour est la fracturation au propane liquide, pratiquée depuis 2008 par la société canadienne Gasfrac.

Les 3 étapes d'un chantier hors normes

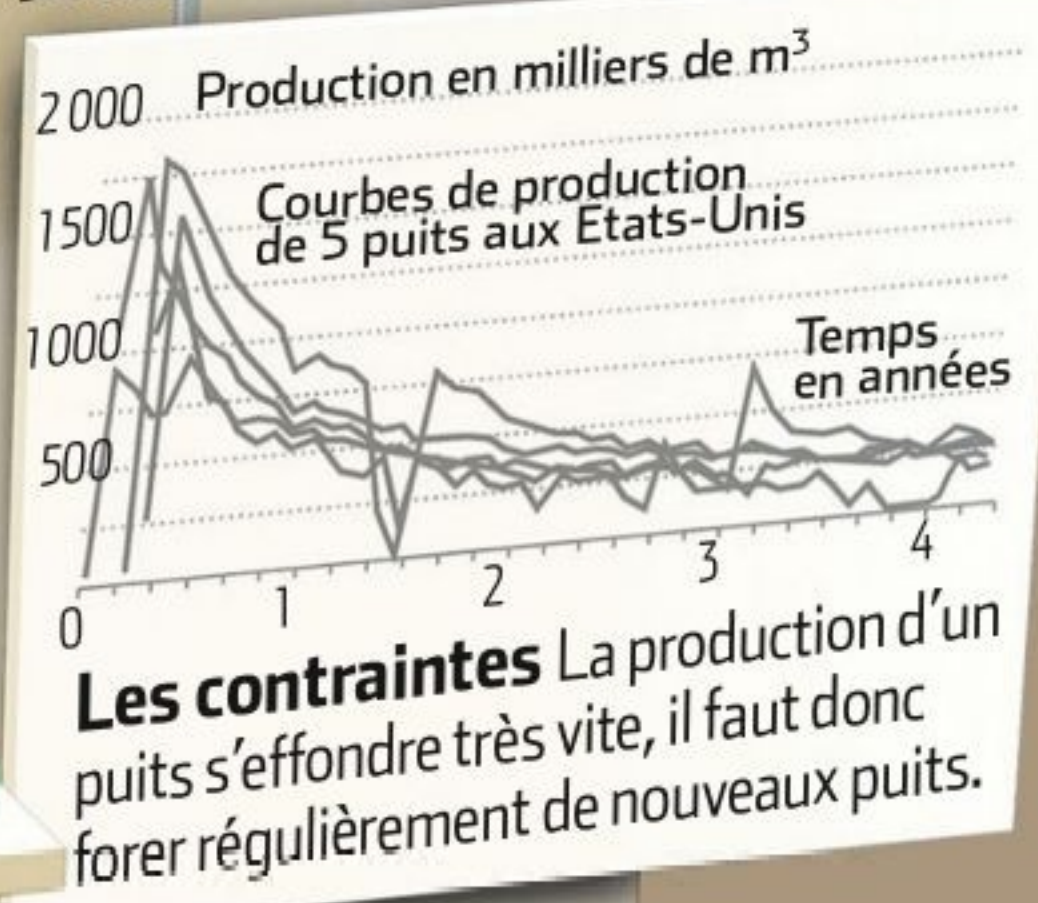
Le forage



La fracturation



La production



Les contraintes

le gaz de schiste nécessite environ 100 fois plus de forages qu'un gisement classique. Dans les zones concernées, il faut compter un chantier par km².

Les contraintes

Fracturer exige des acides pour attaquer la roche, de l'eau pour créer la fracture, du sable pour maintenir ouvertes les fissures, mais aussi des gels, des biocides...

L'eau remonte à la surface...

La technique

Un seul site d'exploitation peut comporter jusqu'à 20 puits mis en parallèle.

La technique

Après 3 km de plongée vers la couche qui renferme le gaz, le forage s'effectue ensuite à l'horizontale et perce le filon sur 2 km de longueur.

La technique

Le liquide injecté sous 600 bars de pression fissure la couche d'argile.

La technique

...puis le gaz remonte à son tour dans le tuyau

Le résultat

1 La roche argileuse...

Même s'il a pénétré la couche qui renferme le gaz naturel, le forage ne produit encore rien...



2... est fracturée...

Le gaz est enfin libéré des pores dans lesquels il était piégé depuis des millions d'années.



3 ...pour libérer le gaz

Une fois l'eau évacuée, le gaz s'échappe progressivement par le réseau de fractures.



3 Effet de serre

SAIT-ON QUEL EST LE BILAN CARBONE DU GAZ DE SCHISTE ?

Il faut croire que non, tant les premières études sur le sujet aboutissent à des résultats différents. On parle d'un bilan carbone (CO₂) aussi sobre que celui du gaz naturel classique ou... pire que celui du charbon ! La faute à des méthodes de mesure, des modes de calcul et des sites étudiés incroyablement disparates. Une seule chose est sûre : le bilan CO₂ est la somme de ce qui est émis lors de l'extraction, du transport, puis de la

consommation de la ressource. Pour cette dernière, tout le monde s'accorde : la combustion du gaz est la plus propre parmi les énergies fossiles ; elle rejette près de deux fois moins de CO₂ que le charbon – lequel émet, de surcroît, du dioxyde de soufre.

Des fuites de méthane difficiles à estimer

La particularité du gaz de schiste se joue au niveau de l'extraction. A ce stade, ni l'énergie

dépensée pour fracturer la roche, ni le nombre de camions mobilisés n'a d'influence notoire. En revanche, détaille Robert Howarth, de l'université Cornell (Etats-Unis), *"juste après la fracturation hydraulique, il y a un 'flowback' : une partie de l'eau injectée remonte avec le gaz méthane qui sort alors du puits à grand débit, pendant plusieurs semaines, pour se perdre dans l'atmosphère. Or, le méthane est un très puissant gaz à effet de serre"*.

La véritable ampleur de ces fuites fait l'objet d'un débat animé. D'après les mesures de Robert Howarth, un puits non-conventionnel laisserait s'échapper 4 à 8 % du gaz extrait ! Sachant qu'il suffirait de 3,2 % de fuites de méthane pour, au final, dépasser le bilan du charbon. Mais Trevor Stephenson, des laboratoires de Shell, ne manque pas de signaler que *"l'étude d'Howarth est largement biaisée"*. Selon lui, il faudrait se

4 Géologie

EST-IL VRAI QUE LA FRACTURATION HYDRAULIQUE DÉCLENCHÉ DES SÉISMES ?

C'est exact. A l'instar de beaucoup d'activités humaines dans le sous-sol, comme l'extraction minière ou la géothermie, l'extraction de gaz de schiste peut déclencher des séismes. Les géologues américains l'ont d'ailleurs constaté fréquemment ces dernières années. Encore faut-il préciser que ces

secousses ont peu de chances d'être perceptibles en surface !

Lors de la fracturation hydraulique, la propagation des fissures a un effet négligeable. En revanche, le simple fait d'injecter à haut débit du fluide peut perturber l'état des contraintes du sous-sol ainsi que ses éventuelles failles sous

< Le séisme de magnitude 5,7 qui a secoué l'Oklahoma en 2011 a pu être causé par l'injection dans le sol des effluents de la fracturation.



< Entre 1,2 % et... 9 % du méthane extrait s'échapperait dans l'air, principalement juste après la fracturation hydraulique.

veau pavé dans la mare : 4 à 9 % du méthane soutiré s'échapperait. Gabrielle Pétron, de la NOAA, suggère que "ces émanations ne viennent pas uniquement des puits en phase de flowback, mais aussi des nombreuses fuites à travers les équipements de stockage, de transport... Des fuites pas si simples à colmater". En attendant, de nouvelles études, associant universitaires et industriels, ont été lancées pour établir la vérité.

fier, entre autres travaux, aux données de l'agence américaine de protection de l'environnement (EPA), qui estime les pertes totales à 1,2 % en incluant les fuites le long

des pipelines de transport. Sauf que, rétorque Robert Howarth, "l'EPA les estimait à au moins 2,5 % avant de céder aux pressions de l'industrie". Simple incertitude ou

tour de passe-passe ? De récentes mesures réalisées dans les bassins du Colorado et de l'Utah par l'agence américaine d'étude de l'atmosphère (NOAA) jettent un nou-

tension, explique William Ellsworth, sismologue à l'Institut d'études géologiques des Etats-Unis (USGS): "L'injection augmente la pression dans les pores de la roche, réduisant les forces de friction qui maintenaient la faille encore en place. A partir d'un certain seuil, la faille se met à glisser." L'ébranlement déclenché dépend de la taille de la faille et de la nature de ses contraintes.

Le problème, c'est que les failles à éviter ne sont pas connues... que ce soit au Texas, dans le sud-est de la France ou même dans le paisible Lancashire anglais. En effet, le premier essai de fractura-

tion hydraulique au Royaume-Uni se solda en 2011 par deux légères secousses, de magnitudes 2,3 et 1,5. "Cette fracturation s'est déroulée à proximité, voire à l'intérieur d'une faille qui n'avait pas été repérée auparavant", révèle Peter Styles, géophysicien à l'université de Keele (Angleterre). A la suite de cet incident, le gouvernement britannique interrompit les opérations pendant plus d'un an et demi.

Dorénavant, les foreurs doivent entreprendre une étude géophysique ultrapoussée et suivre en temps réel les plus infimes réactions du sous-sol pour pouvoir

cesser l'injection à temps... Y a-t-il péril en la demeure ? "Le risque est très faible, affirme William Ellsworth. Parmi les centaines de milliers de fracturations sur le continent américain, la plus forte secousse n'a atteint que la magnitude 3,5."

De mauvaises pratiques en cause

Sauf que, dans l'univers du gaz de schiste, la fracturation n'est pas la seule cause possible de tremblements de terre. Ni même la plus inquiétante ! Le principal danger viendrait, selon William Ellsworth, d'une autre pratique des compagnies gazières, qui consiste à

injecter en profondeur leurs très grands volumes d'effluents toxiques (voir la question sur les déchets, pp. 68-69). "Elle est à l'origine d'un séisme de magnitude 4 dans l'Ohio, et une très récente étude fait le lien avec trois séismes de magnitude supérieure à 5 dans l'Oklahoma, dont un majeur de 5,7, le 6 novembre 2011, qui a causé des dégâts", détaille le sismologue. Plus généralement, William Ellsworth a détecté une explosion du nombre de séismes dans le Midwest américain. Preuve que, jusqu'à présent, les compagnies n'ont pas pris assez de précautions.

5 Pollution

LE RISQUE DE CONTAMINATION DES NAPPES PHRÉATIQUES EST-IL RÉEL ?

Oui, ce risque existe, même s'il semble pouvoir être maîtrisé. L'accident tant redouté serait la fuite vers les nappes d'eau potable des produits chimiques utilisés lors de la fracturation ou du gaz extrait, faisant peser la menace d'une explosion. Bien qu'un forage gazier classique présente aussi ce genre de péril – sans susciter d'émoi –, *"l'extraction du gaz de schiste change l'échelle du danger, en raison du nombre considérable de puits, des pressions en jeu et de l'étendue des fracturations"*, expose Christophe Didier, chargé de la sécurité du sous-sol à l'Institut national de l'environnement industriel et des risques (Ineris).

Ainsi, aux Etats-Unis, plusieurs cas de pollution d'aquifères vraisemblablement liés à cette activité ont été signalés.

5 cas de pollution sont à l'étude

Quelle est l'ampleur du phénomène ? Difficile à dire, regrette Kirk Nordstrom, hydrologue à l'Institut d'études géologiques des Etats-Unis (USGS): *"Jusque très récemment, les compagnies gazières n'autorisaient pas les prélèvements à l'abord de leurs puits. Nous en étions réduits à constater les centaines de poursuites judiciaires entamées par des particuliers."* Pour l'heure, l'agence de protection de l'environnement américaine (EPA)

fait savoir qu'elle *"étudie cinq cas"*. Des cas autour desquels les scientifiques s'écharpent pour savoir si, par exemple, le gaz détecté dans tel aquifère était déjà présent naturellement ou s'il a été libéré par une fuite.

Les débats tournent autour de trois scénarios de contamination (voir infographie). Le premier peut sembler anecdotique, mais il se produit souvent : cette activité industrielle est l'occasion de centaines de petits incidents en surface, des déversements inopinés de produits de fracturation ou d'effluents, qui finissent par ruisseler dans le sous-sol et, de là, dans les aquifères.

Deuxième possibilité : la mauvaise étanchéité du puits de gaz, non loin d'un aquifère. *"C'est l'explication la plus évidente des contaminations au gaz aux Etats-Unis"*, estime Robert Jackson (université Duke), qui a décelé des teneurs en méthane 17 fois supérieures à la normale dans des sources d'eau douce en Pennsylvanie, situées à moins d'un kilomètre d'un forage. A faible profondeur, le puits est normalement constitué de deux, voire trois tubes d'acier scellés dans du ciment. Mais lors du rush des années 2000,

nombre de petites compagnies ont négligé la conception de leurs puits. Or, *"la moindre porosité fait figure d'autoroute pour une molécule de méthane"*, souligne Roland Pellenq, spécialiste des matériaux au Massachusetts Institute of Technology (MIT).

Le retour à de bonnes pratiques suffit-il ? Pas certain, car la cimentation des puits est un art difficile, où *"l'adhérence du ciment avec les tubes d'acier est parfois douteuse, et où la pression exercée par la fracturation a des effets mécaniques délétères"*, avertit Roland Pellenq. Bureaux d'étude et organismes de contrôle commencent à prendre le sujet au sérieux. Avec toutefois une inconnue de taille pour les générations futures : la tenue de ces matériaux à long terme...

Le troisième scénario est à la fois le plus terrifiant et le plus controversé. Il évoque une

Les 3 scénarios de contamination des nappes phréatiques**1 Les infiltrations en surface**

Elles peuvent provenir de fuites du bassin de rétention ou de déversements accidentels des camions.

2 La fuite du forage

Mal cimentées, les parois du puits laissent filtrer gaz ou produits chimiques.

3 La remontée via une faille naturelle

Les fractures induites se connectent aux fissures naturelles, ouvrant la voie aux polluants.

Nappe phréatique



< Le danger d'une fuite du gaz extrait vers les aquifères proches des puits et, de là, vers le réseau d'eau potable, existe ; il fait notamment peser la menace d'explosions.

v Autre accident redouté : la contamination des réserves d'eau douce via l'infiltration accidentelle dans le sous-sol d'effluents pollués.

fracturation qui tourne mal, propageant ses fissures depuis les profondeurs de la roche-mère jusqu'aux nappes phréatiques, non loin de la superficie. Un tel accident se serait produit dans la localité de Pavillion (Wyoming), mais il s'agit du cas bien particulier de gisements de "gaz compacts", qui ont fait l'objet de fracturations à faible profondeur. Ce fait divers prouve cependant qu'il convient de respecter une distance de sécurité entre la zone de production et les nappes phréatiques.

La crainte d'un réseau de fissures

Oui, mais quelle distance ? *"Aucun modèle ne peut prédire la trajectoire exacte des fractures, car leurs changements de direction et les éventuels embranchements suivent une logique encore mystérieuse"*, analyse Jean-Raynald de Dreuzy, hydrogéologue expert des milieux fracturés à l'uni-

versité de Rennes. En épluchant les données publiées par la firme Halliburton sur quelque 10 000 fracturations, le géologue Richard Davies (université de Durham, Angleterre) a identifié que *"les plus longues fissures induites mesurent de l'ordre de 600 m de longueur verticale"*. Il existerait un risque d'environ 1 % qu'une fracturation donne naissance à une fissure verticale de plus de 350 m. Les roches-mères se situant vers 2 ou 3 km de profondeur et les sources d'eau potable à quelque 500 m tout au plus, la marge paraît confortable. Seulement voilà, rétablit Jean-Raynald de Dreuzy, *"une fissure artificielle pourrait entrer en contact avec des fractures naturelles pré-existantes, voire mettre en relation des fractures qui étaient jusqu'ici isolées"*. Et *"certaines fractures naturelles peuvent franchir plus de 1 km de distance verticale"*, évalue Richard



Davies. De quoi ouvrir une voie royale aux migrations indésirables, même si, d'après Jean-Raynald de Dreuzy, *"la remontée des fluides n'est pas automatique ; il peut s'écouler dix ans comme mille ans avant leur apparition en surface"*.

Ces trois scénarios sont inquiétants, si l'on songe au bassin tant convoité du sud-est de la France, *"dont le sol est creusé de cavités (karsts), à travers lesquelles l'eau éventuellement contaminée pourrait se propager en quelques heures"*, vitupère Séverin Pistre, hydrogéologue à l'université de Montpellier.

Ajoutez-y un réseau de failles profondes le long desquelles remontent de l'eau chaude et du gaz carbonique – la fameuse source Perrier". Face à ces inquiétudes, les pétroliers opposent qu'ils étudient minutieusement, grâce à l'imagerie sismique, toutes les discontinuités géologiques avant de forer, et qu'ils maîtrisent la puissance de leurs fracturations. Pour trancher, l'EPA a lancé des travaux de recherche massifs. Dont les premiers résultats, attendus en 2014, pourraient conditionner l'engagement de nombreux pays...

6 Environnement

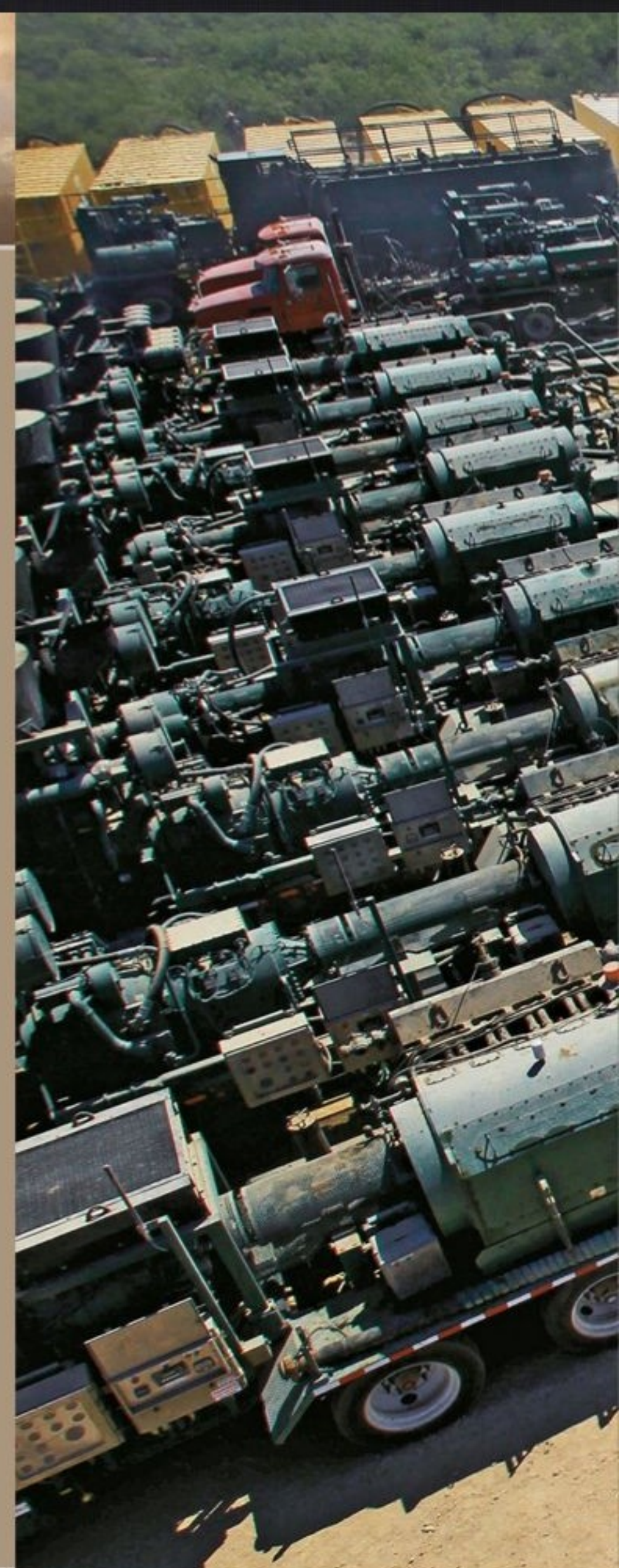
LA FRACTURATION MENACE-T-ELLE VRAIMENT LES RESSOURCES EN EAU ?

Non, l'eau douce peut être préservée. Au premier abord, les chiffres sont impressionnants : chaque puits de gaz de schiste réclame au total, pour sa fracturation, jusqu'à 20 000 mètres cubes d'eau, soit le contenu de sept piscines olympiques. Mais ce volume doit être relativisé, si l'on songe qu'il n'équivaut qu'à une semaine d'arrosage d'un golf 18 trous, ou que la fracturation hydraulique ne mobilise en Pennsyl-

vanie – haut lieu de l'exploitation du gaz de schiste – que 0,2 % de la consommation en eau... bien loin derrière les autres industries.

Reste que de sérieux conflits d'usage avec les agriculteurs surgissent durant les périodes de sécheresse aux Etats-Unis. Les chimistes des compagnies pétrolières s'activent donc à employer, à la place de l'eau potable, de l'eau saumâtre issue des aquifères profonds ou de

l'eau de mer, ou encore de l'eau venant de stations d'épuration, voire revenant d'une précédente fracturation. *"Toute la difficulté est d'éviter la corrosion des structures du puits"*, indique Jean-Philippe Nicot, de l'université du Texas (Etats-Unis). A vrai dire, les compagnies n'ont pas d'autre choix : nombre de gisements de gaz de schiste prometteurs, notamment en Chine, se trouvent dans des déserts.



7 Exploitation CETTE ACTIVITÉ

Tout à fait. Certains de ces rebuts sont même très embarrassants. Et pour cause ! L'argile qui constitue les roches-mères a la particularité de s'apparier au fil du temps avec une flopée d'éléments chimiques, y compris les plus dangereux qu'offre la nature : mercure, plomb, arsenic, sélénium, mais aussi parfois thorium, radium et uranium. Or, l'eau utilisée pour la fracturation lessive la roche, avant d'emporter ces particules quand le fluide remonte à la surface. Les pétroliers planchent sur la solution



◀ Après avoir lessivé la roche-mère, l'eau utilisée pour la fracturation remonte brunâtre, chargée de produits toxiques.



< Chaque puits exige jusqu'à 20 000 m³ d'eau, injectée sous très haute pression (600 bars) par ces camions compresseurs.

GÉNÈRE-T-ELLE DES DÉCHETS ?

chimique qui empêcherait ce lessivage, mais en attendant, ils n'ont d'autre choix que d'accueillir ces flots d'eau polluée et ultrasalée.

La gestion des résidus pose problème

Dans le grand rush des années 2000, certains ne se sont pas privés pour rejeter ces effluents directement dans des rivières, voire en forêt ! Ce n'est heureusement plus le cas. Alors qu'en faire ? Le plus ingénieux reste de s'en débarrasser en les injectant très profondément dans une formation du

sous-sol... Mais la géologie ne le permet que rarement, et ce n'est pas sans risque (voir la question sur les séismes, pp. 64-65). Or, "les stations d'épuration classiques sont incapables de traiter ce genre d'effluents", souligne Kirk Nordstrom, à l'Institut d'études géologiques des Etats-Unis (USGS). De lourds moyens (osmose inverse, électrocoagulation, évaporateurs...) doivent alors être installés. Même si, observe David Yoxtheimer, de l'université américaine Penn State, "les pétroliers

réutilisent maintenant, après quelques légers traitements, une partie de ces effluents pour opérer de nouvelles fracturations". Tout en reconnaissant qu'"au final, la gestion des résidus de tous ces traitements pose problème".

Ce n'est pas peu dire : chaque semaine, aux Etats-Unis, les puits de gaz de schiste de Pennsylvanie ne génèrent pas moins de 2000 tonnes de boues radioactives au radium-226... Ce flux n'est pas près de se tarir, et le département américain de l'Energie s'escrime à trouver un moyen de

l'éliminer. Notez que la France ne serait pas à l'abri : l'une de ses roches-mères prometteuses du bassin du Sud-Est fut un temps exploitée pour son minéral d'uranium... "Je me demande également si les additifs chimiques injectés ne pourraient pas réagir avec les éléments de la roche-mère", s'inquiète Laurent Charlet, géochimiste à l'université de Grenoble. Du déchet radioactif à la contamination chimique, l'exploitation du gaz de schiste réunit décidément les sujets les plus explosifs...

ET L'INTELLIGENCE HUMAINE VINT AUX SOURIS !

En injectant des cellules cérébrales humaines dans le cerveau de souris, les capacités cognitives de celles-ci ont été décuplées. Tel est le spectaculaire résultat d'une étude qui va faire date : grâce à elle, voici que se dévoile l'origine de notre intelligence.

PAR ELSA ABDOUN

Doit-on craindre les souris de la neurobiologiste Maiken Nedergaard ? À première vue, rien ne permet de les distinguer des autres souris de laboratoire. Et pourtant... Sous leur boîte crânienne se cache un cerveau propre-

gence ! Soumises à plusieurs tests d'apprentissage et de mémorisation, les souris "dopées à l'humain" ont obtenu des scores très largement au-dessus de ceux de leurs congénères.

Spontanément, cela peut faire peur. Frankenstein et bien d'autres délires de savant fou

pari ambitieux, et gagnant. Car le plus étonnant dans cette expérience, c'est que ce ne sont pas des neurones humains qui ont été transplantés dans le cerveau des souris. Non, il s'agissait des cellules qui les entourent dans le cerveau, des cellules appelées astrocytes. Et au vu des résultats obtenus, la chercheuse vient ni plus ni moins de démontrer leur rôle prépondérant dans l'apparition de l'exceptionnelle intelligence de notre espèce. Il était encore fréquent, dans les laboratoires, de voir dans nos neurones le secret exclusif de nos capacités cognitives... Preuve est faite qu'il n'en est finalement rien.

Mais pourquoi créer des cerveaux mi-rongeurs mi-humains quand on veut découvrir les clés de l'esprit de Sapiens ? Et pourquoi bricoler des chimères cérébrales, non pas à partir de

CETTE EXPÉRIENCE CONFIRME QUE LES ASTROCYTES SONT AU CŒUR DES PERFORMANCES COGNITIVES

ment... surnaturel. Qu'on en juge : la chercheuse de l'université de Rochester, dans l'Etat de New York, leur a greffé, dès la naissance, des cellules cérébrales humaines. Et, avec elles, un peu de notre intelli-

viennent à l'esprit. Que l'on se rassure, derrière la création de ces angoissantes chimères se cache en réalité un but bien précis et parfaitement maîtrisé : celui de révéler l'origine de l'intelligence humaine. Un



neurones, mais à partir d'astrocytes ? Pour comprendre, il faut savoir que cette expérience est l'aboutissement d'une révolution en marche depuis maintenant dix ans.

A partir des années 2000 s'est en effet développée l'hypothèse du rôle essentiel des astrocytes, cellules cérébrales en forme d'étoiles, dans les processus cognitifs. Un rôle jusqu'alors totalement ignoré, au profit des neurones qui concentraient toute l'attention des chercheurs. Rien d'étonnant : les neurones ont été les premières cellules découvertes dans le cerveau, et il est relativement aisé d'en mesurer l'activité. Car ces cellules sont les seules dans le cerveau à transporter des courants électriques, à l'origine des électroencéphalogrammes. Elles ont donc longtemps paru être les seules cellules cérébrales véritablement actives. Au point d'en oublier que plus de la moitié du volume cérébral humain est occupée par un autre type de cellules, dites gliales, reléguées au simple rôle de masse protectrice des neurones.

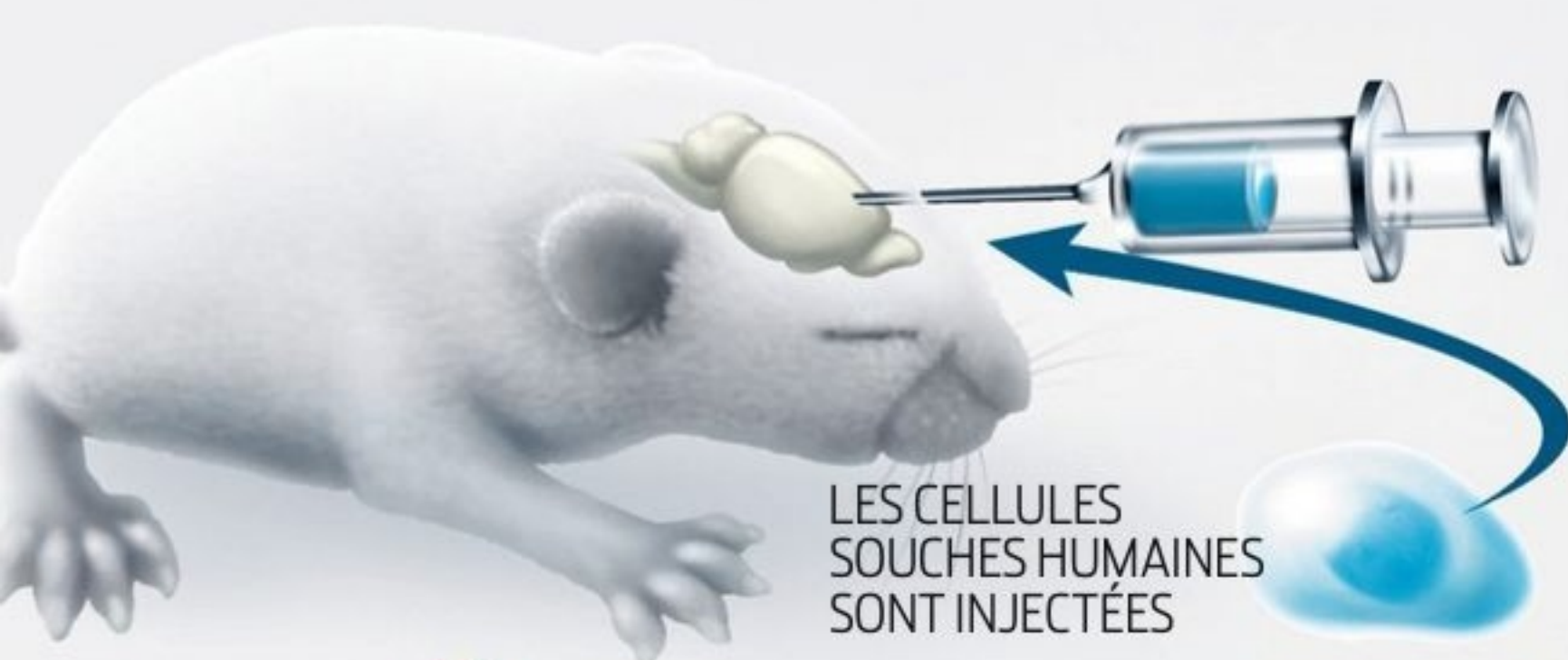
DES CELLULES ÉTOILÉES

Du moins jusqu'à ce que l'apparition des techniques d'imagerie par fluorescence, montrant les échanges de molécules entre cellules, révèle l'erreur des neurobiologistes. Un type particulier de cellules gliales, les astrocytes, se sont alors avérées jouer un rôle essentiel. De nombreuses études se sont accumulées, démontrant leur →

< Une fois leur cerveau "humanisé", les souris ont subi plusieurs tests de mémoire et d'apprentissage, où elles ont surpassé les performances de rongeurs témoins.

Comment des astrocytes humains greffés ont colonisé le cerveau des souris

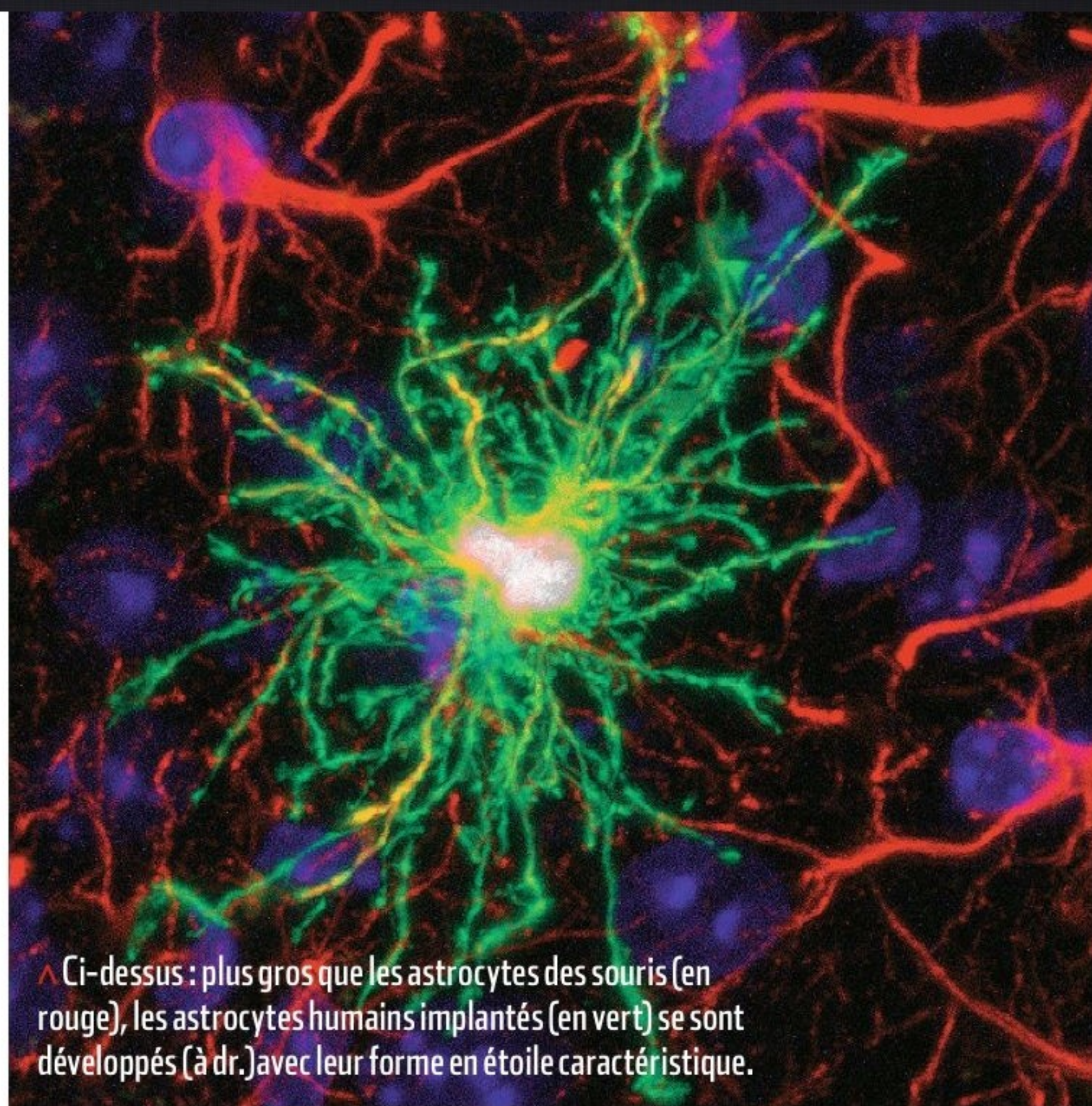
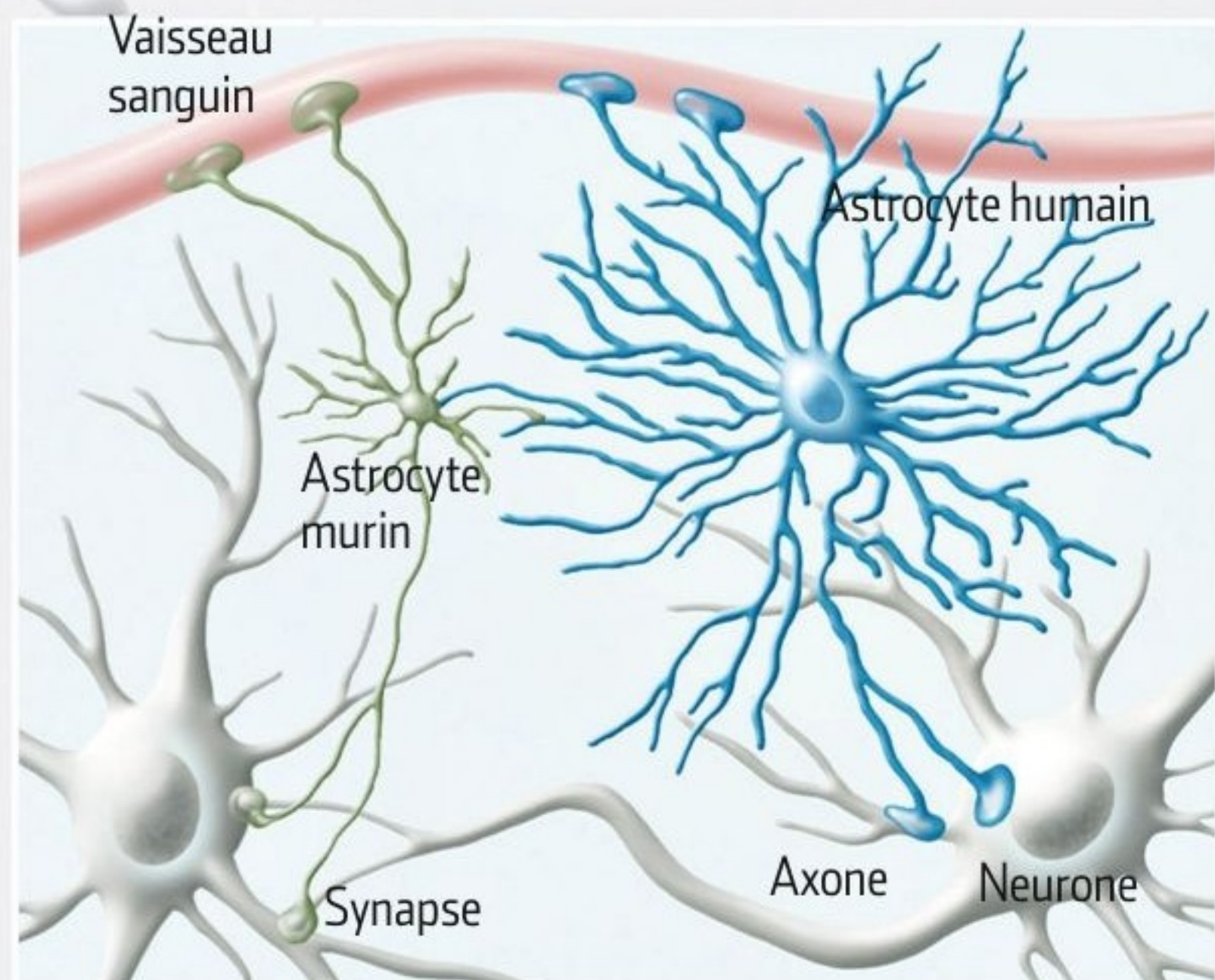
1 Les chercheurs ont commencé par injecter des cellules souches gliales humaines dans les ventricles cérébraux de très jeunes souriceaux.



2 Au bout de quatre à cinq mois, les cellules souches se sont multipliées, puis différenciées en astrocytes – cellules intervenant dans les relations entre les neurones. Ces astrocytes ont alors investi l'hippocampe et les couches profondes du néocortex.



3 Entre 12 et 20 mois après l'injection, les astrocytes ont envahi tout le cerveau des rongeurs. Astrocytes humains et murins se sont connectés entre eux, régulant ensemble les échanges neuronaux.



→ influence fondamentale sur les messages échangés par les neurones (voir S&V n° 1058).

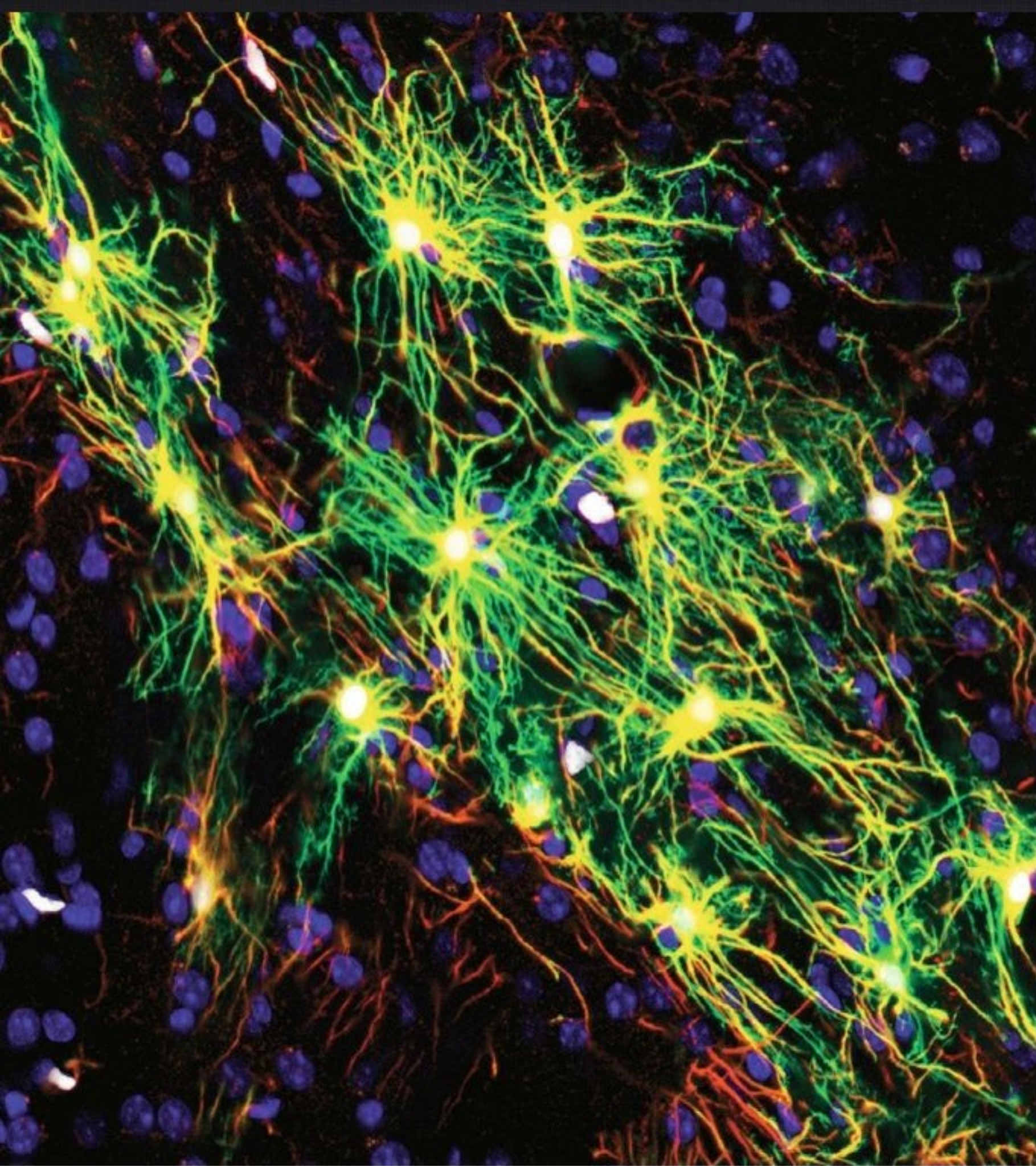
Aujourd'hui, Maiken Nedergaard va encore plus loin. Si ses souris au cerveau "humanisé" présentent une intelligence exceptionnelle, c'est bien, selon elle, que les astrocytes sont une nouvelle clé, cruciale, de l'intelligence humaine. C'est même grâce à ces cellules étoilées que les humains auraient développé, au cours de l'évolution, une intelligence incomparablement supérieure à celle de toutes les autres espèces. En effet, *"contrairement aux neurones, dont la morphologie varie peu entre espèces, les astrocytes humains se distinguent très fortement des autres : ils sont plus gros, ont des formes plus complexes, et expriment des gènes différents"*, explique la chercheuse. Les astrocytes auraient donc, dans notre espèce, évolué de manière distincte, conférant à l'esprit humain ses formidables capacités.

Pour mettre à l'épreuve cette idée, Maiken Nedergaard est allée droit au but. Pour savoir

si les astrocytes humains ont bel et bien des fonctions spécifiques, il fallait observer leur effet sur le fonctionnement d'un cerveau, en dehors de toute influence des neurones humains. Et donc les implanter dans des cerveaux de souris, au milieu des neurones et astrocytes propres au cerveau des rongeurs. La chercheuse a donc injecté dans le cerveau de souris tout juste nées des cellules souches humaines, capables de se différencier uniquement en astrocytes. Au fil des mois, elles se sont multipliées, puis développées en astrocytes, jusqu'à coloniser l'ensemble du cerveau des souris au bout d'un an (voir infographie).

DES SOURIS CHIMÈRES

Quelles chimères Maiken Nedergaard avait-elle ainsi engendrées ? Les souris allait-elles manifester des comportements inédits ? De prime abord, pas du tout. Elles sont demeurées des souris de laboratoire tout ce qu'il y a de plus banal, continuant d'interagir normalement avec les souris non modifiées qui partageaient



JARGON

Le cerveau humain est composé de **neurones** et de **cellules gliales**. Celles-ci correspondent aux **oligodendrocytes**, qui accélèrent la transmission des messages nerveux, à la **microglie**, servant de défense immunitaire... et aux **astrocytes**, dont le rôle essentiel dans la transmission des messages nerveux commence tout juste à se dessiner.

leur cage, vaquant à leurs activités de rongeurs. Pas une lueur d'humanité dans leur regard... L'expérience avait-elle donc échoué? Loin de là. Car, à les étudier de plus près, ces souris avaient bien développé une différence notable, les distinguant de leurs congénères: leur intelligence.

Pour preuve? A quatre tests de mémoire et d'apprentissage différents, les souris humanisées ont largement dépassé les performances de leurs cousines non modifiées. Elles ont tout d'abord participé à deux expériences pendant lesquelles un bruit, ou bien les caractéristiques du lieu où elles se trouvaient, étaient associés à un léger choc électrique. Ces expériences ont été menées quatre jours durant. Résultat: le lendemain du premier choc, les souris "humanisées" étaient deux fois plus nombreuses que les souris non modifiées à avoir appris à se méfier du bruit annonciateur de choc électrique, et étaient quatre fois plus nombreuses au bout de quatre jours. Elles étaient également deux fois plus à associer au risque

MAIKEN NEDERGAARD

NEUROBIOLOGISTE, UNIVERSITÉ DE ROCHESTER, ÉTAT DE NEW YORK

Les astrocytes humains sont particuliers: ils favorisent la mémoire et l'apprentissage



de choc la pièce dans laquelle elles se trouvaient, et ce durant les quatre jours de tests.

Les souris chimères se sont également distinguées dans deux autres types d'expériences. La première consistait à devoir trouver la sortie d'un labyrinthe, en mémorisant des repères visuels. Ce qu'elles ont fait jusqu'à deux fois plus vite, et en faisant 25 % d'erreurs de moins que les autres. La seconde consistait à reconnaître un objet connu, une fois placé dans un nouvel environnement. Les souris humanisées ont à ce jeu connu 15 % de succès de plus que leurs congénères.

VOILÀ BIEN UNE INCROYABLE RÉVÉLATION: L'INTELLIGENCE PEUT PASSER LA BARRIÈRE DES ESPÈCES!

Pour Maiken Nedergaard, cette expérience ne laisse plus de place au doute: "*Les astrocytes humains ont quelque chose de particulier, que les autres espèces n'ont pas, et qui favorise la mémoire et l'apprentissage.*" Même si, évidemment, ce ne sont pas les seules cellules à différencier l'intelligence de notre espèce de celle des autres. "*Les neurones ont également un rôle à jouer*", reconnaît la chercheuse. Mais la question, désormais, est de sa-

voir comment les astrocytes humains favorisent l'intelligence. "*Nous ne connaissons pas encore bien les mécanismes*", répond modestement Maiken Nedergaard. Son équipe a tout de même ouvert une piste importante, en montrant qu'une molécule produite fortement par les astrocytes humains est essentielle au dopage de l'intelligence des souris: le TNF alpha. Quand les chercheurs en ont bloqué l'action, les "super-souris" ont perdu les capacités intellectuelles qui les rendaient si spéciales. Ainsi, une molécule produite par des cellules particulières suffit-elle à doter une autre espèce de caractères

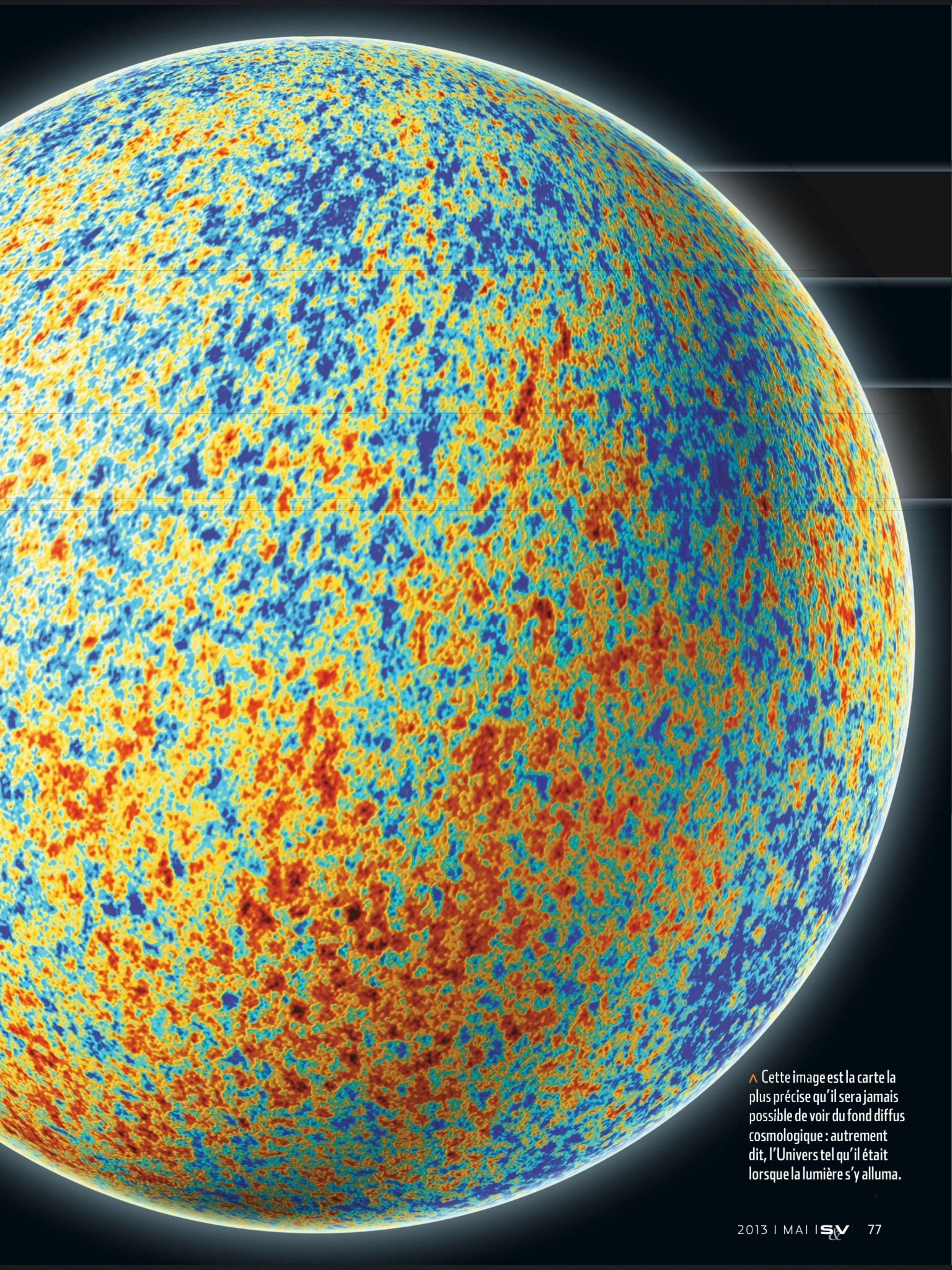
essentiels à l'esprit d'*Homo sapiens*. On peut dès lors se demander jusqu'où, à l'avenir, un tel transfert pourrait aller – que donnerait une telle expérience si elle était réalisée sur des singes, par exemple? Les comités d'éthique qui encadrent ce type d'expérimentations s'y opposent, pour l'heure. Reste que l'expérience des chercheurs de Rochester signe bien une première qui fera date: voici que l'intelligence peut passer la barrière des espèces.

AINSI ÉTAIT L'UNIVERS À L'ORIGINE !

ILLUSTRATION DE G. CIRADE, D'APRÈS UNE IMAGE ESA & THE PLANCK COLLABORATION

C'est le cliché qui dit tout ! L'histoire de l'Univers et sa véritable date de naissance. Les étapes de son expansion comme les mystères qui demeurent à élucider. Mais par-dessus tout, c'est le cliché ultime : aucun autre cliché ne pourra jamais faire mieux. Et pour cause : il fait remonter le temps jusqu'à 380 000 ans après le big bang, à l'instant où l'Univers émit sa première lueur. Une lueur que le satellite Planck a captée avec une sensibilité maximale. Et qui, désormais, va servir de phare aux cosmologistes.

PAR MATHIEU GROUSSON
AVEC MATHILDE FONTEZ



^ Cette image est la carte la plus précise qu'il sera jamais possible de voir du fond diffus cosmologique : autrement dit, l'Univers tel qu'il était lorsque la lumière s'y alluma.

“C’était une aventure épuisante, mais j’ai aujourd’hui la sensation d’avoir réalisé quelque chose”, lâche Jean-Michel Lamarre, au Laboratoire d’étude du rayonnement et de la matière en astrophysique, à Paris. “On se dit qu’on participe à une étape notable de l’histoire des sciences”, poursuit François Bouchet, à l’Institut d’astrophysique de Paris. “On se sent appartenir à une lignée qui a fait avancer la question de savoir ce qu’est cet Univers dans lequel on vit”, ajoute Jean-Loup Puget, à l’Institut d’astrophysique spatiale d’Orsay. Au soir du 21 mars dernier, ces trois astrophysiciens à l’origine de la mission Planck ressentent les sentiments mêlés qui accompagnent le point culminant des grands projets. Avec 500 autres scientifiques, ils viennent de révéler au monde l’ultime cliché du fond des âges.

LE PREMIER FLASH COSMIQUE

Ultime, parce que c’est la plus ancienne photographie de l’Univers qu’il sera jamais possible de faire : elle le montre tel qu’il était 380 000 ans après le big bang, lorsque le cosmos a émis son premier “flash”. Avant, les particules étaient tellement agitées que chaque photon de lumière émis par l’une d’elles était instantanément réabsorbé par une voisine, rendant l’Univers sombre et opaque. A la faveur de la baisse de température qui a accompagné l’expansion



JEAN-MICHEL LAMARRE

LABORATOIRE D’ÉTUDE DU RAYONNEMENT
ET DE LA MATIÈRE EN ASTROPHYSIQUE, PARIS

**Je revois les croquis griffonnés
dans mon cahier de labo
en 1993... c’est alors que j’ai
compris que nous étions prêts**

sion de l’Univers, la lumière s’est libérée de l’emprise de la matière, éclairant d’un coup tout le cosmos. Et, après avoir voyagé à travers l’espace et le temps pendant plus de 13 milliards d’années, c’est ce flash originel qui vient d’être capté par le télescope spatial *Planck*, nous montrant ainsi à quoi ressemblait l’Univers lorsque la lumière s’est allumée. C’est le “fond diffus cosmologique” (CMB), pour reprendre le jargon des cosmologistes. Le premier autoportrait du cosmos.

Ultime, cette image l’est aussi par sa précision maximale. Comme l’explique François Bouchet, “jamais aucun télescope ne pourra la surpasser en sensibilité, car elle n’est pas limitée par la qualité des instruments, mais par l’incertitude liée à la nature quantique de la lumière”. Inutile, donc, de



concevoir des détecteurs plus sensibles : la couleur de chaque pixel n’en serait pas meilleure. Et cette image est non seulement le meilleur cliché possible de l’Univers 380 000 ans après l’explosion initiale, mais aussi le plus formidable accès à sa genèse. Les infimes variations de couleur de cette lumière fossile, selon la direction du ciel dans laquelle on la regarde, résultent en effet de phénomènes remontant quasiment au big bang. Pour qui sait les interpréter, elles recèlent donc d’incalculables indices sur l’origine de l’Univers.

Cette image, les promoteurs de *Planck* ont commencé à en rêver dès la fin des années 1980. Ils ont suivi en 1992 les prouesses du satellite américain *COBE*, qui révéla le premier l’existence de ces fluctuations du fond diffus



LES 4 ATOUTS DU SATELLITE PLANCK

- Son système cryogénique (à très basse température) confère à ses détecteurs, appelés bolomètres, leur sensibilité record : refroidis à 0,1 kelvin, ils formaient lors de la prise de vue le point le plus froid de l'Univers.
- Ses bolomètres en "toile d'araignée" captent les photons fossiles à travers une grille. De quoi les immuniser contre le bombardement des particules ultra-énergétiques qui criblent en permanence la Galaxie.
- Son électronique révolutionnaire est capable de mesurer une tension absolue au millionième de volt près, ce qui amplifie le signal reçu par les détecteurs.
- Les cornets par lesquels le rayonnement pénètre ont été ouvragés à la dizaine de micromètres près, afin de rejeter toute lumière parasite.

cosmologique. Ils savaient que pour atteindre la sensibilité maximale, il fallait multiplier par 1000 les performances de l'instrument. Et que cela n'était possible qu'à la condition de refroidir leurs détecteurs à un dixième de degré au-dessus du zéro absolu, afin d'éviter les rayonnements parasites d'origine thermique émis par les détecteurs eux-mêmes. Ce qu'au début des années 1990, personne n'imaginait pouvoir réaliser dans l'espace, seul endroit où observer l'ancestral rayonnement sans être gêné par l'atmosphère terrestre.

C'est ici que commence l'aventure Planck. A la fois prouesse technologique, course de vitesse et... coup de chance. Car Jean-Loup Puget et Jean-Michel Lamarre croisent la route d'Alain Benoît, à l'Institut Néel de Grenoble. Or,

ce spécialiste des basses températures sait comment obtenir un tel froid en laboratoire ! Et il ne tarde pas à développer un système cryogénique capable de fonctionner en apesanteur. Du reste, les calculs de François Bouchet convainquent ses

CE CLICHÉ, C'EST SURTOUT LE PLUS FORMIDABLE ACCÈS À LA GENÈSE DE L'UNIVERS

collègues que les techniques de traitement d'image nécessaires sont au point. "Je revois les croquis griffonnés dans mon cahier de labo en 1993, se souvient Jean-Michel Lamarre. J'ai alors compris que nous étions prêts à soumettre une proposition à l'Agence spatiale européenne." Laquelle donne son feu vert en 1997, pour une mission qui intègre la proposition

▲ C'est ce satellite, Planck (ici, lors de son installation, à l'Agence spatiale européenne), qui a cartographié le rayonnement fossile à partir de mai 2009.

française et un instrument complémentaire proposé par un groupe italien. L'acte de naissance de Planck est signé. Entre-temps, en 2001, les Américains lancent WMAP. Trente fois moins précis que Planck, ce satellite est néanmoins le premier à tirer parti du CMB pour en déduire les paramètres de l'Univers. Donnant des sueurs froides aux promoteurs de Planck. "Pendant longtemps, nous n'étions pas vraiment sûrs de pouvoir faire mieux", se souvient Jean-Loup Puget.

Lancé en mai 2009, Planck tourne son œil vers le ciel deux mois plus tard. "Nous avons alors rapidement compris que nos données étaient extraordinaires. Et au bout de six mois, nous disposons des premières cartes", s'enthousiasme l'astrophysicien. La mission Planck s'achève début 2012, l'analyse des signaux se poursuivant jusqu'à la fin de l'année. Et trois mois plus tard, le monde entier de se voir offrir le nouveau visage du cosmos. De partager ce moment de sidération face à cette icône littéralement tombée du ciel.

LES SECRETS D'UN EXPLOIT

Comment Planck est-il parvenu à capter la lumière originelle de l'Univers? Pourquoi l'image qu'il a offerte au monde est-elle ultime et indépassable? Décryptage d'un exploit.

L'observation s'est déroulée entre l'été 2009 et janvier 2012. Le satellite *Planck* a été envoyé à 1,5 million de kilomètres de la Terre, au point de Lagrange dit L2, où il tourne autour du Soleil à la même vitesse angulaire que la Terre et ainsi se trouve-t-il toujours protégé des radiations solaires. Là, il a pu scanner chaque minute un mince ruban du ciel en réalisant un tour complet sur lui-même. Et finalement, en se décalant peu à peu, cartographier cinq fois l'intégralité de la voûte céleste.

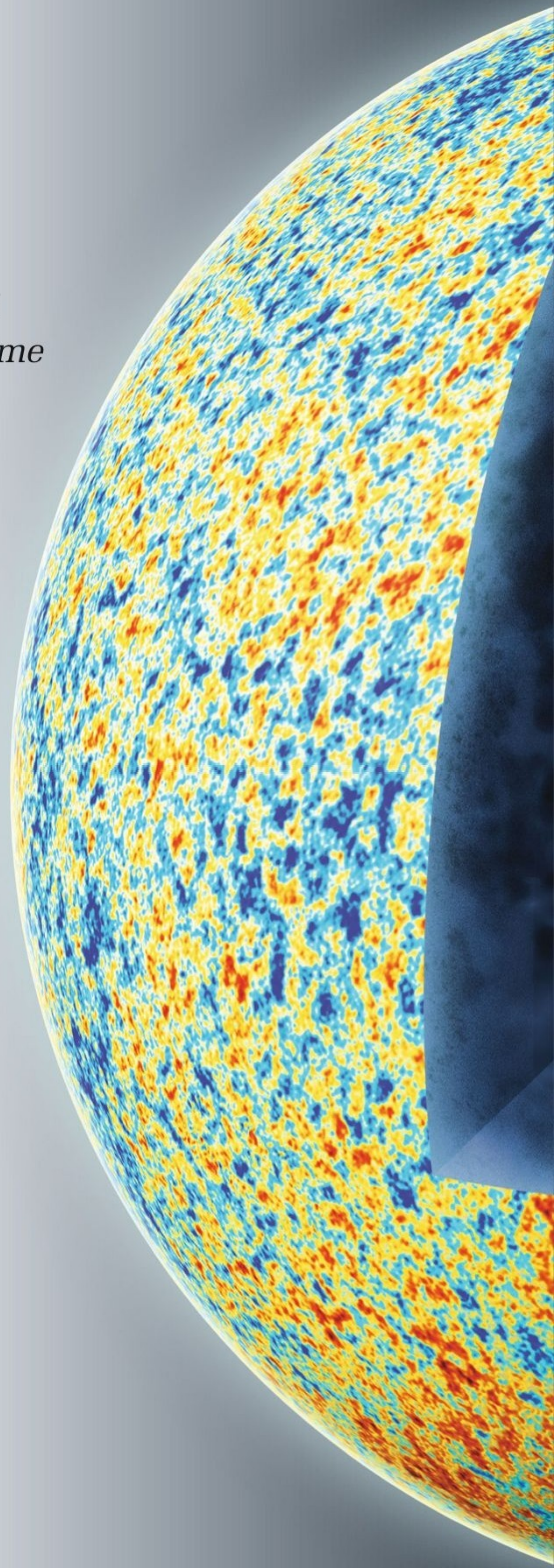
ÉPLUCHÉE COMME UN OIGNON

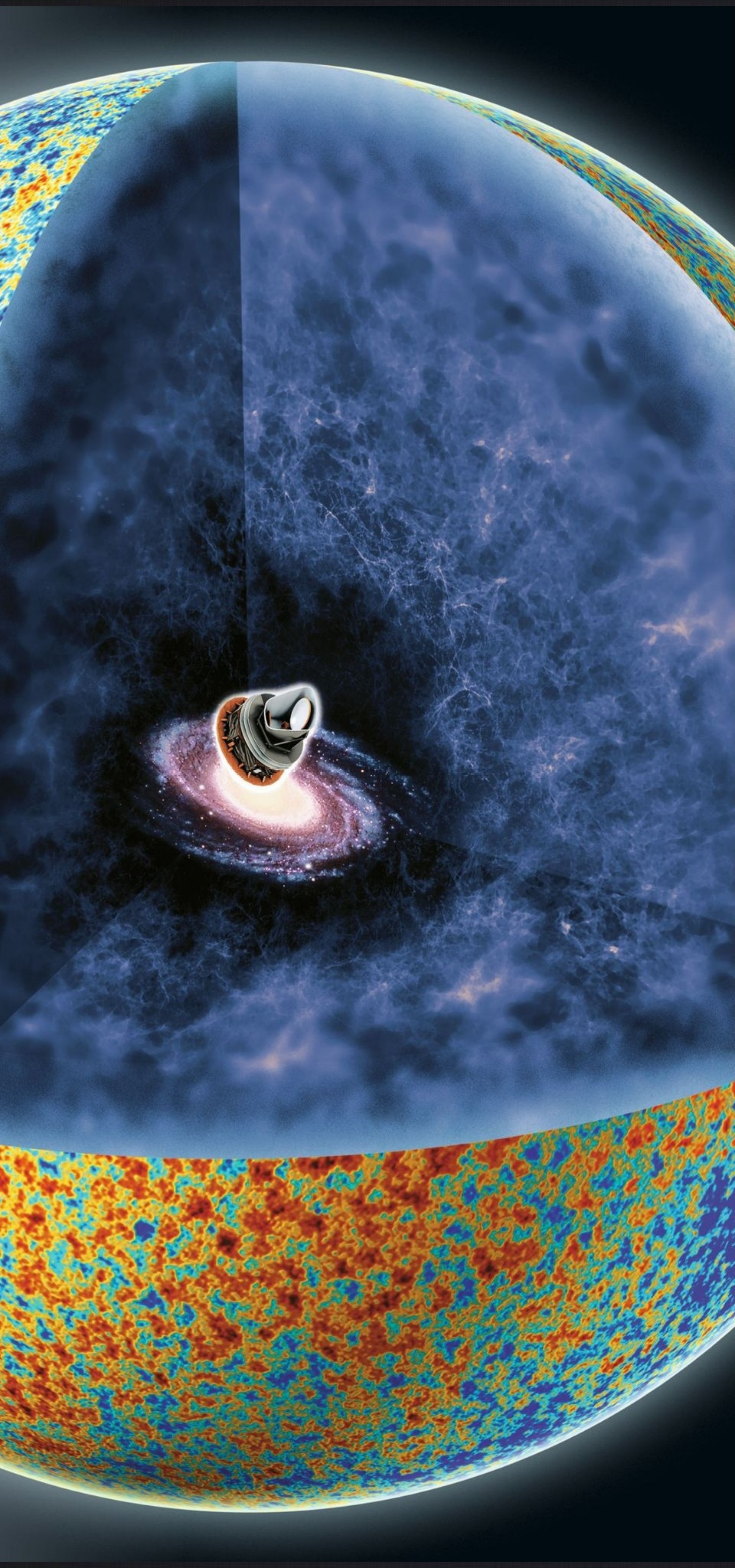
Ces cinq cartes ont été réalisées dans neuf longueurs d'onde de la lumière, chacune étant plus ou moins dominée par des sources différentes : poussières interstellaires, galaxies voisines, amas galactiques lointains, quasars... et fond diffus cosmologique. De quoi faire ressortir le précieux rayonnement fossile de la multitude de signaux brouillés en provenance de tous les recoins du cosmos.

Car là était le véritable défi : pour voir la lumière fossile, il faut extraire des enregistrements toutes les lumières parasites. Cette vaste entreprise de

nettoyage appelée "séparation des avant-plans" a nécessité de regrouper des spécialistes de tous les objets connus dans l'Univers – de la Voie lactée jusqu'aux galaxies anciennes, où se sont formées la plupart des étoiles, ainsi que des spécialistes de haut vol du traitement statistique de l'information. "C'est un peu comme d'enregistrer un orchestre avec des micros sensibles à des fréquences différentes afin d'isoler les sons émis par chaque instrument", explique Olivier Perdureau au Laboratoire de l'accélérateur linéaire, à Orsay, responsable d'une partie de l'analyse des données. Le tout dans le cadre d'une épreuve en temps limité : la collaboration s'était engagée à livrer ses résultats à l'Agence spatiale européenne fin 2012.

Trois mois plus tard, l'image est là. Tous les avant-plans supprimés, photographiés à des échelles et des longueurs d'onde jusqu'alors largement inexplorés, constituent déjà une formidable source de nouvelles données. Mais c'est ce qui reste qui est, de loin, le plus fascinant : pour la première fois, on voit vraiment à quoi ressemble notre Univers lorsque la lumière s'est allumée.

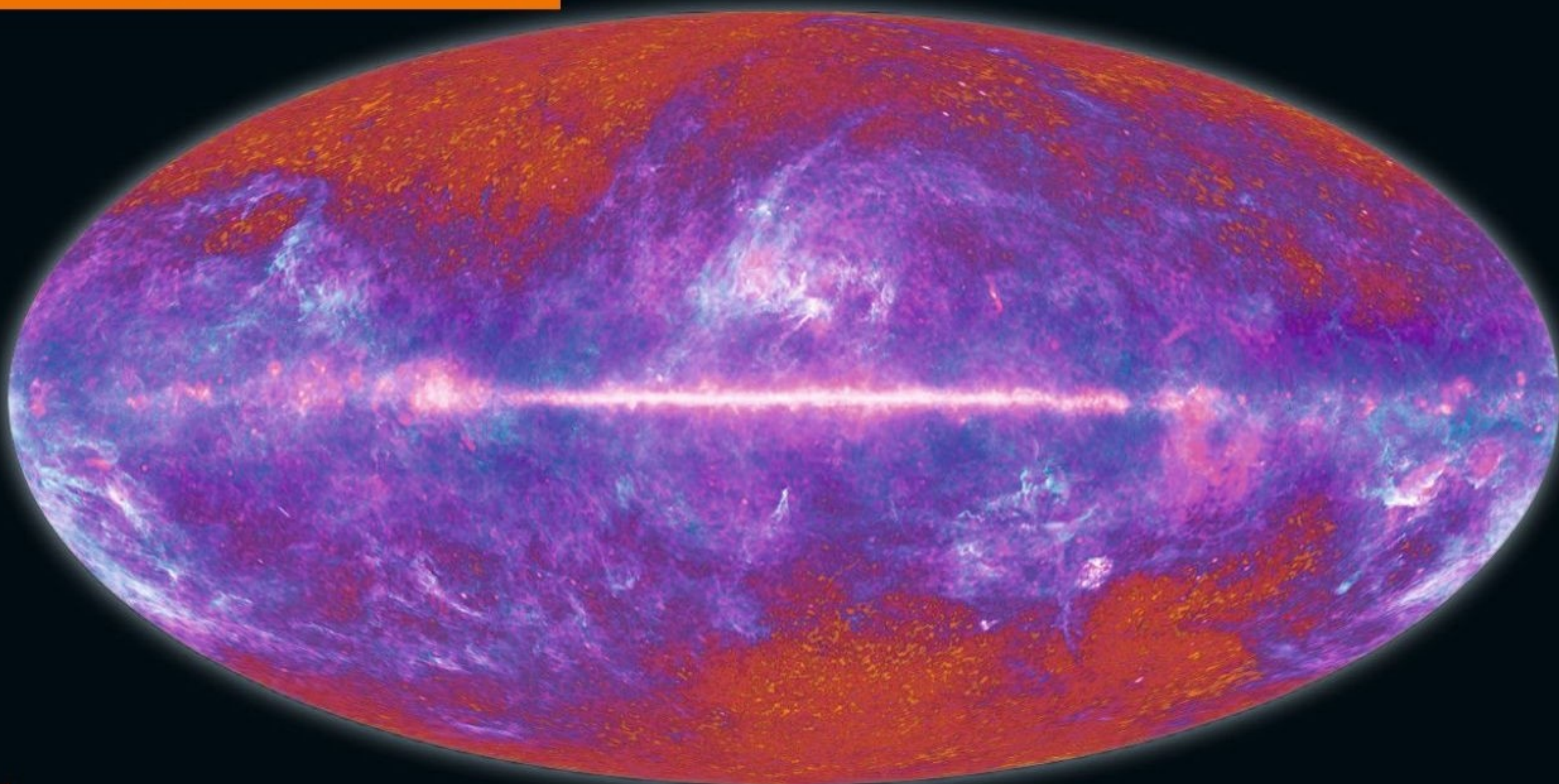




Comment *Planck* est parvenu à voir le fond de l'Univers

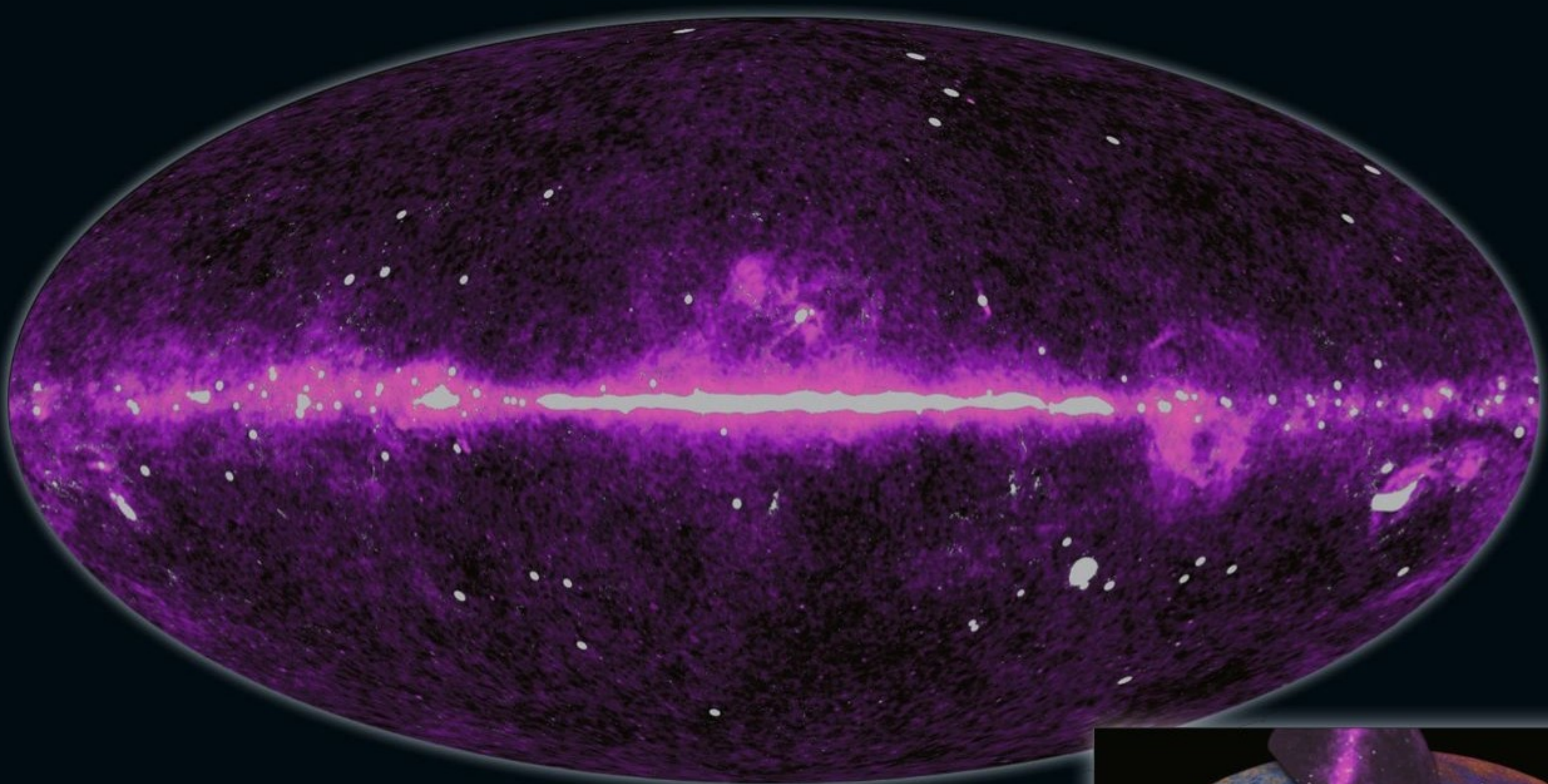
C'est un fait : d'où qu'on le regarde, l'Univers visible est, par définition, une sphère dont l'observateur est le centre et dont le rayonnement de fond cosmologique est la surface. Pourquoi ? Parce que la lumière est apparue partout en même temps, à un instant donné dans l'histoire de l'Univers, et parce que cette lumière se déplace à une vitesse finie. Pour bien le comprendre, mettons-nous à la place du satellite *Planck*, envoyé en mission à 1,5 million de kilomètres de la Terre. Puisque la lumière file à la vitesse approximative de 300 000 km/s, un simple calcul établit que ce détecteur voit notre bonne vieille Terre telle qu'elle était cinq secondes auparavant. De même, les particules lumineuses qu'il enregistre depuis les confins de la Voie lactée ont été émises il y a plusieurs milliers d'années. Quant aux photons qui tombent sur le détecteur en provenance de lointains amas galactiques, ils ont été émis, eux, il y a plusieurs milliards d'années. Seulement, le temps ne peut pas ainsi être remonté indéfiniment en regardant toujours plus loin. Car c'est seulement 380 000 ans après le big bang, il y a environ 13,8 milliards d'années, que les premières particules de lumière ont été libérées : à ce moment précis, alors que tout était noir, chaque point de l'espace s'est mis à émettre un flot de photons dans toutes les directions. Captés par *Planck* en provenance de tous les coins du ciel, ces photons primitifs ont tous voyagé exactement la même durée (13,8 milliards d'années). Vus du satellite, ils forment donc une parfaite sphère lumineuse. Et puisqu'aucune lumière ne peut parvenir de plus loin, ce rayonnement de fond cosmologique constitue la frontière de tout l'Univers visible. C'est cette sphère ultime de notre environnement que le satellite *Planck* vient de cartographier.

UN EXPLOIT EN 5 ÉTAPES



1 À PARTIR DE L'IMAGE DE LA VOÛTE CÉLESTE...

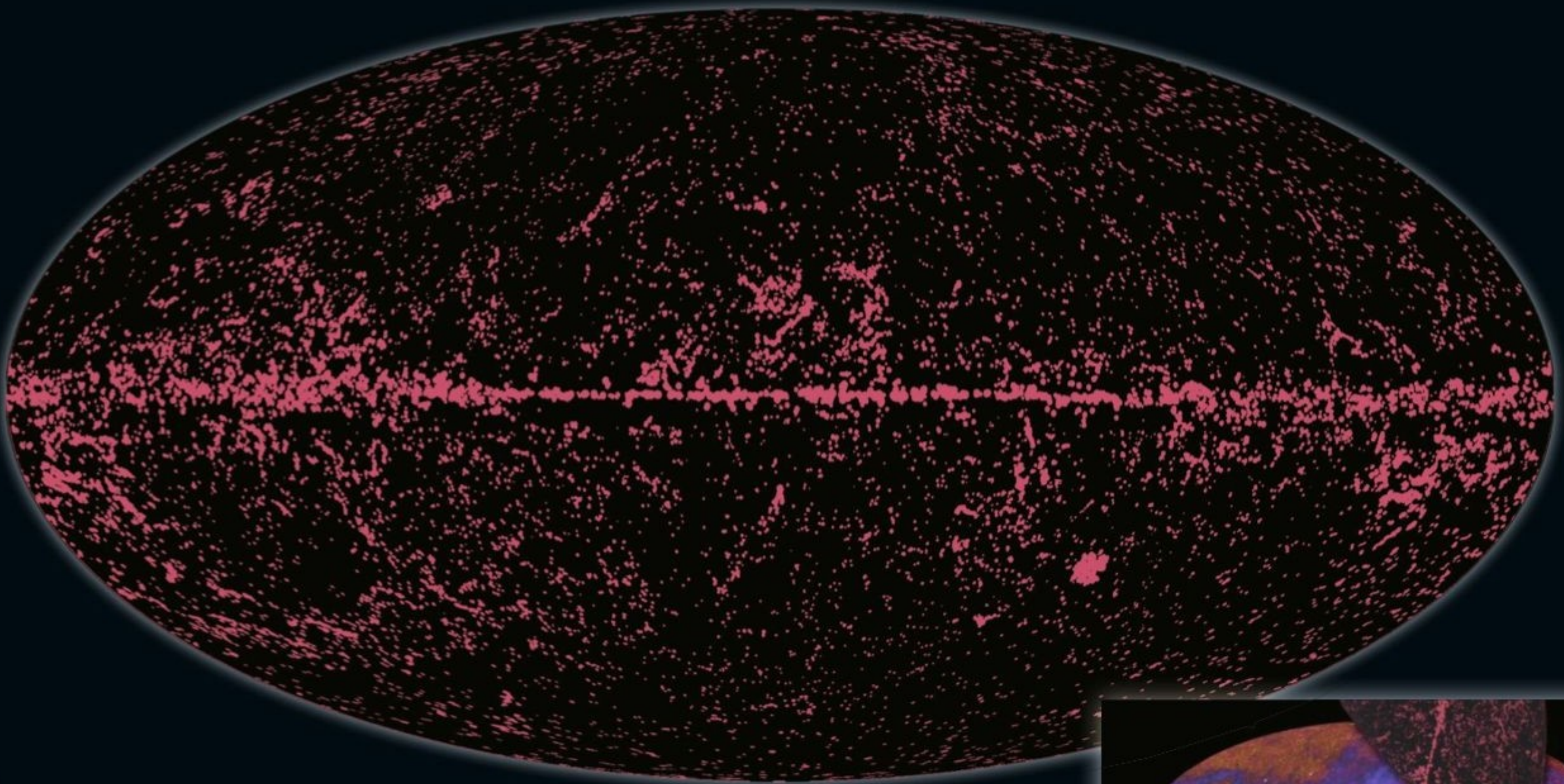
L'image réalisée par *Planck* est essentiellement dominée par la lumière de notre galaxie. Il s'agit de nettoyer un à un tous les avant-plans, un peu comme on ôte les pelures d'un oignon, afin de révéler son fond lumineux originel.



3 ... PUIS LES ONDES GALACTIQUES...

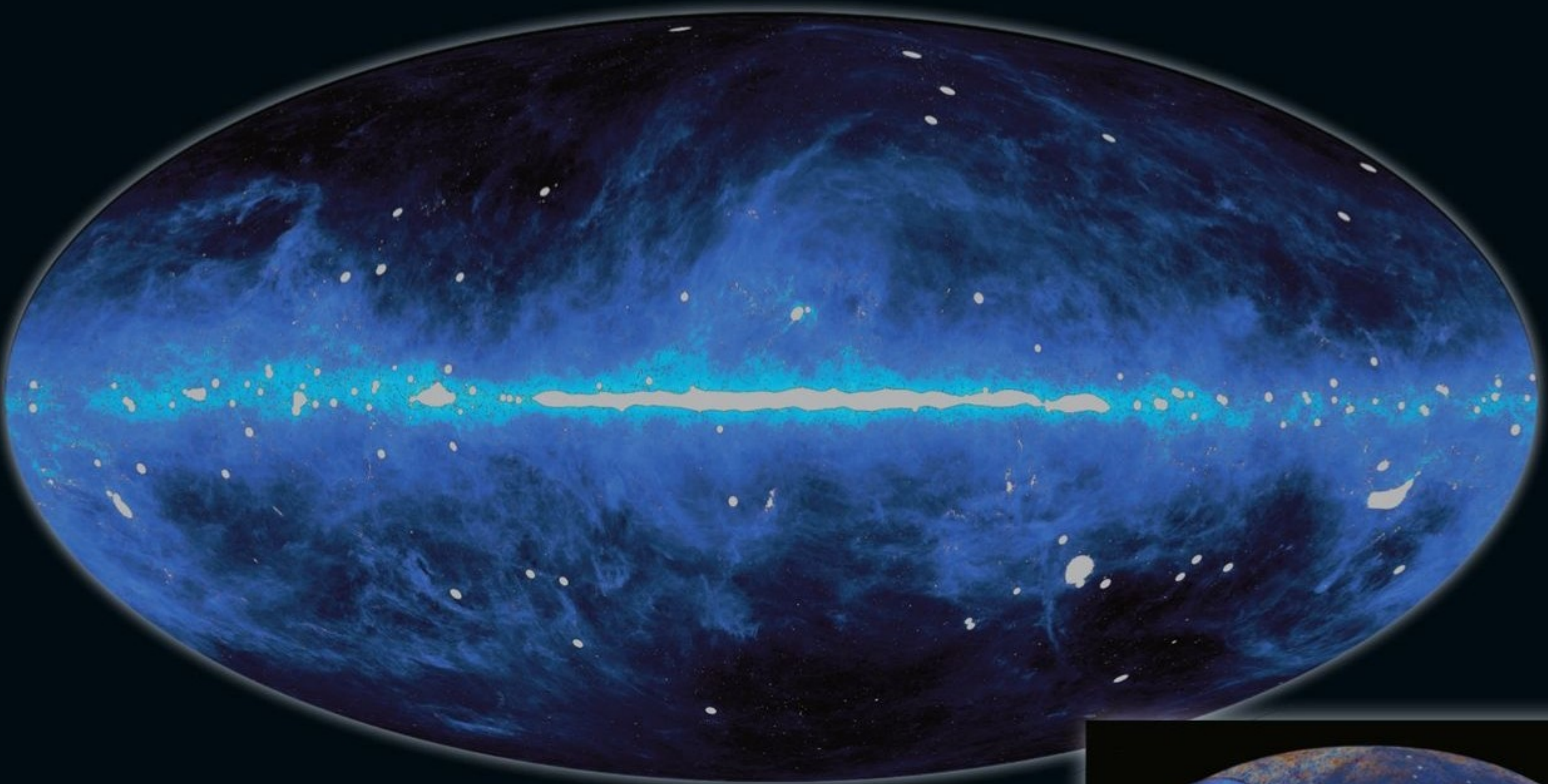
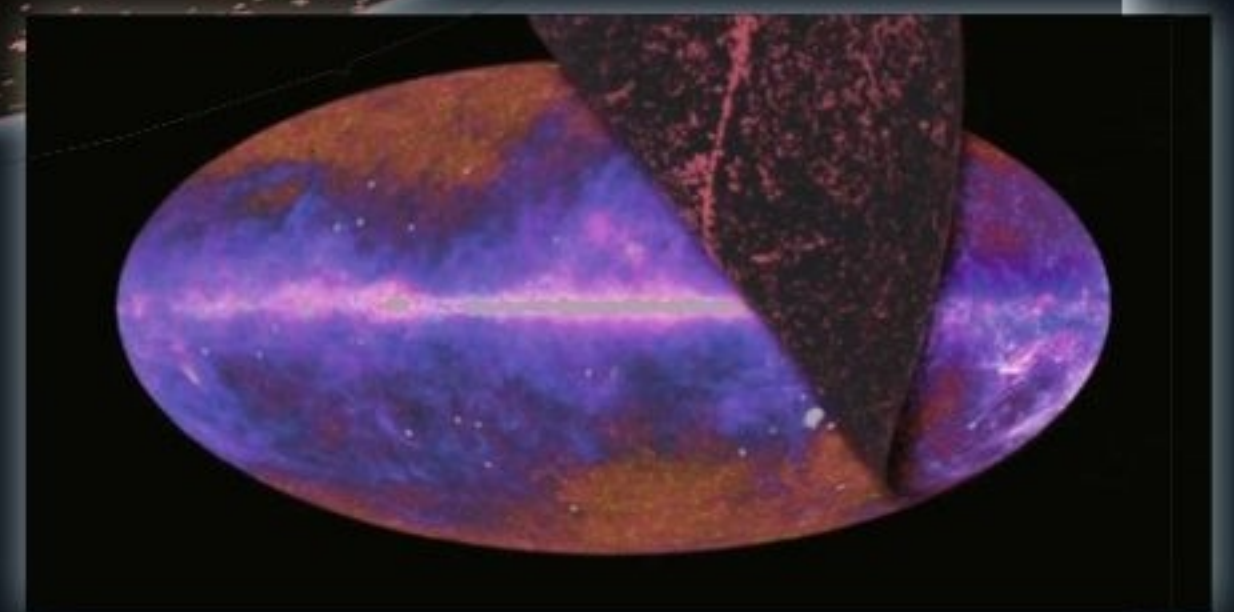
Deuxième obstacle : l'émission radio de notre galaxie. Essentiellement provoquée par le mouvement des électrons spiralant dans les lignes du champ magnétique de la Voie lactée, elle prend la forme d'une traînée discrète de part et d'autre de l'axe galactique.





2 ... LA LUMIÈRE DES ÉTOILES EST D'ABORD ÉLIMINÉE...

Premier obstacle : la lumière issue des pouponnières d'étoiles au sein de la Voie lactée, de galaxies voisines, d'amas et de super-amas de galaxies lointaines. En tout 50 000 sources, dites ponctuelles, qui masquent la lumière fossile.

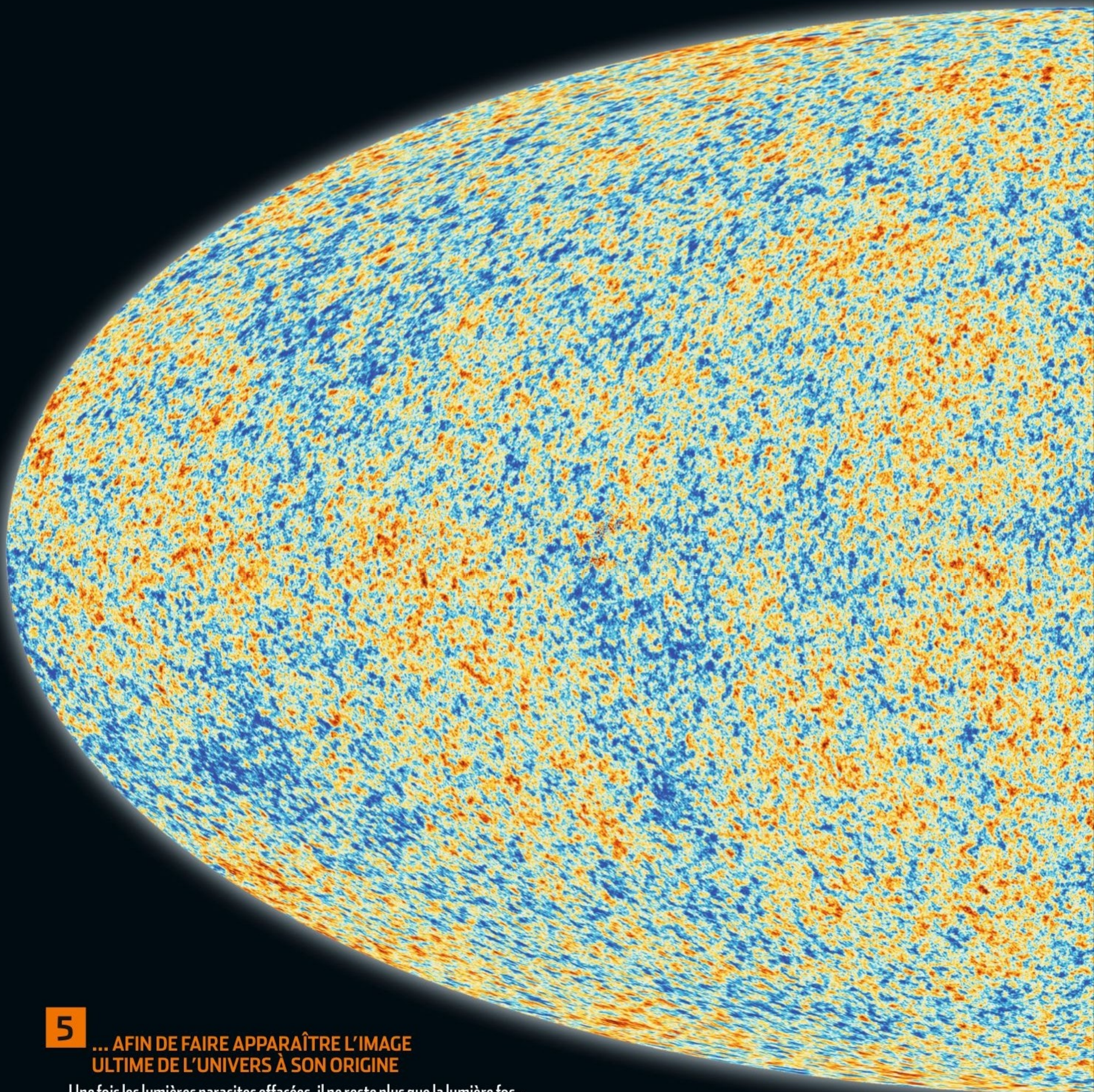


4 ... AINSI QUE LES POUSSIÈRES INTERSTELLAIRES...

Troisième obstacle : le rayonnement thermique émis par les poussières interstellaires de notre galaxie, du simple fait de leur température. Ce panache bleuté masque une grande partie du ciel.



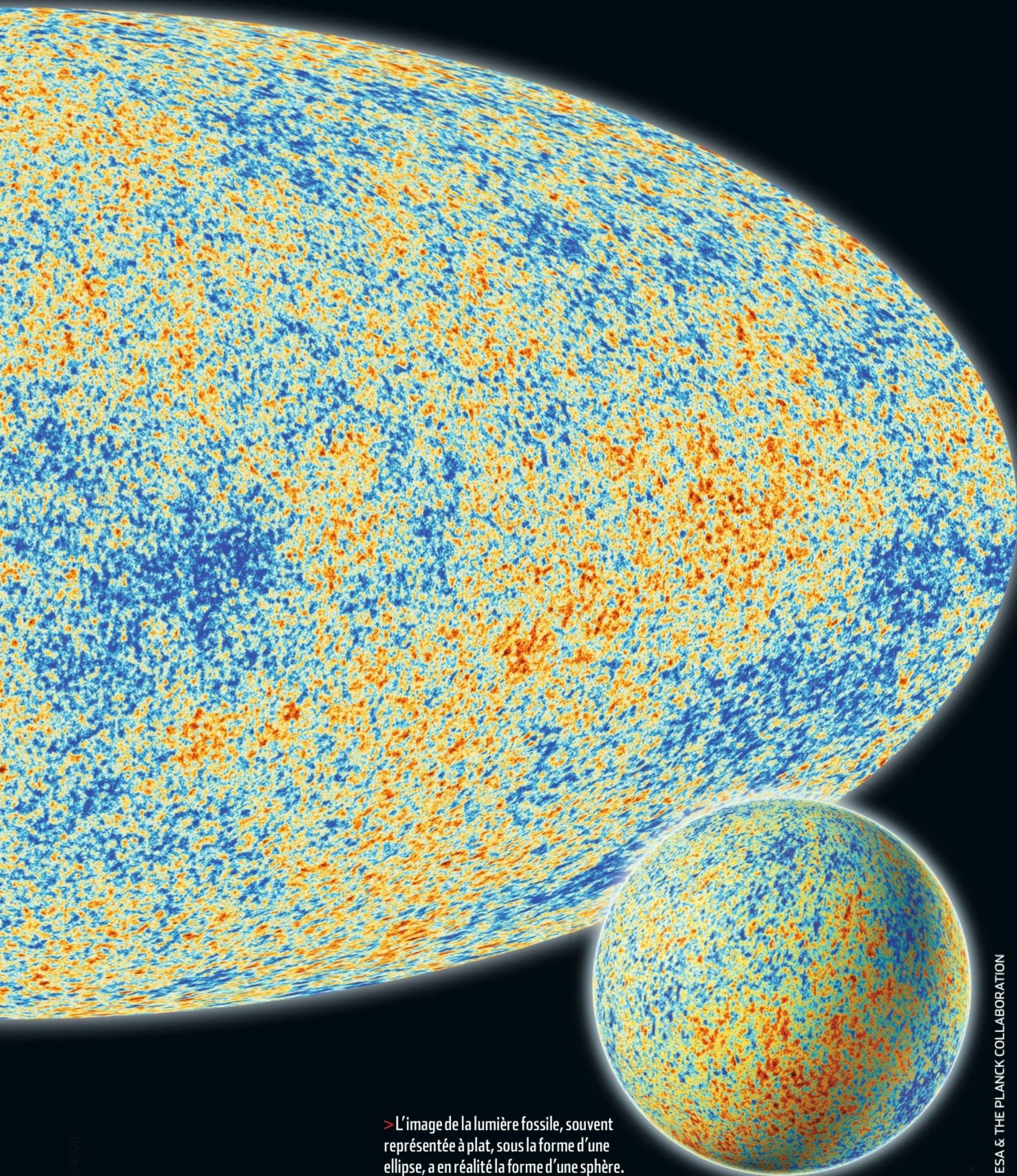
UN EXPLOIT EN 5 ÉTAPES



5

... AFIN DE FAIRE APPARAÎTRE L'IMAGE ULTIME DE L'UNIVERS À SON ORIGINE

Une fois les lumières parasites effacées, il ne reste plus que la lumière fossile issue des profondeurs du temps et de l'espace. Cette photographie fera à jamais date. Avec sa sensibilité inégalée, elle montre que l'Univers était alors une soupe quasiment homogène de particules chauffées à 3 000 °C, avec cependant déjà quelques légers grumeaux, de très petites fluctuations de la densité de matière, indiquées par des taches rouges, jaunes et bleues. Comme autant de révélateurs de l'origine même de l'Univers, alors que l'espace-temps balbutiant était agité de soubresauts quantiques.



> L'image de la lumière fossile, souvent représentée à plat, sous la forme d'une ellipse, a en réalité la forme d'une sphère.

Matière noire, inflation, paramètres de l'Univers...

CE QUE LE CLICHÉ RÉVÈLE DU COSMOS

La photographie du rayonnement de fond cosmologique n'est pas seulement un cliché ultime : elle valide surtout le scénario de l'histoire de l'Univers, mais en le précisant. Voire en le corrigeant.

"Les points s'alignent parfaitement sur la courbe, commence George Efstathiou, de l'université britannique de Cambridge. Planck nous montre un Univers presque parfait : rien n'est mieux que le modèle standard." "Cela marche incroyablement bien", renchérit Paolo Natoli, de l'université de Ferrare (Italie). "La première chose qu'on voit, c'est une adéquation parfaite avec le modèle standard", martèle à son tour Simon White, de l'Institut Max-Planck, en Allemagne. "C'est juste hallucinant!",

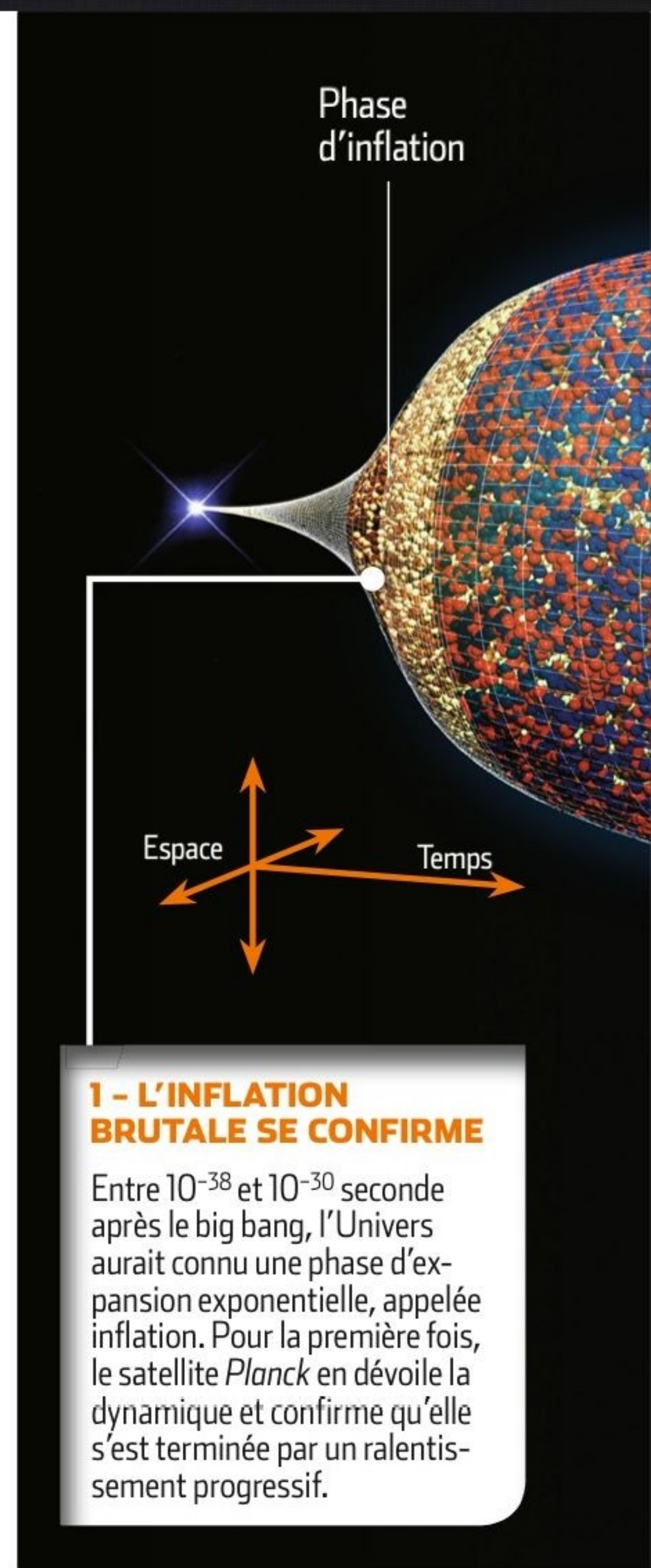
ET L'AU-DELÀ ALORS ?

En février 2012, *Science & Vie* annonçait que les "premiers signes de l'au-delà" seraient bientôt accessibles grâce à *Planck*. Eh bien, il faudra attendre pour savoir à quoi ressemble l'avant-big bang et ce qu'il y a en dehors de l'Univers. Pour l'heure, les cosmologistes viennent de révéler la carte des fluctuations thermiques du rayonnement fossile, grâce à laquelle il sera possible d'examiner la théorie de notre Univers. Il faudra encore un an avant que soit publiée la carte de la polarisation du fond diffus cosmologique, et commencer à sortir de l'Univers. Selon les théories spéculatives au-delà de la cosmologie standard, c'est cette carte qui contiendra peut-être les premiers signes de l'au-delà !

s'enthousiasme quant à lui François Bouchet, de l'Institut d'astrophysique de Paris. Tous les membres de la collaboration Planck font le même constat : en scrutant le fond lumineux du cosmos, le satellite a confirmé au-delà des espérances la théorie sur laquelle cosmologistes et astrophysiciens s'appuient depuis des dizaines d'années pour décrire l'évolution de l'Univers. Le modèle cosmologique standard, cet édifice érigé au long du XX^e siècle sur la base de la relativité générale d'Einstein, sort renforcé de sa mise à l'épreuve par le plus aiguisé des instruments d'observation. Chacune des étapes de l'histoire de l'Univers se trouve ainsi confirmée avec une précision qui ne cesse d'étonner.

UNE SUPERPOSITION PARFAITE

C'est d'abord le scénario de son origine même qui se trouve conforté. La dynamique de ce premier rayonnement cosmique, émis quelque 380 000 ans après le big bang. "Planck a pu analyser précisément les fluctuations quantiques qui composent le fond diffus cosmologique, relate François Bouchet. Et les



1 - L'INFLATION BRUTALE SE CONFIRME

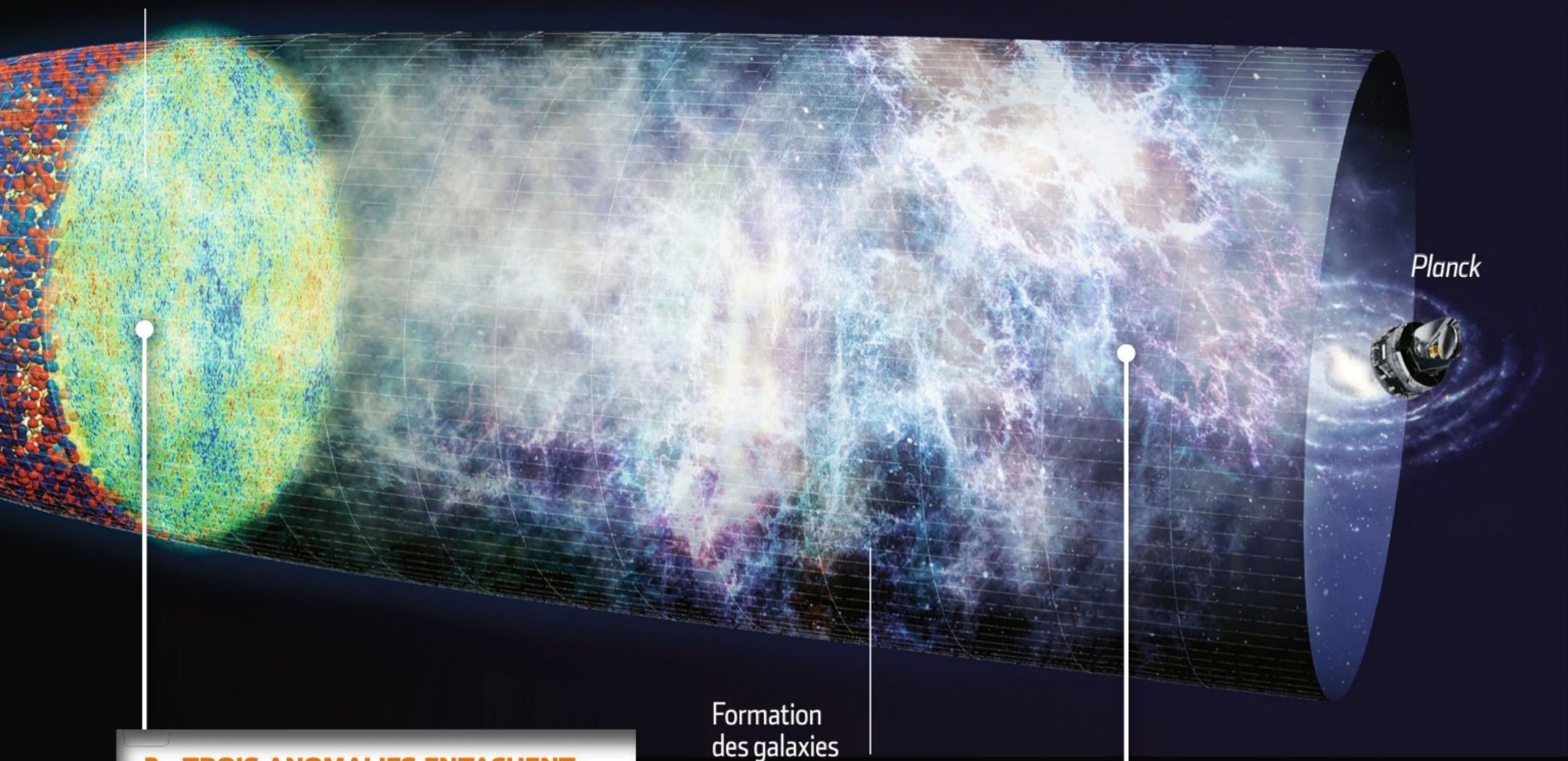
Entre 10^{-38} et 10^{-30} seconde après le big bang, l'Univers aurait connu une phase d'expansion exponentielle, appelée inflation. Pour la première fois, le satellite *Planck* en dévoile la dynamique et confirme qu'elle s'est terminée par un ralentissement progressif.

gradients de températures correspondent exactement à ceux prédits par la théorie." Ce qui, selon les spécialistes, laisse penser que l'on a correctement décrit le plasma de particules qui constituait l'Univers juste après sa naissance.

La suite de l'histoire, elle non plus, n'est pas remise en question. Le tableau de l'évolution de l'Univers livré par *Planck*, qui englobe la condensation de la matière à partir des fluctuations originelles, la structuration des halos de poussières et la formation des galaxies, se superpose avec celui brossé par la théorie. "Le rayonnement infrarouge émis par la poussière nous indique la masse totale associée aux galaxies au moment où elles formaient

Première lumière
(rayonnement fossile)

Les 3 premières découvertes de Planck



2 - TROIS ANOMALIES ENTACHENT LE FOND LUMINEUX DE L'UNIVERS

380 000 ans après le big bang, les protons et les neutrons s'assemblent pour former des noyaux, libérant des flots de photons. L'Univers émet sa première lumière. En épluchant les fluctuations de ce fond lumineux, *Planck* a dévoilé trois anomalies qui semblent contredire le modèle cosmologique.

Formation
des galaxies

3 - LA RECETTE DE L'UNIVERS A UN NOUVEAU DOSAGE

Planck vient de recalculer tous les paramètres cosmologiques : l'Univers s'avère âgé de 13,82 milliards d'années ; il est composé de 4,9 % de poussières et de galaxies, de 26,8 % de matière noire et de 68,3 % d'énergie noire ; et il s'étend à la vitesse de 67 kilomètres par seconde.

la majorité de leurs étoiles, lorsque l'Univers avait entre 20 et 50 % de son âge actuel, explique Simon White. Tandis qu'en étudiant la déviation de la lumière du fond diffus cosmologique (CMB), nous avons cartographié une grande partie de la matière noire de l'Univers, cette substance que nous ne pouvons détecter directement, mais dont nous percevons les effets gravitationnels. Et le résultat est là : la carte de *Planck* colle parfaitement à la théorie."

En couplant ces deux mesures, les membres de la collaboration *Planck* ont ainsi pu vérifier que la matière se condense au milieu de halos de matière noire – une fois de plus, exactement comme l'avait prédit le modèle standard. Jusqu'à

affiner la recette de l'Univers (voir encadré 1, pp. 88-89), en corrigeant de quelques pourcent la quantité de matière, le taux d'expansion de l'Univers ainsi qu'une multitude d'autres paramètres, et confirmer sa forme : nous vivons bien dans un Univers dont la courbure spatiale est nulle. L'Univers est

LE MODÈLE QUI DÉCRIT L'UNIVERS SORT RENFORCÉ DE CETTE MISE À L'ÉPREUVE

plat : si on traçait un triangle de plusieurs milliards d'années-lumière de côté, la somme de ses angles serait toujours égale à 180 degrés. "Nous le vérifions avec quatre décimales", précise François Bouchet.

Un point final au grand-livre de l'histoire de l'Univers ? "On pourrait en rester là et dire que la cosmologie est terminée !", propose George Efstathiou... pour mieux se contredire aussitôt : "Mais non, la cosmologie n'est pas finie, car nous avons détecté des anomalies !" Trois en particulier, qui pour l'instant résistent à toute tentative d'explication dans le cadre du modèle standard (voir encadré 3, pp. 90-91). Ce ne sont que quelques petits points non alignés sur les courbes et pondérés par de grandes barres d'erreurs. Les membres de la collaboration *Planck* ne cessent de rappeler qu'il pourrait tout simplement s'agir d'un fait du hasard, tout en essayant de modifier à la marge le modèle →

→ standard avec l'ajout d'une nouvelle famille de neutrinos, la modification des propriétés de la matière, de l'énergie noire ou de la courbure de l'Univers... Sauf que, pour l'instant, comme le résume Jean-Loup Puget, membre de la collaboration Planck à l'Institut d'astrophysique spatiale d'Orsay, *"l'ajustement aux données est pire"*. *"Cela ne veut pas dire que le modèle est faux... mais qu'il est incomplet"*, résume Paolo Natoli.

L'HISTOIRE RESTE À ÉCRIRE

Mais surtout, au-delà de ces anomalies, le modèle cosmologique standard, tout puissant soit-il, ne peut être la fin de l'histoire. Simplement parce qu'il n'a rien de fondamental. Bien loin d'une théorie du tout de l'Univers, Graal de la physique, qui décrirait à partir de quelques lois la totalité de l'histoire, depuis le big bang jusqu'à l'expansion de l'Univers en passant par la naissance des particules, des étoiles et des planètes, il s'agit plutôt d'un amas de corpus disparates, d'un assemblage de corrections *ad hoc* et de rafistolages théoriques qui ne proviennent pour la plupart d'aucune théorie fondamentale...

Ainsi, pour expliquer la rotation trop rapide des étoiles dans leur galaxie et des galaxies dans leur amas, les cosmologistes ont été contraints d'ajouter aux ingrédients de l'Univers cette fameuse "matière noire" dont ils ne savent rien, probablement constituée d'une sorte de particule mystérieuse, mais qu'aucun accélérateur n'a encore réussi à produire. Par ailleurs, pour expliquer que la fuite des galaxies s'accélère, ils ont →

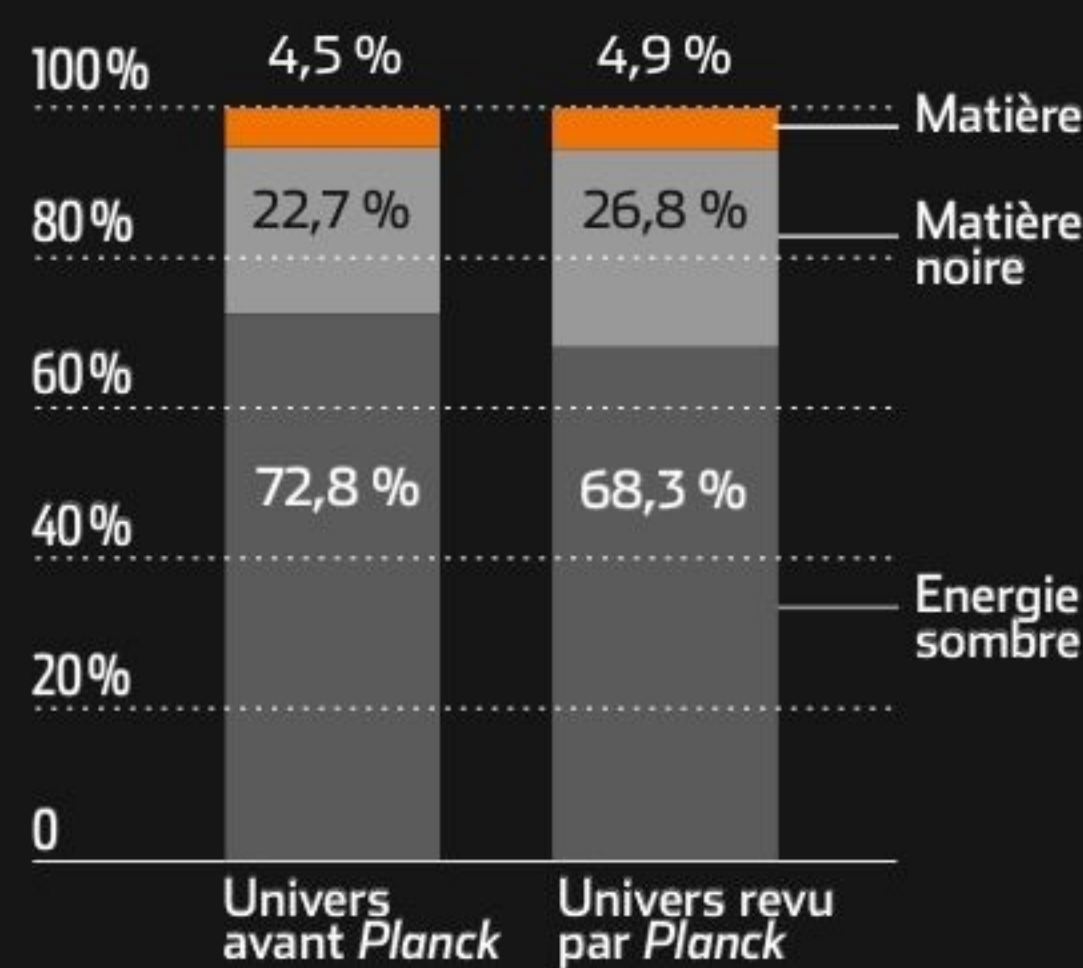
UNE RECETTE DE L'UNIVERS

"La fraction de ce qu'on ne comprend vraiment pas est en baisse !", conclut non sans humour George Efstathiou, membre de la collaboration Planck à l'université britannique de Cambridge, le 21 mars dernier. Il vient d'annoncer que l'Univers, "revu" par le satellite, a gagné 0,4 % de galaxies et de poussières, et perdu 4,5 % de cette mystérieuse entité responsable de l'accélération de

l'expansion que les spécialistes, faute d'avoir la moindre idée quant à sa nature, ont baptisé énergie noire... En sondant le fond du ciel, *Planck* a mis à l'épreuve la recette avec laquelle les cosmologistes concoctent tout l'Univers, depuis l'explosion originelle du big bang jusqu'à ce que s'allument les étoiles et s'agrègent les planètes.

Résultat ? La recette en est sortie renforcée, et ses ingrédients affublés de nouvelles valeurs. Car pour les cosmologistes, l'Univers entier tient en une loi et six paramètres. Dans le creuset de la relativité générale, théorie de la gravitation qui met en relation l'évolution spatiale et temporelle de l'Univers avec sa composition, ils introduisent trois premiers ingrédients, qui concernent le contenu de l'Univers : la matière décrite par les équations de la physique des particules ; la matière noire, inconnue mais indispensable pour générer le champ de gravitation de l'Univers ; et un paramètre appelé "horizon du son", lié à la densité d'énergie noire.

La composition de l'Univers change



UN PREMIER PAS POUR RÉUSSIR

C'est la zone d'ombre de l'histoire de l'Univers. Une période trouble, à propos de laquelle les cosmologistes ne savent rien, ou presque. Avec les données fournies par *Planck*, ils en entrouvrent enfin la porte : l'inflation, cette période située entre 10^{-38} et 10^{-30} seconde après le big bang, durant laquelle l'Univers aurait connu une phase d'expansion exponentielle, ne s'est pas arrêtée brutalement, mais a connu une phase de ralentissement progressif jusqu'à se stabiliser. Jean-Loup Puget, à l'Institut d'astrophysique spatiale d'Orsay, ne cache pas son enthousiasme : *"Nous pénétrons enfin au cœur de la phase inflationnaire, pour en observer la dynamique ! Ce qui nous permet de commencer à faire le tri entre les différents modèles d'inflation."*

De fait, au lieu d'une théorie fondée sur de solides principes fondamentaux, l'inflation se présente sous la forme d'une constellation de modèles plus ou moins *ad hoc*, entre lesquels les spécialistes sont bien en peine de trancher.

La structure du cosmos expliquée

Pis, l'existence même de cette phase n'est qu'une hypothèse, sortie d'un chapeau théorique dans les années 1980 et qui, depuis, s'est imposée comme le seul moyen de résoudre plusieurs questions posées par la théorie du big bang. En particulier, comment se fait-il que l'Univers soit si remarquablement homogène à grande échelle ? Précisément, comment des régions si éloignées qu'elles n'ont *a priori* jamais été en contact

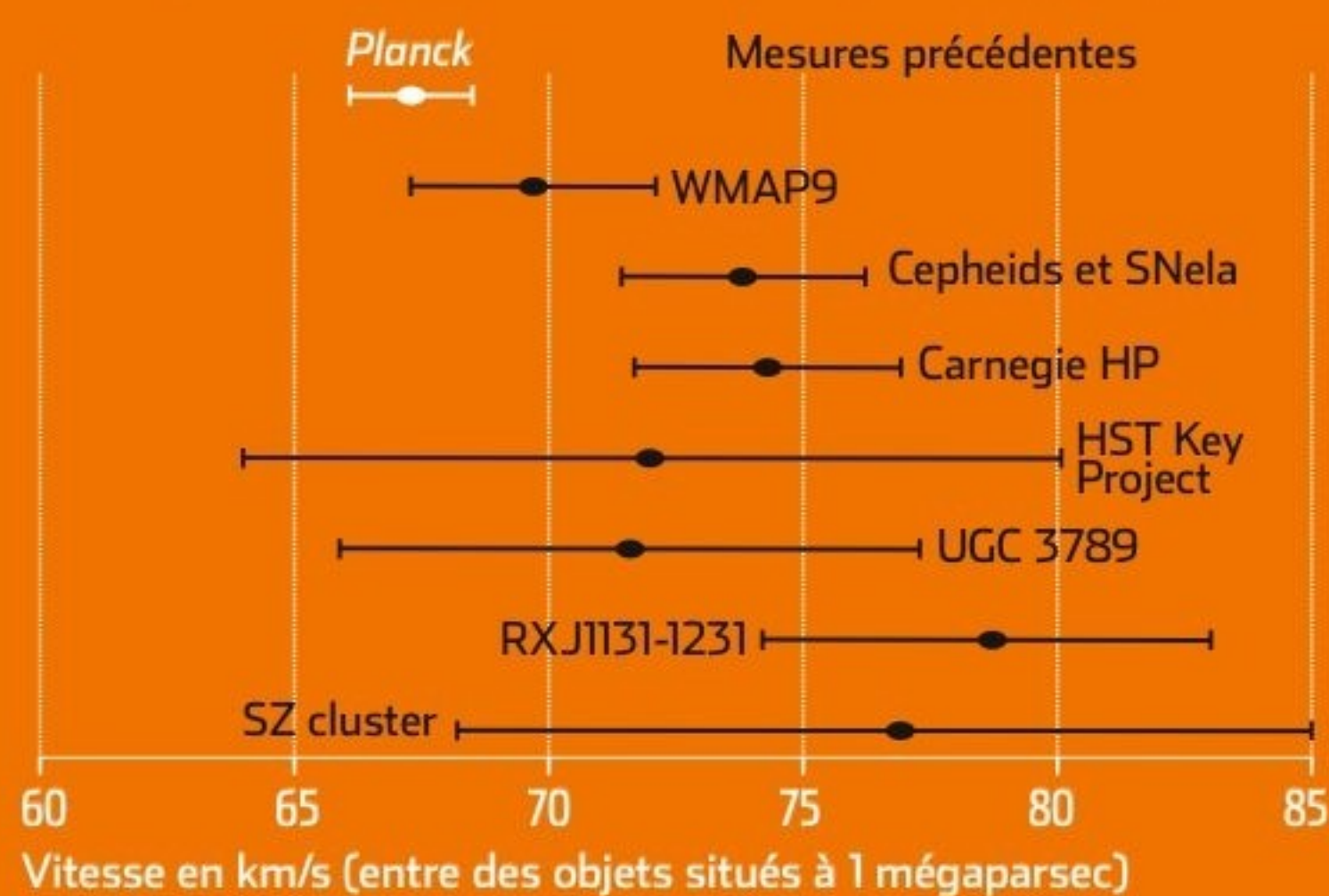
ENFIN AFFINÉE

Mais cela ne suffit pas. Les cosmologistes ont besoin d'informations sur la période à laquelle les premières étoiles ont commencé à brûler. En principe, ces données pourraient être déduites des ingrédients précédents, sauf qu'en pratique, le résultat dépend de phénomènes qui se produisent aussi bien à l'échelle d'une étoile que de l'Univers tout entier... ce que les spécialistes ne savent pas intégrer. Il leur faut donc ajouter un quatrième paramètre, appelé "profondeur optique à la réionisation", avant de passer à la touche finale : les deux derniers paramètres, qui décrivent une phase très ancienne de l'histoire de l'Univers, l'inflation (voir ci-dessous).

Les 6 ingrédients confirmés

Voilà donc la recette du modèle dit standard, qu'il s'agit de confirmer en parvenant, à force de jouer sur les proportions des ingrédients, à lui faire épouser les mesures astronomiques, en particulier celles, toutes nouvelles,

L'expansion est moins rapide que prévu



Les données de *Planck* (ci-contre, en blanc) indiquent que le taux d'expansion de l'Univers est moins rapide (environ 67 km/s) que ce qu'avaient prévu les autres mesures. Ces dernières étaient cependant entachées d'erreurs beaucoup plus importantes.

issues du fond diffus cosmologique. Les mesures précédentes, prises au début des années 2000 par le satellite *WMAP*, laissaient penser que la recette était la bonne. *Planck* vient de le confirmer... avec une bien meilleure précision. "Le modèle standard permet de très bien ajuster les données de *Planck*", martèle George Efstathiou.

En découle donc la révision de l'ensemble des six paramètres qui régissent la marche du monde, et de toutes les autres caractéristiques du cosmos qui en dérivent. Avant *Planck*, l'Univers était composé de 4,5 % de matière, 22,7 % de matière noire et

72,8 % d'énergie noire (voir ci-contre). Désormais, il faut compter avec 4,9 % de matière, 26,8 % de matière noire et 68,3 % d'énergie noire. Avant *Planck*, les galaxies semblaient s'éloigner les unes des autres à quelque 72 km/s (voir ci-dessus). Aujourd'hui, on sait que la vitesse d'expansion de l'Univers est en réalité de 67 km/s. Avant *Planck*, le Cosmos était âgé de 13,76 milliards d'années ; il a aujourd'hui 13,82 milliards d'années... Ainsi, les ingrédients ont un peu changé. Mais *Planck* confirme l'étonnante simplicité du cosmos, réductible à six paramètres. Pas un de plus !

À COMPRENDRE L'INFLATION

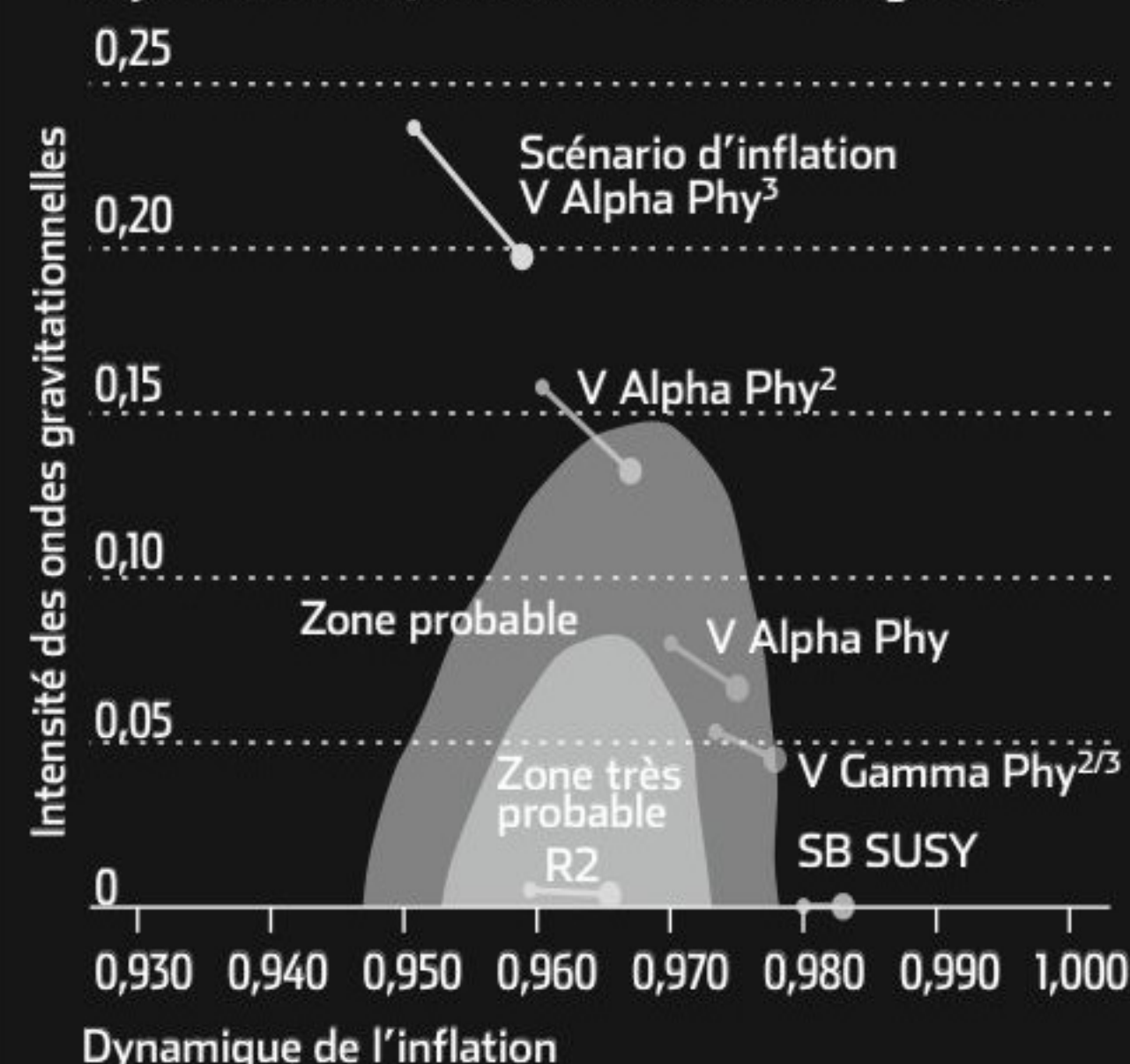
peuvent-elles présenter des propriétés si semblables ? Parce que tout l'Univers observable proviendrait d'une minuscule région du cosmos primordial, qui aurait eu le temps de s'homogénéiser, de même qu'un petit volume d'eau présentant des écarts internes de température s'uniformise plus rapidement qu'un volume plus important.

Sans compter que l'inflation explique comment, à partir d'une soupe primordiale en grande partie homogène, l'Univers s'est structuré en galaxies et amas de galaxies, séparés par d'immenses vides intergalactiques. Au final, cette hétérogénéité ne serait que le reflet, étiré à des échelles cosmologiques, des soubresauts spontanés d'origine quantique qui agitaient et

déformaient l'espace-temps de l'Univers à sa naissance ! Fluctuations également à l'origine de celles du fond diffus cosmologique scruté par *Planck*. "C'est là la chance des cosmologistes, explique François Bouchet, à l'Institut d'astrophysique de Paris. Entre le big bang et l'émission du rayonnement fossile, les fluctuations primordiales, bien qu'étirées, n'ont pas connu de transformations violentes. Elles ont donc gardé la mémoire de leur origine sous la forme, notamment, d'un paramètre que nous avons pu mesurer avec *Planck*." De quoi exclure les modèles d'inflation les plus complexes, comme ceux qui prédisaient que ce sont les champs produits par plusieurs sortes de particules qui auraient fait enfler l'Univers.

De premiers scénarios peuvent déjà être exclus

Les données de *Planck* réduisent la plage possible des paramètres qui caractérisent les différents scénarios de l'inflation, représentés par des segments. Certains modèles sont déjà invalidés (en dehors de la zone grise).

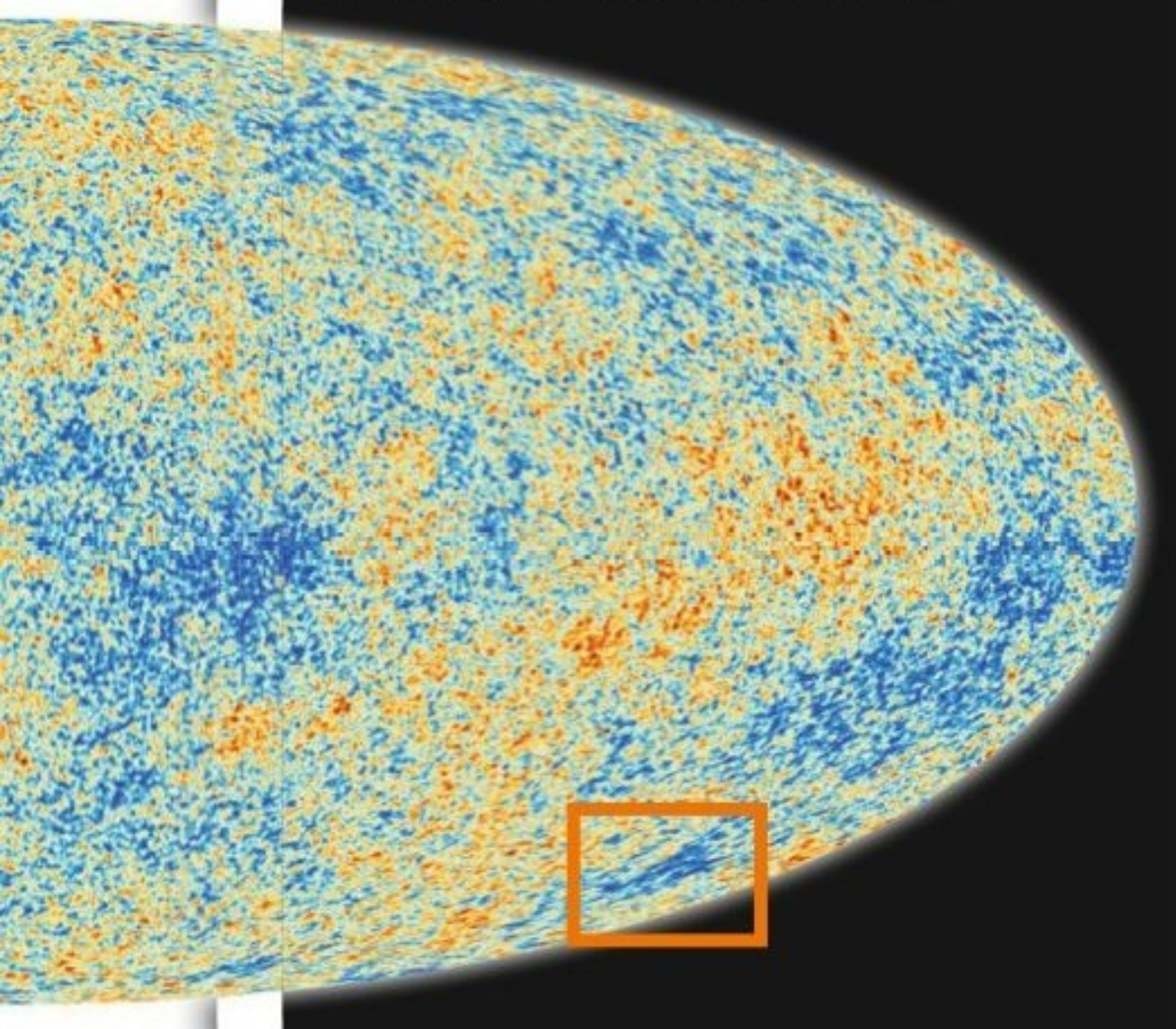


TROIS ANOMALIES POUR ALLER AU-DELÀ DU

Au premier abord, le fond diffus cosmologique semble parfait. Le chef-d'œuvre impressionniste qu'attendaient les théoriciens. Mais à y regarder de plus près, les membres de la collaboration Planck ont détecté trois anomalies. Trois infimes petits

Le mystère du "cold pot" s'épaissit

Cette petite région, au sud de l'axe de la Voie lactée, est plus froide que la moyenne. Hasard ou première manifestation d'un phénomène physique encore incompris ?



défauts qui n'avaient pas été prévus par leur modèle cosmologique. Mauvaise nouvelle ? Non... Ces trois défauts sont autant de fils que les cosmologistes vont essayer de tirer, jusqu'à, espèrent-ils, voir émerger un corpus théorique encore plus solide pour décrire l'évolution de l'Univers. Jean-Loup Puget, membre de la collaboration Planck à l'Institut d'astrophysique spatiale d'Orsay, s'en réjouit d'avance : *"Les théoriciens vont devoir battre la campagne !"*

● DEUX HÉMISPÈRES DIFFÉRENTS

"On sait pourquoi les deux faces de la Lune ne se ressemblent pas, mais on ignore encore pourquoi les deux hémisphères du fond diffus cosmologique (CMB) sont dissemblables", s'amuse Paolo Natoli, membre de la collaboration Planck à l'université de Ferrare, en Italie. C'est pourtant un fait : le CMB apparaît significativement différent sur les hémisphères célestes Nord et Sud, c'est-à-dire au-dessus et en dessous de la ligne tracée par la tranche de la Voie lactée. Ce qui est assez perturbant puisque notre galaxie ne peut

pas avoir influencé une lumière qui a été émise plus de 13 milliards d'années avant sa naissance !

Concrètement, cela signifierait qu'il existe dans le ciel, à l'échelle du cosmos, des directions privilégiées. Ce qui est en contradiction avec le principe copernicien à la base de la relativité générale, selon lequel, à grande distance, l'Univers est isotrope, c'est-à-dire qu'il ne présente aucune direction privilégiée. Là encore, la mesure de Planck ne permet pas d'exclure qu'il s'agisse d'un simple fait du hasard. *"On ne sait pas,"* admet Francis Bernardeau, de l'Institut de physique théorique du Commissariat à l'énergie atomique, à Saclay. *Mais la communauté scientifique va s'emparer du problème. Sans parler d'une anomalie à proprement parler, qui sait si nous n'allons pas découvrir une relation particulière entre les différentes échelles du CMB qui révélerait une régularité qu'on ne soupçonnait pas..."*

● UNE ÉTRANGE ZONE FROIDE

Il s'agit d'une zone minuscule, en bas à droite du planisphère du CMB, et

→ dû ressusciter une vieille constante qu'Einstein avait pourtant rejetée, et postuler l'existence d'une énigmatique "énergie noire", d'une nature là encore totalement inconnue mais qui, pourtant, représenterait plus de 70 % du cosmos. Enfin, pour expliquer pourquoi des régions, si éloignées qu'elles n'ont *a priori* jamais été en contact, sont si homogènes, ils ont dû imaginer que l'Univers aurait subi, à peine né, une expansion brutale qui l'aurait fait passer de la taille d'un atome à presque sa taille actuelle, lors d'une phase qu'ils appellent inflation.

Or, si Planck confirme l'existence d'une matière et d'une énergie noire, il n'apporte aucune réponse quant à sa nature. Et s'il renforce l'hypothèse de l'inflation (voir encadré 2, pp. 88-89), il n'en donne pas la preuve et ne précise pas quelle substance aurait pu être à l'origine d'un tel gonflement.

DES THÉORIES VONT TOMBER

"Nous avons montré que dans un cadre qui suppose l'inflation, Planck permet de la caractériser avec une précision inégalée," précise ainsi Jean-Loup Puget. *Mais nous n'aurons de preuve de son existence qu'à la*

condition de détecter les ondes gravitationnelles qui sont censées avoir pris corps en son sein." Ondes gravitationnelles qui pourraient avoir imprimé leur marque dans ce que les spécialistes appellent la polarisation du CMB, mesurée elle aussi par Planck, mais dont une première analyse ne sera publiée qu'en 2014 (voir encadré sur l'au-delà, p. 86).

Pour les chercheurs, le travail ne fait donc que commencer. Les membres de la collaboration Planck sont déjà en train de s'atteler à faire parler la seconde moitié des données recueillies par le satellite qui est

MODÈLE STANDARD

pourtant, elle a déjà fait couler beaucoup d'encre, jusqu'à avoir été baptisée "cold spot" ("point froid", voir S&V n° 1082, p. 74). Avec les mesures du satellite WMAP, les astrophysiciens avaient déjà remarqué que dans cette région de 5 degrés sur le ciel, située au sud de l'axe de la Voie lactée, la radiation du fond diffus cosmologique apparaissait plus froide, c'est-à-dire tirée vers les plus grandes longueurs d'onde par rapport à la moyenne sur tout le ciel (voir la zone en bleue sur la carte à gauche)... *Planck* confirme que le phénomène ne provient pas d'une erreur de mesure: alors que les fluctuations moyennes de la température du CMB fluctuent d'environ 18 microkelvins, le "cold spot" affiche un déficit de 70 microkelvins. Un phénomène qui, statistiquement, a moins de 2 % de chances de se produire par hasard... et qu'il faudra donc bien expliquer. Comme s'en amusait un théoricien, "des dizaines de papiers vont sortir dans les prochaines semaines pour tenter de trouver une explication à ces anomalies. Toutes seront fausses, sauf éventuellement une!"

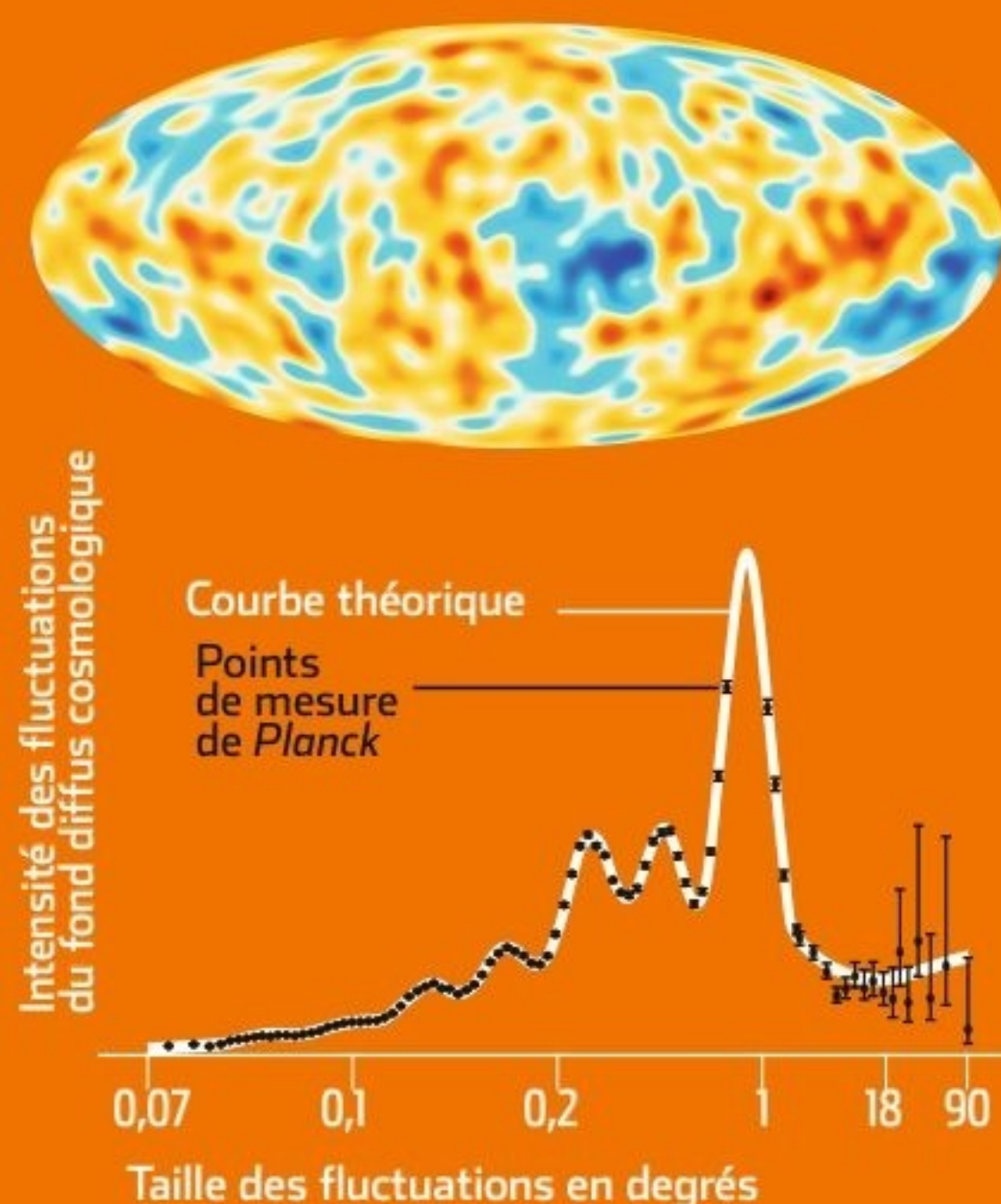
● TROP PEU DE GROSSES TACHES SUR LA CARTE

"Intrigante", c'est le mot retenu pour décrire cette anomalie qui a occupé à elle seule la moitié des exposés lors de la présentation des résultats de *Planck*, le 21 mars dernier. Les cosmologistes se sont aperçus que si l'intensité des petites fluctuations du rayonnement de fond collait avec une précision incroyable avec celle prédite par la théorie, ce n'était pas le cas de celles qui s'étendent sur plus de 10 degrés sur le ciel (voir ci-contre). "Alors que le modèle standard cosmologique rend compte avec une précision remarquable de la structure des fluctuations aux petites échelles spatiales, il achoppe légèrement à décrire l'intensité des fluctuations à grande échelle", constate ainsi François Bouchet, l'un des scientifiques à l'origine de *Planck*, à l'Institut d'astrophysique de Paris.

Les membres de la collaboration ont vite évacué le biais expérimental: "Le satellite WMAP voyait la même chose avec une signification statistique moindre, rappelle François Bouchet. Et avec la sensibilité et la résolution de

Pas assez de grosses taches !

Les grosses taches ne sont pas aussi nombreuses que prévu. Si le modèle (en blanc) et les observations (en noir) collent pour les petites fluctuations, le décalage est patent quand la zone dépasse quelques degrés.



Planck, qui contraint plus fortement les petites échelles, l'anomalie aux grandes échelles n'en devient que plus flagrante." Les spécialistes ont calculé qu'un tel écart a une chance sur cent d'être le fruit du hasard. Est-ce une faille dans le modèle standard? Ou une fluctuation statistique des données, certes improbable, mais pas impossible? Le débat est plus que jamais ouvert.

encore vierge de toute analyse. Quant aux théoriciens, certains partent en quête de nouvelles théories en s'appuyant sur les anomalies, tandis que d'autres s'emparent des mesures de *Planck* rendues publiques pour tester les modèles alternatifs au modèle standard. "Certaines de ces théories alternatives vont tomber, prédit Jean-Philippe Uzan, de l'Institut d'astrophysique de Paris. Par exemple, les modèles nommés 'tenseur-vecteur-scalaire', qui tendent à expliquer la matière noire par une modification de la gravitation plutôt que par une particule inconnue, impliquent

l'existence de neutrinos très légers... ce que *Planck* semble invalider." De même, les théories qui expliquent l'accélération de l'Univers par le fait

SACHANT QUE SEULE LA MOITIÉ DES DONNÉES DE PLANCK A ÉTÉ TRAITÉE...

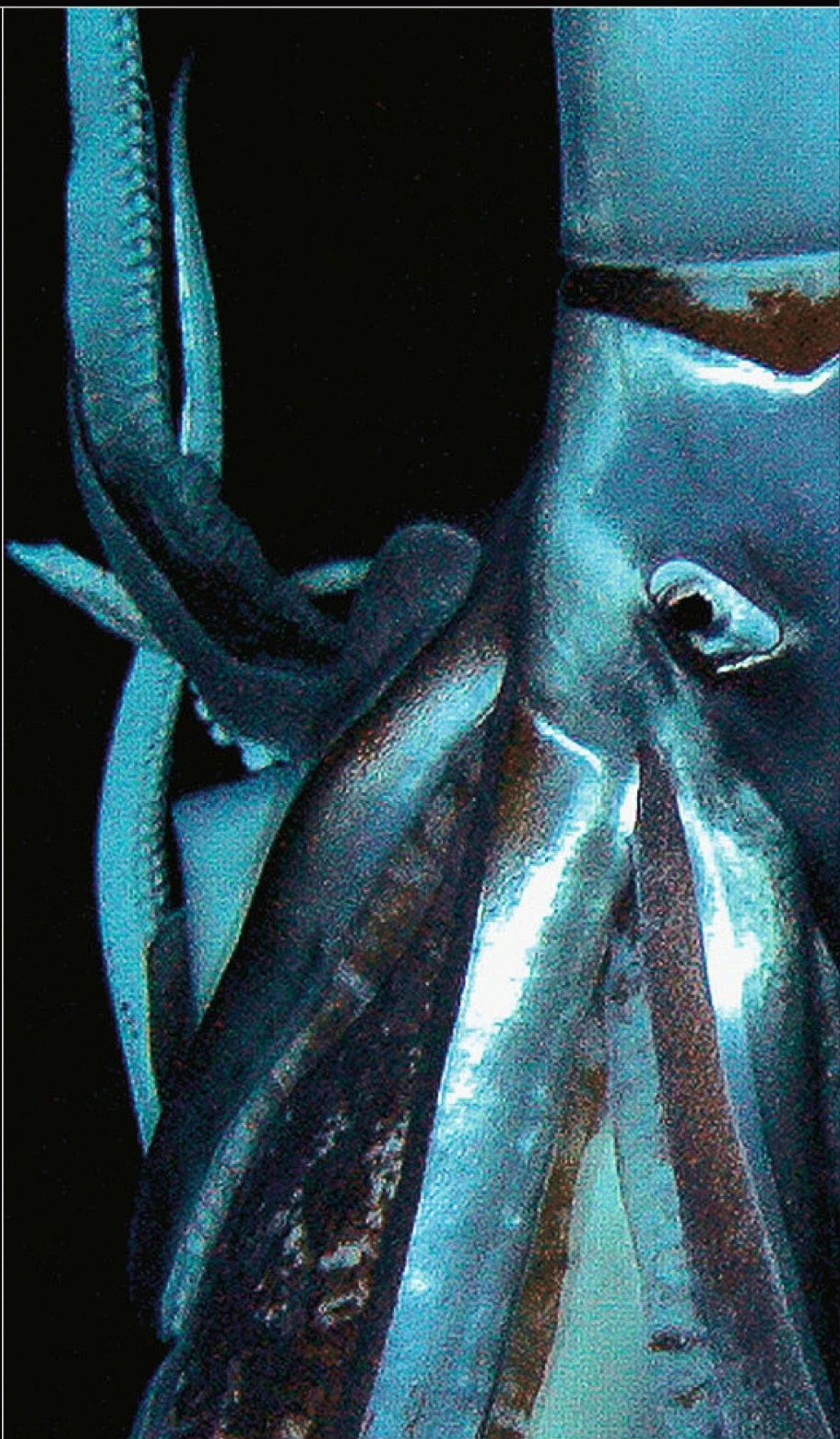
qu'on vivrait dans un grand vide paraissent, selon le cosmologiste, en difficulté...

"Que *Planck* confirme le modèle standard de la cosmologie est une très bonne nouvelle, réagit Carlo Rovelli, du Centre de physique théorique

de Luminy. C'est la confirmation que le monde est écrit dans le langage des équations que nous comprenons, et non sur des spéculations arbitraires. En même temps, il y a ce petit problème d'ajustement des données à grande échelle, ce qui signifie que nous pouvons espérer aller encore plus loin. C'est ainsi que la science avance!" Et pendant que les spécialistes replongent dans le labyrinthe de leurs théories et de leurs données, le reste de l'humanité, lui, peut profiter de ce moment privilégié: l'émerveillement devant l'image ultime de la nature. **M.F.■**

C'est l'histoire d'une traque. Celle du plus grand invertébré du monde. Un céphalopode de 15 m appelé "kraken", dont la légende terrifie les marins depuis l'Antiquité. Plusieurs expéditions, une cinquantaine de scientifiques et des centaines d'heures de plongée auront été nécessaires pour le débusquer à 900 m de profondeur... Le voilà enfin, saisi par l'œil de la caméra. Le kraken existe. Ils l'ont rencontré.

PAR RAFAËLE BRILLAUD
ET FRANÇOIS LASSAGNE



KRAKEN



< Son manteau aux reflets métalliques est encore plus beau que les scientifiques ne l'avaient imaginé. Le corps de ce spécimen d'*architeuthis* (à droite, en train de dévorer l'appât qui lui a été tendu), mesure à lui seul 3 m.



LA RENCONTRE A ENFIN EU LIEU !

DISCOVERY CHANNEL
NEP/NHK/REUTERS



P ersonne ne l'avait jamais débusqué dans les profondeurs abyssales où il se cache. Mais l'été dernier, la rencontre a enfin eu lieu ! Pour la première fois, par plusieurs centaines de mètres de fond, un homme, Tsunemi Kubodera, zoologiste au Musée national de la nature et des sciences, à Tokyo (Japon), lui a fait face à bord d'un sous-marin de recherche. C'est là que le monstre a soudain révélé son vrai visage. Là qu'il a été filmé, dévoilant au monde à quoi ressemble dans son milieu naturel le plus grand invertébré de la planète. Celui à propos duquel courent tant de légendes, depuis la mythologie scandinave, où il fait chavirer les navires, jusqu'au film *Pirates des Caraïbes*, qui le ressuscite de façon encore plus horripilante, en passant par Jules Verne, qui le fit remonter de *20 000 lieues sous les mers*. Kraken, calmar

géant... au-delà de l'imagerie, les scientifiques rêvaient de percer les secrets de celui qu'ils appellent *Architeuthis*. Mais plus ils s'en approchent, plus la bête se dérobe. A grand renfort d'expéditions coûteuses, plusieurs zoologistes de renom sont en effet partis ces dernières années en quête de ce céphalopode. En vain... ou presque.

CAP SUR LE PACIFIQUE NORD

Les preuves que le kraken n'est pas seulement un mythe, et qu'il existe bien un calmar d'une taille extraordinaire, remontent au tournant du XIX^e siècle (voir ci-contre). De pitoyables dépouilles échouées sur les plages, ou retrouvées abîmées ici ou là dans les filets des pêcheurs ont, depuis cette époque, attesté de son existence. Plus récemment, des lambeaux de l'animal fabuleux ont été trouvés dans l'estomac de cachalots, ses principaux

prédateurs connus. Oui, mais voilà : le kraken ne se laissait pas approcher vivant... Jusqu'à ce que Tsunemi Kubodera n'ait une intuition géniale : utiliser justement les cachalots, friands d'*Architeuthis*, comme guides.

Physeter macrocephalus, un grand cétacé à dents pouvant atteindre plus de 20 m, avale chaque jour plusieurs centaines de calmars de toutes sortes : jusqu'à 16 000 becs de céphalopodes ont pu être recensés dans l'estomac d'un individu échoué en Nouvelle-Zélande ! Alors, plutôt que de traquer au hasard le kraken, autant faire confiance à son prédateur pour trouver sa trace...

En 2004, le zoologiste monte une expédition : cap sur le Pacifique Nord, au large de l'archipel nippon d'Ogasawara, où se situe la zone d'alimentation des cachalots. Là, Tsunemi Kubodera envoie par 900 m de fond un appareil photo automa-



tique. Toutes les 30 secondes, l'obturateur s'ouvre et capte la vie sous-marine telle qu'elle se déroule, silencieuse et furtive. Sur une série de clichés, surgit alors la vision tant attendue: de vastes tentacules apparaissent dans un halo éclairé par un projecteur, témoignant pour la première fois de la vie du calmar géant en profondeur (voir *S&V* n° 1058, p. 18). Quelques mètres en dessous de l'appareil, un spécimen s'est accroché à l'hameçon qui supporte un appât et se débat quatre heures durant. On assimilait le céphalopode à une vaste masse pulpeuse et fragile; c'est un animal bien plus agressif et résistant que Tsunemi Kubodera découvre alors. Le mollusque finissant même par s'amputer de 5 m de tentacules pour pouvoir s'échapper.

Le zoologiste va régulièrement retourner dans cette zone où la chance lui a →

▲ En 2004, au large de l'archipel nippon d'Ogasawara, un appareil photo descendu par 900 m de fond avait capturé l'image d'un céphalopode géant (photo en couleurs)... Mais il aura fallu attendre l'expédition de l'été 2012 pour que Tsunemi Kubodera réussisse enfin à filmer (ici, en noir et blanc) le kraken évoluant dans son milieu naturel.



<...Et plus récemment dans *Pirates des Caraïbes*.



TSUNEMI KUBODERA
ZOOLOGISTE AU MUSÉE NATIONAL DE
LA NATURE ET DES SCIENCES, À TOKYO

Quand on a allumé les projecteurs, à 5 m devant moi, le calmar est apparu dans toute sa splendeur !

DU MYTHE À LA RÉALITÉ...

Dès l'Antiquité, les hommes ont évoqué un monstre de grande taille doté de multiples tentacules. "Sa tête avait la grandeur d'un baril pouvant tenir 15 amphores", écrivait déjà le naturaliste romain Pline l'Ancien dans son *Histoire naturelle*.

Présent dans les légendes scandinaves médiévales, il y est appelé "kraken". On le considère alors comme un monstre capable de saisir la coque des navires et de les faire chavirer.

Mais les scientifiques doutent longtemps de sa réelle existence.

En dépit des récits de marins qui affirment l'avoir croisé, le calmar géant peine à quitter son statut d'animal mythique. Les scientifiques sont encore très dubitatifs quand, en 1856, le zoologiste danois Japetus Steenstrup le baptise, à partir



▲ Le monstre apparaît dans *20 000 lieues sous les mers* de Jules Verne, publié en 1870...

d'un simple bec repêché, *Architeuthis dux*: le kraken devient ainsi le "roi des calmars".

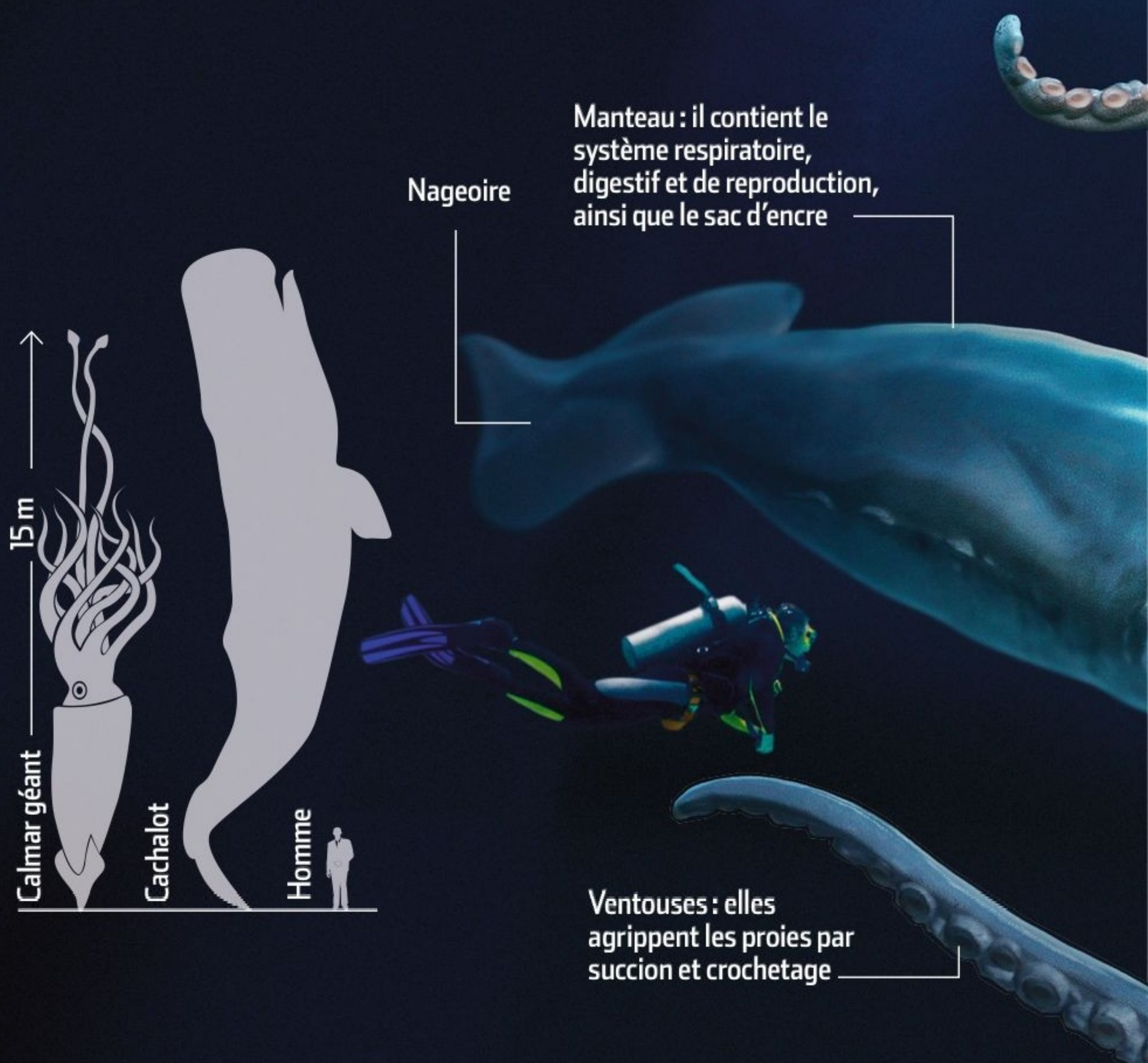
Les premiers cadavres de kraken sont identifiés à la fin du XIX^e siècle.

En 1861, l'équipage de l'*Alecton*, un navire français, réussit à prendre un morceau d'un calmar géant après plusieurs heures de lutte – un épisode qui inspirera Jules Verne. Plusieurs échouages dans les années 1870 ont ensuite obligé les scientifiques à se rendre à l'évidence: *Architeuthis* existe. Restait encore à le rencontrer.

Un animal qui défie les scientifiques

Ce qu'ils savent

Le calmar géant reste en grande partie une énigme pour les spécialistes. Quelque 600 spécimens seulement, entiers ou en morceaux (échoués ou trouvés dans des filets de pêche), ont été documentés dans l'Atlantique Nord, au large de la péninsule ibérique, de l'Afrique du Sud, de la Namibie, de la Nouvelle-Zélande et de l'Australie. Un animal a même été repêché en Méditerranée. On estime en général que ce céphalopode, qui appartient au genre *Architeuthis*, mesure en moyenne une vingtaine de mètres. A l'intérieur de son bec, tous les aliments sont broyés par la radula, une sorte de langue garnie de dents, avant d'être décomposés par son système digestif. Son puissant pénis, organe musculueux qui atteint près de 90 % de la longueur du manteau, parviendrait à percer l'épiderme de sa partenaire : une fécondation dite "traumatique". Enfin, son premier prédateur connu est le cachalot.



→ déjà souri une première fois. Et, en 2006, parvient à y filmer une femelle de 3,5 m et 50 kg ! Mais la vidéo, réalisée depuis le bateau d'exploration, ne montre que quelques minutes d'évolution du calmar géant en surface. Et si le scientifique et son équipe réussissent à le capturer, l'animal n'y survit pas. Sa dépouille, une fois sortie de l'eau, est inexploitable. Rencontre furtive, document pauvre. Cette deuxième occasion de mieux connaître le kraken laisse les chercheurs sur leur faim.

Mais l'équipe de Tsunemi Kubodera persévère. Des moyens hors du commun sont mis en œuvre. Toujours au large d'Ogasawara, le zoologiste pilote pendant l'été

2012 une mission de quelque 50 scientifiques issus de 11 pays, équipés d'un matériel de pointe, dont deux sous-marins et une caméra HD spécialement conçue par les chaînes de télévision NHK et Discovery Channel.

UN BALLET DE 18 MINUTES


Première récolte : une courte série d'images en noir et blanc. Le kraken est donc bien là. Mais en étudiant son regard, le chercheur réalise que ses énormes yeux (30 cm de diamètre !), situés au-dessus de la tête, lui imposent de se placer en contrebas de ses proies ; celles-ci doivent donc se présenter par le haut. Après une centaine de plongées et quatre cents heures passées sous l'eau sans succès,

JARGON

Attention, il ne faut pas confondre ce géant avec les autres calmars, petits ou grands : dans la classe des **céphalopodes** (animaux ayant les pieds sur la tête), *Architeuthis* forme un genre à part. Il faut aussi éviter de le surnommer **calamar**, qui est aujourd'hui considéré comme vieilli : "C'est bon pour la paella", tance Laure Bonnaud, du Muséum d'histoire naturelle de Paris.

le scientifique ose une dernière tentative... Et décroche un tête-à-tête capté par les caméras haute définition.

A 630 m de fond, évolue un spécimen dont le corps conique mesure 3 m. En comptant ses membres, il en ferait 8... si ses deux tentacules n'avaient pas été sectionnés pour une raison inconnue ! Ses 8 bras ondulent alentour pour freiner sa dérive vers les profondeurs. En effet, le bec accroché au lourd appât – un calmar – tendu par le scientifique, l'animal ne parvient pas à compenser son poids. Ses nageoires, deux minuscules ailettes triangulaires qui dansent à son extrémité postérieure, servent à le stabiliser. Tout à son festin,



Bras : il en a 8, qui font de 2 à 4 m et sont couverts de 2 rangées de ventouses

Massues : elles prolongent les tentacules et sont tapissées de 4 rangées de ventouses

Tête

Œil : il a la taille d'une tête humaine

Bouche avec son bec

le céphalopode gonfle son manteau, envoie de l'eau vers ses branchies internes, l'expulse via son entonnoir ventral pour se propulser... mais sombre néanmoins. A 900 m, il lâche sa proie et disparaît.

Ce ballet dure dix-huit minutes totalement inédites qui laissent le zoologiste émerveillé : *"Avec le caméraman et le pilote du sous-marin, nous étions plongés dans les ténèbres. A 5 m devant moi, une couronne de bras attaquait notre appât et je ne voyais rien ! Puis on a allumé les projecteurs et le calmar est apparu dans toute sa splendeur : c'était phénoménal. Il était vraiment →*

Tentacule : il en a 2, qui sont deux fois plus longs que les bras

Ce qu'ils ignorent

Où il vit

Les céphalopodes étant adaptés aux eaux froides, on ne sait pas comment le kraken résiste à la tiédeur de l'océan Indien ou de l'Atlantique Sud. L'eau plus froide des fonds marins pourrait l'y aider, mais on ignore à quelle profondeur il évolue.

Combien il y en a

En calculant qu'il existerait 360 000 cachalots dans le monde, que ceux-ci mangent environ 500 calmars par jour et que 1 % d'entre eux seraient des krakens, le spécialiste Malcolm Clarke est arrivé à une fragile estimation : leur nombre pourrait s'élever à plusieurs dizaines de millions.

S'il en existe plusieurs espèces

Pas moins de 20 espèces ont été décrites, mais l'analyse de leur génome mitochondrial suggère qu'il en existerait effectivement une seule...

Comment il se développe

On sait que la femelle pond des œufs et que pour les féconder, elle stocke le sperme déposé par le mâle. Du développement des larves, ensuite, on ignore encore tout.

Quelle est sa taille maximale

En comptant ses immenses tentacules, certaines descriptions annoncent 30 m, voire plus de 40. Mais *"il suffit de tirer dessus puisqu'ils sont flexibles"*, sourit Tsunemi Kubodera.

Ce qu'il mange

Il immobilise ses proies avec ses ventouses de 5 cm de diamètre garnies de petites dents, mais on ne sait pas ce qu'il mange exactement.

Quels sont ses prédateurs

Hormi le cachalot, les calmars sont la proie de certaines espèces de requins et aussi capables de s'attaquer entre eux. Quel est alors l'équilibre des forces ? On l'ignore.

Combien de temps il vit

En analysant les stries de croissance de certains de ses organes, les experts estiment de son espérance de vie pourrait aller de 2 à... 38 ans !

→ *grand et magnifique.* "Malgré ses quarante années de travail sur les céphalopodes, Tsunemi Kubodera est surpris. Il note que sur ses deux tentacules mutilés figurent une série de ventouses qui ne devraient exister qu'à leur extrémité perdue. Il comprend alors que les tentacules sont en train... de se régénérer! Surtout, il découvre, ébahi, les reflets métalliques et dorés du manteau d'*Architeuthis*. Rien ne laissait présager ses couleurs et son éclat.

LE MYSTÈRE RESTE ENTIER

Révéle dans toute sa splendeur et dans son habitat naturel, le calmar géant a enfin montré son vrai visage. Cette troisième rencontre est la plus belle, la plus intense, celle qui lui donne chair et réalité. Pourtant, en dépit des observations soigneusement rapportées par Tsunemi Kubodera, le kraken n'en reste pas moins nimbé de mystère.

Existe-t-il un ou plusieurs calmars géants? "*Le nombre d'espèces valides est inconnu. Trois sont citées régulièrement: Architeuthis dux, Architeuthis martensi et Architeuthis sanctipauli. Mais toutes sont basées sur la description de spécimens incomplets*", précise Elizabeth Shea, du Muséum d'histoire naturelle du Delaware (Etats-Unis). *De récentes analyses du génome mitochondrial suggèrent que tous les échantillons de tissus d'Architeuthis appartiennent à une seule espèce ayant une distribution mondiale. Si c'est exact, sa variation morphologique est considérable!*" A l'image des inconnues qui l'entourent: Que mange-t-il? Comment se reproduit-il? Vit-il seul ou en groupe? Quelle taille peut-il atteindre? Combien de temps peut-il vivre? Autant

DES CALMARS VOLANTS ONT ÉTÉ PHOTOGRAPHIÉS

Des créatures jaillissent de la mer, volent durant trois secondes et replongent. Pendant l'été 2011, lorsqu'ils observent ce ballet dans le nord-

ouest du Pacifique, Kota Muramatsu, Jun Yamamoto et leur équipe, de l'université d'Hokkaido (Japon), pensent à des poissons volants. Mais sur



les 21 clichés réalisés, ils découvrent de jeunes calmars d'une dizaine de centimètres et de diverses espèces, sans lien avec *Architeuthis*. Leur étude, qui vient d'être publiée, révèle que ces calmars ne se contentent pas de sauter hors de l'eau. Ils adoptent également une position aérodynamique élaborée: bras et nageoires rabattus lorsqu'ils se propulsent en expulsant de l'eau, puis déployés pendant un vol plané d'une trentaine de mètres. Ils se déplacent alors à la vitesse de 11,2 m/s: plus vite que sous l'eau!

de questions sans réponse ou presque. Celle de leur nombre étant la plus brûlante.

On imagine le kraken rarissime, puisqu'introuvable depuis des siècles, mais rien n'est moins sûr. "*Contrairement à d'autres animaux marins charismatiques de grande taille, dont le nombre est connu et surveillé, comme les baleines, les dauphins ou les pieuvres géantes du Pacifique, la population mondiale de calmars géants est totalement inconnue*", déclare Elizabeth

tions sur la base des restes trouvés dans l'estomac de cachalots.

En 1980, Malcolm Clarke, grand spécialiste des baleines et des céphalopodes, suggérerait que 1 % des 700 à 800 calmars mangés chaque jour par la femelle cachalot et des 300 à 400 mangés par le mâle seraient des *Architeuthis*. Sachant qu'on dénombre 360 000 cachalots dans le monde, un rapide calcul donne plus de 3,6 millions de calmars géants avalés par jour! Ce qui laisse imaginer une population de plusieurs milliards d'individus. L'estimation est fragile, mais si elle dit vrai, le calmar géant est aussi commun qu'insaisissable.

Une petite rencontre de dix-huit minutes pour se faire une idée de la vie de myriades d'individus dissimulés dans les abysses: voilà le cadeau facétieux du kraken. Le mythe a peut-être vécu, mais le mystère, lui, n'est pas près d'être levé! ■

INSAISSABLE LE KRAKEN? ET POURTANT, IL POURRAIT Y EN AVOIR DES MILLIARDS!

Shea. C'est que les krakens ne se laissent ni compter ni équiper d'émetteur. Leur corps mou n'y aidant pas. Ni leur tendance à fuir, là où baleines et pieuvres se montrent moins farouches. Il faut donc se contenter d'estima-

ABONNEZ-VOUS À SCIENCE & VIE ET SES HORS-SÉRIES

49€
seulement
au lieu
de 79,20 €

**12 numéros
+ 4 hors-séries**



-30%
de réduction



Profitez vite de cette offre !

BULLETIN D'ABONNEMENT

À compléter et à retourner accompagné de votre règlement dans une enveloppe affranchie à:
SCIENCE & VIE ABONNEMENTS – B341 – 60643 CHANTILLY CEDEX

- ☐ **Oui, je m'abonne à Science & Vie pour 1 an (12 n°) + 4 Hors-séries**
pour **49€** au lieu de ~~70,20€~~
soit plus de 30% de réduction

715 292

- ☐ Je préfère m'abonner à Science & Vie 1 an (12 n°)
pour **35€** au lieu de ~~50,40~~ €*.

715 300

**Science & Vie le journal de tous
ceux qui veulent vivre
en intelligence avec le monde.**

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 pourrions 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

□  | | | | | | | | | | | | | | |

Date et signature obligatoires

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

****Prix public et Prix de vente en kiosque. Offre valable pour un 1er abonnement livré en France métropolitaine jusqu'au 30/06/13 et dans la limite des stocks disponibles. Je peux acquérir séparément chacun des numéros mensuels de Science & Vie au prix de 4,20 € et chacun des hors-séries au prix de 4,95 €. Vous ne disposez pas du droit de rétractation pour l'abonnement au magazine. Conformément à la loi informatique et libertés du 6 janvier 1978, vous disposez d'un droit d'accès aux données vous concernant. Il vous suffit de nous écrire en indiquant vos coordonnées. Science & Vie — TSA 10005 8 rue François Orv 92543 Montrouge cedex RCS B 572 134 773 - Capital : 1 717 360 €**



DÉPRESSION, ANOREXIE, PHOBIES...

MAIS QUI SOUFFRE DE QUOI ?



Pour soigner leurs patients, la majorité des psychiatres se réfère au DSM, véritable bible des troubles mentaux. Or, sa 5^e édition, qui paraît ce mois-ci, devait régler un problème de fond : parvenir à une classification enfin scientifique. Raté ! Savoir qui souffre de quoi reste encore un défi.

PAR MARIE-CATHERINE MERAT

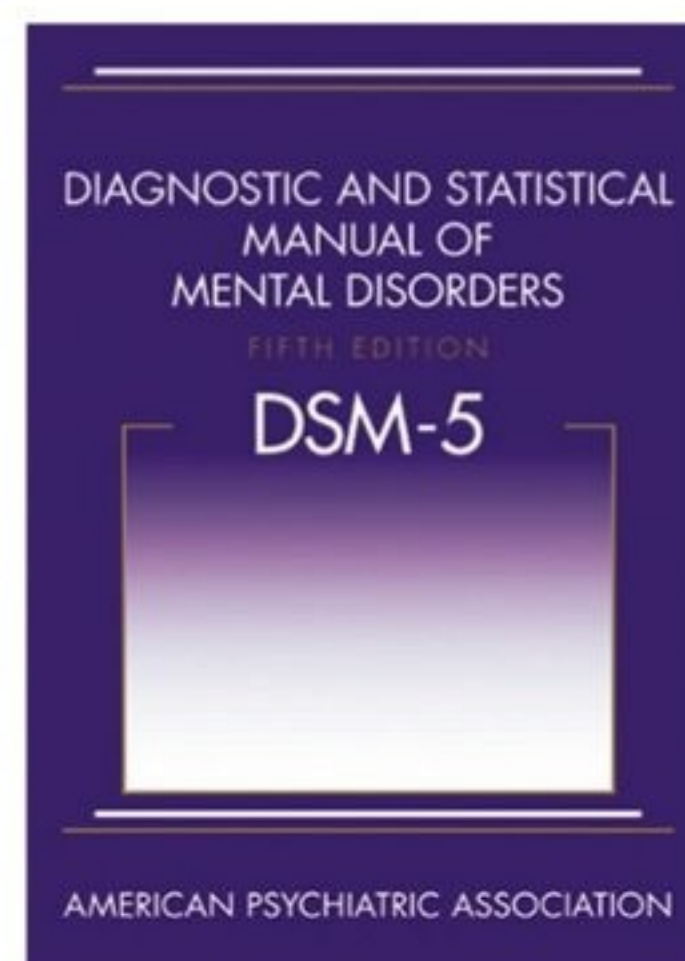


Enfin ! Après quatorze années de travail et 25 millions de dollars dépensés, la nouvelle classification des troubles mentaux vient d'être établie. Son nom ? Le *DSM-5*. Ou *Manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux, cinquième version*, disponible ce mois-ci aux Etats-Unis. Le *DSM* ? Il s'agit ni plus ni moins de la bible du psychiatre américain. Et d'une référence incontournable pour les praticiens du monde entier. Depuis sa première mouture en 1952, quatre versions ont réactualisé cette classification, la dernière datant de 1994. Résultat : un manuel de plus de 1 000 pages qui décrit et classe tous les troubles mentaux (plus de 400 !), du plus léger au plus sévère, sur la base de leurs symptômes. Le *DSM* est aux "maladies de l'esprit" ce que le *Vidal* est aux médicaments : c'est à partir de ses critères que votre généraliste peut être amené à vous diagnostiquer une dépression, par exemple.

UNE CINQUIÈME VERSION QUI FAIT DÉBAT

Or depuis plusieurs mois, la communauté psychiatrique mondiale s'agite : le nouvel opus de l'Association américaine de psychiatrie (APA) n'était pas sorti qu'il était déjà voué aux gémonies. Controverses et pétitions circulent sur le Net pour dénoncer des changements "*dangereux et scientifiquement infondés*", pouvant mener à un "*surdiagnostic massif et une surmédication nocive*", dicit l'influent psychiatre américain Allen Frances, grand architecte du *DSM-IV*. Ce qui n'est pas sans rappeler les violentes polémiques suscitées il y a vingt ans par la précédente version. Sachant que le manuel est par ailleurs l'objet de très →

LE DSM-5 DÉFINIT 22



La cinquième version du *Manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux* paraît ce mois de mai aux Etats-Unis. Cette référence mondiale répertorie plus de 400 troubles, traduits par nos soins, et classés en 22 catégories (la version française est attendue en 2014).

TROUBLES NEURODÉVELOPPEMENTAUX

Troubles intellectuels (trouble du développement intellectuel, retard global du développement...), troubles de la communication (du langage, des phonèmes, de la fluidité du langage débutant dans l'enfance, de la communication sociale...), troubles du spectre autistique, troubles d'hyperactivité/déficit de l'attention, troubles d'apprentissages spécifiques, troubles moteurs (coordination développementale, mouvements stéréotypés, de la Tourette, tics...), autres.

TROUBLES DU SPECTRE SCHIZOPHRÉNIQUE ET AUTRES TROUBLES PSYCHOTIQUES

Trouble de la personnalité, trouble schizotypique, trouble délirant, trouble psychotique bref, trouble schizophréniforme, schizophrénie, trouble schizoaffectif, psychotique induit par une substance, catatonie associée à un autre trouble mental, autres.

TROUBLES BIPOLAIRES ET ASSOCIÉS

Trouble bipolaire I, bipolaire II, trouble cyclothymique, trouble bipolaire induit par une substance, autres.

TROUBLES DÉPRESSIFS

Trouble de dérégulation d'humeur explosive, trouble dépressif majeur récurrent et épisode isolé, trouble dépressif persistant (dysthymie), dysphorique prémenstruel, dépressif induit par une substance, autres.

TROUBLES ANXIEUX

Trouble d'anxiété de séparation, mutisme sélectif, phobie spécifique, trouble de l'anxiété sociale (phobie sociale), trouble panique, attaque de panique, agoraphobie, trouble d'anxiété généralisée ou induit par une substance, autres.

CATÉGORIES DE TROUBLES MENTAUX

TROUBLES OBSESSIONNELS-COMPULSIFS ET TROUBLES ASSOCIÉS

Trouble obsessionnel-compulsif, de dysmorphie corporelle, d'accumulation, d'excoriation, trichotillomanie, autres.

TROUBLES LIÉS AU STRESS ET À UN TRAUMA

Trouble réactionnel de l'attachement, d'engagement social désinhibé, de stress post-traumatique, de stress aigu, d'ajustement, autres.

TROUBLES DISSOCIATIFS

Trouble dissociatif de l'identité, amnésie dissociative, trouble de dépersonnalisation-déréalisation, autres.

TROUBLES DE SYMPTÔMES SOMATIQUES ET TROUBLES ASSOCIÉS

Trouble de symptômes somatiques, d'anxiété de maladie, de conversion, facteurs psychologiques affectant d'autres affections médicales, trouble factice, autres.

TROUBLES DE L'ALIMENTATION ET DES CONDUITES ALIMENTAIRES

Pica, trouble de rumination, trouble de consommation évitante/restrictive, anorexie nerveuse, boulimie nerveuse, trouble d'hyperphagie incontrôlée, autres.

TROUBLES D'ÉLIMINATION

Enurésie, encoprésie, autres.

TROUBLES DU SOMMEIL ET D'ÉVEIL

Troubles d'insomnie, d'hypersomnolence, narcolepsie, troubles du sommeil liés à la respiration, parasomnie.

DYSFONCTIONS SEXUELLES

Ejaculation retardée, trouble érectile, de l'orgasme féminin, d'excitation/intérêt sexuel féminin, de la pénétration/douleur génito-pelvienne, du désir sexuel masculin hypoactif, d'éjaculation précoce, de dysfonction sexuelle induit par une substance, autres.

DYSPHORIE DU GENRE

Dysphorie du genre, autres.

TROUBLES DE CONDUITE, TROUBLES PERTURBATEURS, TROUBLES D'IMPULSIVITÉ

Trouble oppositionnel avec provocation, trouble explosif intermittent, trouble de conduite, trouble de la personnalité antisociale, pyromanie, cleptomanie, autres.

TROUBLES ADDICTIFS ET LIÉS À UNE SUBSTANCE

Troubles liés à l'alcool, à la caféine, au cannabis, aux hallucinogènes, aux inhalants, aux opioïdes, anxiolytiques, hypnotiques, sédatifs, stimulants, au tabac, autres.

TROUBLES NEUROCOGNITIFS

Délire, troubles neurocognitifs majeurs et légers, dus à la maladie d'Alzheimer, avec corps de Lewy, trouble neurocognitif vasculaire majeur ou léger, dû à une lésion cérébrale traumatique, trouble neurocognitif induit par une substance, dû à une infection au VIH, une maladie à prions, la maladie de Parkinson, de Huntington, de multiples étiologies, autres.

TROUBLES DE LA PERSONNALITÉ

Troubles de personnalité paranoïde, schizoïde, schizotypique, antisociale, borderline, histrionique, narcissique, évitante, dépendante, obsessionnelle-compulsive, changement de personnalité dû à une autre affection, autres.

TROUBLES PARAPHILIQUES

Troubles de voyeurisme, d'exhibitionnisme, de frotteurisme, de masochisme sexuel, de sadisme sexuel, pédophilique, fétichiste, de travestissement, autres.

AUTRES TROUBLES MENTAUX

Autre trouble mental spécifié dû à une autre affection médicale, trouble mental non spécifié dû à une autre affection médicale, autre trouble mental spécifié, trouble mental non spécifié.

TROUBLES DES MOUVEMENTS INDUITS PAR UN MÉDICAMENT ET AUTRES EFFETS NÉGATIFS DE LA MÉDICATION

AUTRES SITUATIONS QUI PEUVENT FAIRE L'OBJET D'UN EXAMEN CLINIQUE

→ lourds enjeux sociaux et financiers pour les associations de malades, l'industrie pharmaceutique et les compagnies d'assurance américaines, dont les remboursements de soins sont conditionnés par un diagnostic *DSM*.

Si l'histoire se répète, c'est que le mal est profond : il est à la racine même du *DSM*, d'où la virulence des débats provoqués par chacune de ses actualisations. Que vaut en effet une classification purement descriptive, basée sur les symptômes des troubles et non leurs causes génétiques, physiologiques ou neurologiques ? Dans les autres disciplines médicales, poser un diagnostic sur la base des symptômes amènerait à rassembler dans une même catégorie des maladies en réalité différentes qui ne requièrent pas les mêmes traitements. Ainsi, tremblements, rigidité, lenteur des mouvements sont symptomatiques de la maladie de Parkinson, de Wilson et de l'encéphalite léthargique. Inversement, cela reviendrait à séparer des patients atteints de la même maladie : un accident vasculaire cérébral ischémique peut aussi bien se manifester par un débit de paroles ralenti et un discours difficile mais cohérent, que par un débit rapide et un discours incohérent... C'est pourquoi les médecins ne s'intéressent pas uniquement aux symptômes, mais aussi aux causes et aux dérèglements biologiques des maladies.

Conscients de ce défaut originel, les rédacteurs de la 5^e version du *DSM* devaient introduire des critères plus scientifiques, mais aussi à tisser des liens entre les troubles. Aujourd'hui, le constat est amer : il n'en sera rien, ou si peu, selon les dernières annonces de l'APA. Psychiatres et chercheurs continueront de baser diagnostics et protocoles d'étude sur une clas-



sification des maladies mentales à la fois boiteuse et scientifiquement contestable. Pis : non seulement le *DSM* est jugé ne pas apporter de solution satisfaisante aux psychiatres dans leur pratique clinique, mais il est accusé de freiner la recherche et d'être ainsi responsable de l'impasse dans laquelle se trouve la psychiatrie aujourd'hui. On comprend mieux la particulière virulence des attaques...

UNE CLASSIFICATION QUI SE VEUT OBJECTIVE

Sur quels critères catégoriser les troubles mentaux ? Comment rendre la classification plus scientifique ? Ces questions jalonnent pourtant l'histoire du *DSM*. Alors que ses deux premières versions, publiées en 1952 et 1968, étaient fortement teintées de psychanalyse, le *DSM-III* introduit une rupture en 1980. Son concepteur, le psychiatre américain Robert Spitzer, le veut basé sur les symptômes, sans plus aucune référence aux causes psychiques de la maladie mentale. Chaque trouble est désormais défini selon une liste de critères et des règles d'exclusion. Poser un diagnostic devient une opération quasi mathématique : si au moins "n" symptômes sont présents pendant une durée "t" en l'absence des symptômes "a" et "b", alors il s'agit du

QUELQUES TROUBLES QUI FONT LEUR ENTRÉE DANS LE *DSM*

Parmi les nouveaux troubles ou catégories répertoriés dans le *DSM-5*, on peut citer le trouble de l'accumulation compulsive d'objets inutiles (vieux mails, vêtements non portés...), les troubles de symptômes somatiques, celui de dérégulation, dit d'humeur explosive, ainsi que d'hyperphagie incontrô-

lée. La plupart de ces troubles ont fait l'objet de vives polémiques. Le dernier d'entre eux concernerait ainsi les personnes qui mangent en excès 12 fois en trois mois, soit une fois par semaine en moyenne. Pour nombre de psychiatres, c'est le stéréotype du trouble à même d'être surdiagnostiqué.



1 DES TROUBLES MAL DÉLIMITÉS

Une classification est censée permettre de distinguer les maladies les unes des autres. Or, les données scientifiques et cliniques montrent un chevauchement entre certains troubles du DSM. La schizophrénie et le trouble bipolaire en sont un exemple. Mutations sur les mêmes gènes, anomalies cérébrales communes, antipsychotiques efficaces dans les deux cas, symptômes partagés (délires, hallucinations)...

LES 3 IMPASSES DONT LE NOUVEAU CLASSEMENT NE SORT PAS



3 DES TRAITEMENTS AU POINT MORT

Les cibles moléculaires des grandes classes de médicaments actuels (antipsychotiques, antidépresseurs, anxiolytiques, normothymiques) sont les mêmes qu'il y a cinquante ans. Aucun nouveau mécanisme thérapeutique n'a été découvert depuis. L'explication ? En obligeant les chercheurs à travailler sur des catégories diagnostiques mal définies, le DSM freine la recherche de nouveaux traitements.



2 DES DIAGNOSTICS PEU FIABLES

Mal définis, les troubles sont logiquement mal diagnostiqués. Une publication a ainsi montré que pour plusieurs troubles du DSM-5, deux psychiatres pourront poser deux diagnostics différents à propos d'un même patient. Quand d'autres, comme celui du trouble mixte anxio-dépressif, n'auraient aucune valeur.

diagnostic "x". "L'idée du DSM-III, c'est que la psychiatrie est médicale et que les maladies mentales sont des maladies comme les autres, variole ou oreillons... Si on n'en connaît pas encore les causes, les moyens d'investigation n'étant pas assez puissants, on découvrira un jour quels sont les processus cellulaires qui en sont responsables", raconte le psychiatre Marc-Antoine Crocq, qui a codirigé l'équipe de traduction de la version IV, mise à jour en 2000. Grâce au DSM-III, qui connaît une diffusion sans précédent, les psychiatres parlent désormais le même langage et posent les mêmes diagnostics d'un bout à l'autre de la planète.

Toutes les versions ultérieures, jusqu'au DSM-5, tâcheront de rendre cette classification plus objective et plus scientifique. Avec une première conséquence inévitable: la multiplication des catégories, au fur et à mesure que s'affinent les "règles de composition" des symptômes. Entre 1952 et 2000, le nombre de troubles répertoriés sera ainsi multiplié par quatre.

En 1999, lorsque débute l'élaboration du DSM-5, les promesses vont bien au-delà. Il est question d'identifier des marqueurs biologiques des troubles mentaux, comme on dose la glycémie ou l'insuline pour diagnostiquer un diabète. "On pensait avoir tel test génétique →

JULIEN DANIEL GUELF

CHEF DE SERVICE À L'HÔPITAL SAINTE-ANNE À PARIS

Beaucoup rêvaient de grands changements, d'où leur déception face à un DSM-5 qui ne marque aucun progrès

→ pour telle maladie, tel test d'imagerie cérébrale pour telle autre et construire ainsi une classification totalement différente", raconte François Gonon, directeur de recherche à l'Institut des maladies neurodégénératives à Bordeaux. La perspective du séquençage du génome humain nourrit alors de folles spéculations. On suppose que la schizophrénie et les autres maladies psychiatriques ont une origine génétique et que la mise en évidence des gènes impliqués affinera leur compréhension. Sauf que l'analyse du génome de plus de 750 schizophrènes n'a pas suffi à identifier des anomalies ou facteurs de risque génétiques. Et l'APA a finalement reconnu en 2012 que l'on ne sait pas encore définir des marqueurs biologiques d'aide au diagnostic et qu'aucun n'est assez fiable pour figurer dans le *DSM-5*.

Autre échec: cette version ne promettait pas seulement d'intégrer des marqueurs biologiques, elle devait aussi mieux refléter la



continuité qui existe entre la normalité et la pathologie mentale en adoptant une approche "dimensionnelle". Approche que le *DSM-III*, dans sa volonté de rupture, avait occultée. "A partir de la version III, vous êtes soit normal, soit fou", résume Marc-Antoine Crocq. Pas d'entre-deux possible. La version *DSM-IV-TR* recense 410 troubles répartis en 17 catégories (troubles de l'humeur, anxieux, schizophréniques...), avec l'idée qu'il existe une séparation claire entre chaque trouble. Or, cette conception a montré ses limites: souvent, le patient n'a pas un, mais plusieurs troubles. Il peut présenter à la fois un "état anxieux" et un "état dépressif", avec des "obsessions", des "somatisations"... Et voilà les psychiatres contraints, dans leur pratique quotidienne, de créer des catégories artificielles pour contourner la rigidité de la classification: état "anxio-dépressif", troubles "schizo-affectifs"... Sans compter le recours fréquent à la catégorie NOS (Not Otherwise Specified, c'est-à-dire non spécifié ailleurs) quand le patient exprime un trouble dont les symptômes ne "collent" pas aux critères du *DSM*.

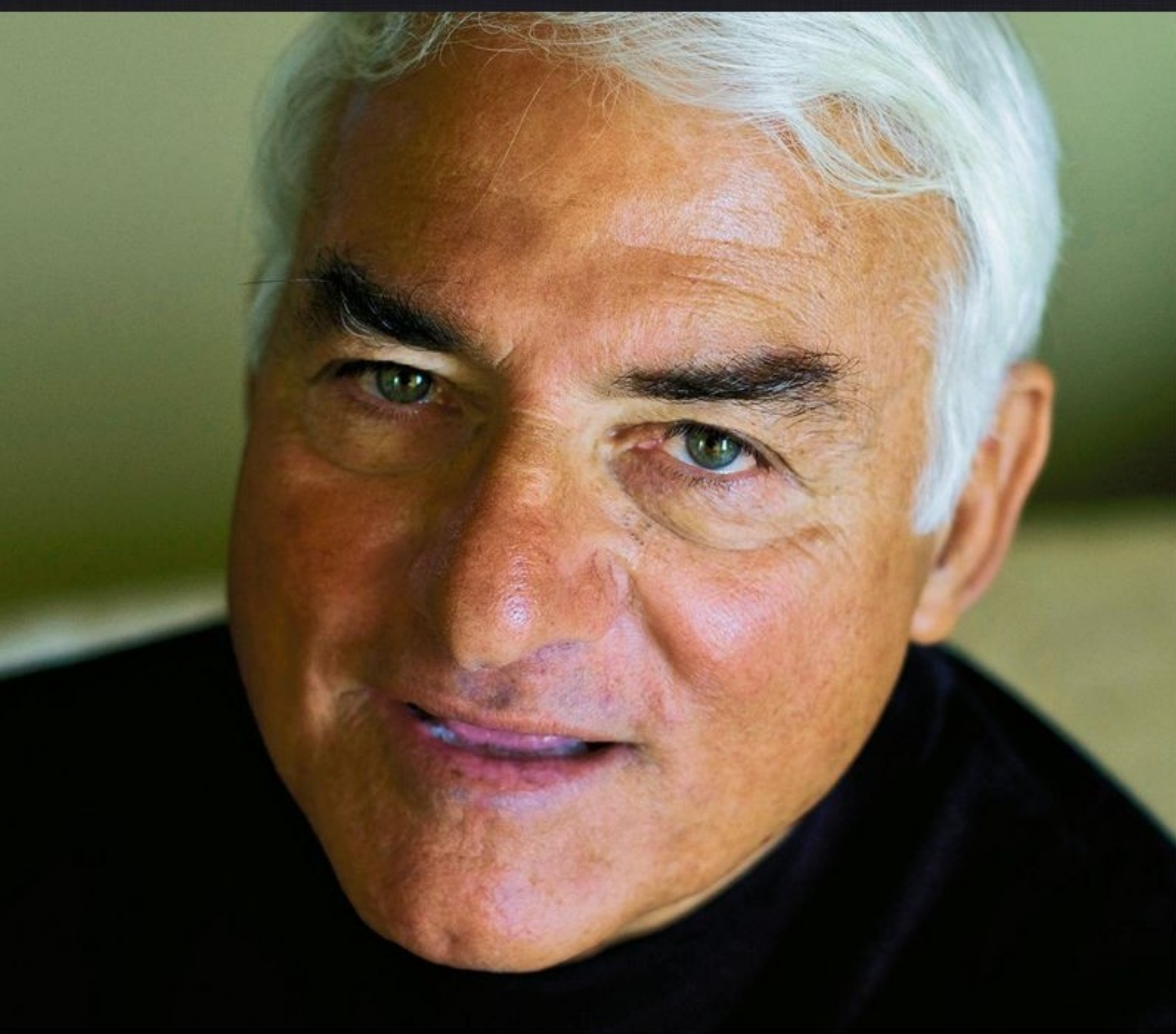
Cette abolition des catégories au profit du concept de dimension était notamment très attendue au chapitre des troubles de la personnalité, dont les 10 catégories répertoriées dans le *DSM-IV-TR* (personnalité narcissique, histrionique, borderline...) se chevauchent. Il était question d'évaluer un profil de personnalité pathologique plutôt que d'enfermer le

UNE GRILLE DE DIAGNOSTICS QUI S'IMPOSE AUSSI EN FRANCE

En France, les psychiatres n'ont pas l'obligation de se référer au *DSM* pour poser un diagnostic. Ils doivent s'en remettre à la CIM, la classification internationale des maladies de l'OMS, qui consacre un chapitre aux troubles mentaux et du comportement. Pour autant, le *DSM* influence leur pratique clinique. L'actuelle version de la CIM, la CIM-10, est en effet fortement inspirée du *DSM-IV*. C'est également sur celui-ci que repose aujourd'hui l'enseignement de la psychiatrie en

faculté de médecine. Sans oublier l'influence considérable des laboratoires pharmaceutiques, sur lesquels repose en grande partie la formation post-universitaire des médecins et qui se basent exclusivement sur le *DSM* pour développer leurs médicaments. Même la sécurité sociale s'y réfère dans ses recommandations aux généralistes. Dans ses outils d'aide au diagnostic d'un épisode dépressif caractérisé, le site de la CPAM liste des critères adaptés du *DSM-IV-TR*.

J.ROBERTS/GETTY - S.HODGSON/THE NYT/REDUX/RÉA - S.PICARD



ALLEN FRANCES

PSYCHIATRE (ÉTATS-UNIS)

Les changements introduits peuvent mener à un sur-diagnostic massif et une surmédication nocive

SARAH MORRIS

MEMBRE DU GROUPE DE TRAVAIL SUR LE PROJET RDOC,
INSTITUT NATIONAL DE LA SANTÉ MENTALE (ÉTATS-UNIS)

Nous essayons de développer une autre façon de classer les troubles à partir des circuits cérébraux



patient dans une catégorie spécifique. Mais l'entreprise, là aussi, s'est révélée plus complexe que prévu. Ce chapitre, qui devait être la pièce maîtresse d'une classification refondée, restera sensiblement le même...

CE N'EST PAS LA RÉVOLUTION ANNONCÉE

Si encore ses auteurs pouvaient apporter la preuve que leur classification est meilleure que la précédente. Mais le premier test d'évaluation publié au mois de janvier dans l'*American Journal of Psychiatry* n'est pas rassurant. L'étude, menée par quelques-uns des principaux auteurs du nouveau manuel, consistait à fournir à des groupes de deux cliniciens des cas fictifs qu'ils devaient catégoriser selon les critères du *DSM-5*. L'ampleur de leur accord (ou désaccord) était mesurée par un coefficient de fiabilité baptisé "kappa". En cas d'accord parfait, le kappa vaut 1. En cas d'accord dû au hasard, il vaut 0. En cas de désaccord total il vaut -1. Or, pour la plupart des troubles mentaux, le kappa est particulièrement bas. Le trouble de dépression

majeure, qui risque pourtant de concerner des millions de personnes dans le monde, obtient ainsi un kappa de 0,28. Même les "troubles liés à l'utilisation d'alcool", que l'on pourrait penser simples à diagnostiquer, obtiennent un faible 0,40. "On oublie que c'est le meilleur système de classification qui existe, que c'est celui qui est le plus élaboré, tempère Marc-Antoine Crocq. Ceux qui critiquent le DSM sont souvent hostiles au principe même de classification. Ils considèrent que ça ne sert à rien car chaque cas est unique. C'est vrai en termes de psychothérapie. Mais si on veut faire avancer la science, on a besoin de classifications."

Toujours est-il qu'au final, le *DSM-5* ne sera pas la révolution annoncée. De fait, les modifications retenues sont mineures. "Beaucoup de psychiatres et de scientifiques rêvaient de grands changements. D'où la grande déception quand on vous propose des choses qui sont proches de ce qui existait avant et qui ne marquent pas du tout un progrès dans l'avancement de la science", conclut Julien Da- →

→ niel Guelfi, chef de service à l'hôpital Sainte-Anne à Paris. Défaut de science, excès de complexité et, du coup, quasi-*statu quo*... La montagne a bel et bien accouché d'une souris. Mais pouvait-il en être autrement? Car là est sans doute le nœud du problème: comment attendre d'une classification qu'elle soit plus scientifique, si c'est sur cette classification et ses faiblesses que reposent justement les avancées de la recherche en psychiatrie?

UNE DÉMARCHE QUI PARALYSE LA RECHERCHE

Le *DSM* est en effet devenu incontournable: les scientifiques l'utilisent pour constituer leurs cohortes de patients et élaborer leurs protocoles, les éditeurs exigent qu'il y soit fait référence dans les publications, les laboratoires pharmaceutiques se basent dessus pour mettre au point leurs essais cliniques... Mais en imposant un diagnostic fondé sur les symptômes, il empêche de rassembler des données cohérentes à partir desquelles effectuer des analyses. Que valent les résultats d'une étude visant à comprendre les déterminants biologiques d'un trouble mental si les patients sur lesquels se base l'étude ne sont pas tous atteints du même trouble? Ainsi, pour être diagnostiqué dépressif, un patient devait présenter 5 des 9 critères du *DSM-IV TR*. Deux patients avec un seul symptôme commun pouvaient ainsi recevoir le même diagnostic et être enrôlés dans la même étude. Une démarche non seulement stérile, mais paralysante. Il n'est pas étonnant que l'on ne trouve pas les ressorts génétiques de troubles aussi mal définis, qu'ils soient neurologiques ou psychologiques...

Que le *DSM* freine la recherche, Steven Hyman en a pris conscience dès les années 1990, alors qu'il était directeur du NIMH, l'Institut national de la santé mentale américain. "Aucune nouvelle cible pharmacologique, aucun mécanisme

L'ENJEU DEMEURE ENTIÈRE: ÉTABLIR UNE CLASSIFICATION BASÉE SUR LES NEUROSCIENCES, LES GÈNES, LES MOLECULES...

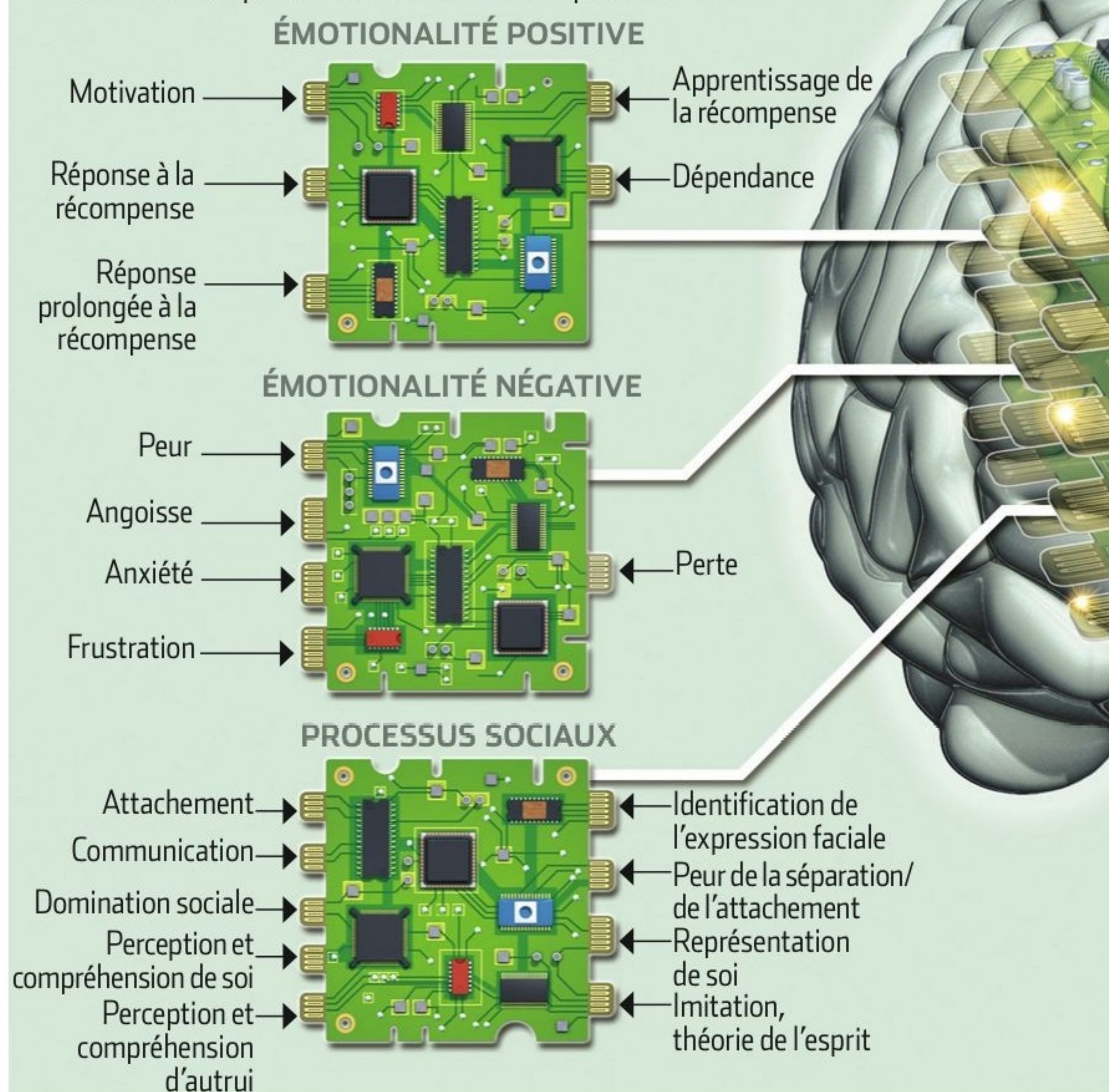
thérapeutique nouveau n'a été découvert depuis quarante ans", écrit-il en 2008. De là sa volonté de changer la façon dont les scientifiques travaillent. Son successeur, Thomas Insel, en a fait une priorité. En 2009 est lancé le projet RDoC (Research Domain Criteria), afin d'élaborer une nouvelle classification des troubles basée sur les neurosciences, les réseaux cérébraux, les gènes,

Projet de classification RDoC : l'alternative scientifique au DSM

Depuis 2009, l'Institut national de la santé mentale américain développe une nouvelle façon de classer les troubles mentaux: le projet RDoC, qui pense le cerveau en une superposition de processus cognitifs plus ou moins sensibles selon les individus.

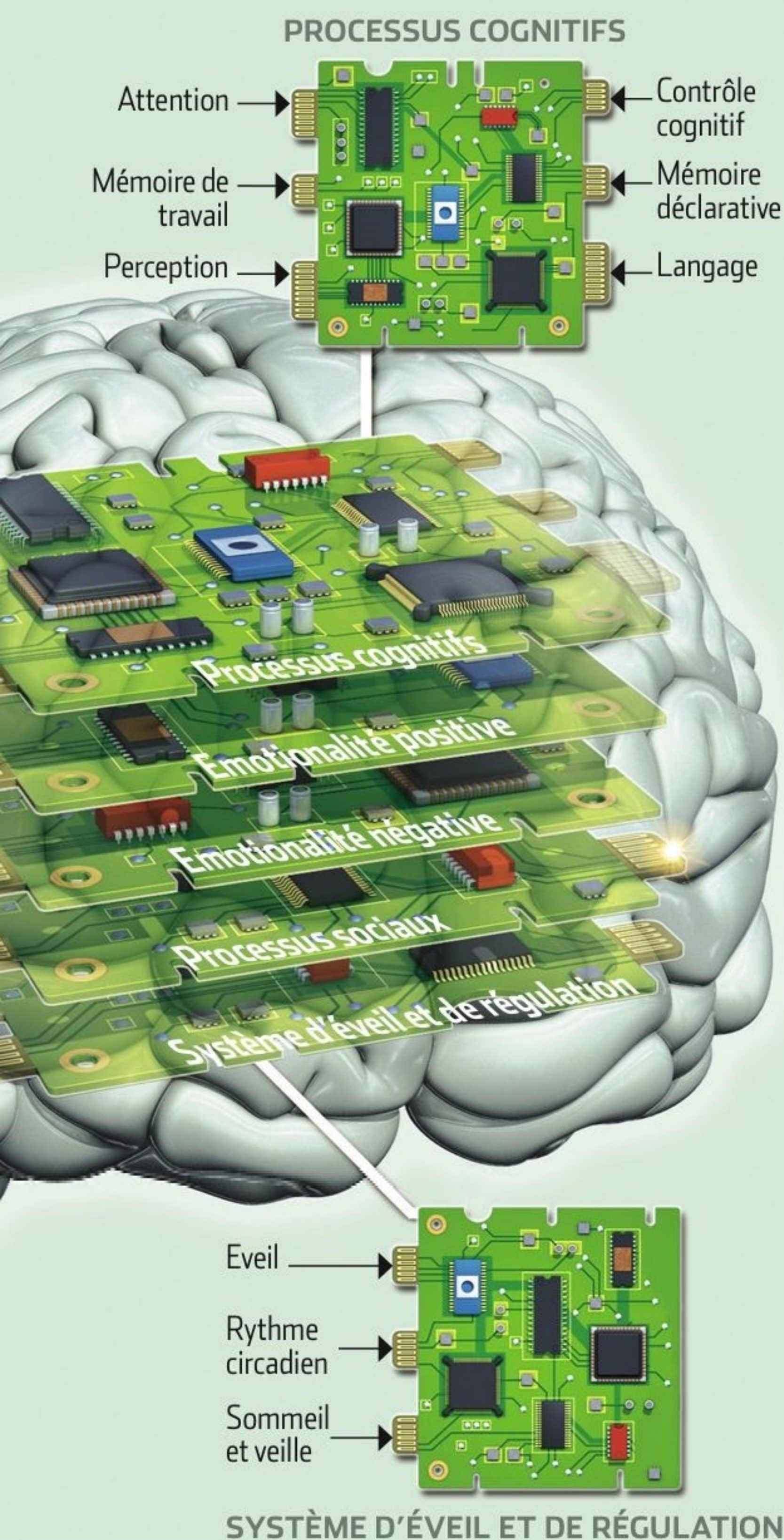
1 Le cerveau est décrit sous forme de circuits neuronaux...

Les chercheurs divisent le fonctionnement mental en circuits cérébraux. Ils en ont référencé 28 qui commandent les différentes facettes de la personnalité, regroupés en 5 modules indépendants en fonction de leurs points communs.



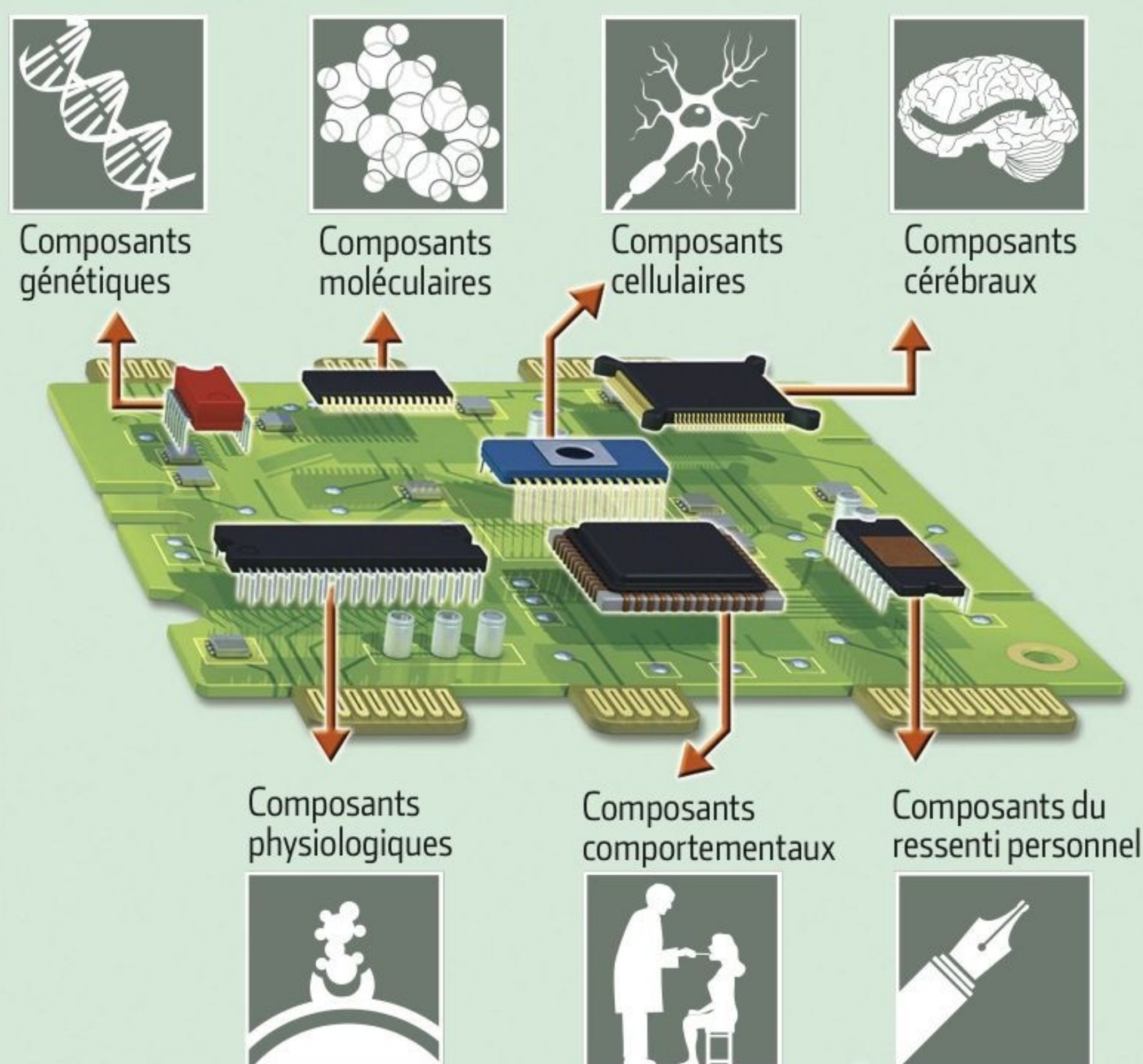
les molécules. "Nous essayons de développer de nouvelles façons de classer les troubles mentaux à partir de circuits cérébraux identifiables", explique Sarah Morris, qui participe au projet. Autrement dit, l'objectif est de construire une classification regroupant les troubles par causes et non par symptômes, par similarité physiopathologique et non par signes cliniques.

Le RDoC n'en est qu'à ses débuts. Pour l'heure, il s'agit de répertorier des états mentaux, non des troubles. Il conceptualise 5 grandes dimensions du fonctionnement cérébral présentes chez tout un chacun, chacune subdivisée en fonctions cérébrales de base, selon les circuits mis en œuvre, la maladie mentale étant le résultat d'un dysfonctionnement de ces circuits (voir l'infographie ci-dessus). "Le RDoC pense en termes de dimensions. Il s'agit de décrire tout



2 ...qui doivent maintenant être décrits en détail...

La prochaine étape consiste à étudier chacun de ces circuits afin d'en connaître toutes les ressorts génétiques, moléculaires, cellulaires, physiologiques, ainsi que leur impact sur le comportement.



3 ...afin d'établir le lien entre leurs pannes et les maladies mentales

Une fois les circuits parfaitement connus, les psychiatres classeront les malades non plus en fonction de leurs symptômes, mais en fonction des défaillances biologiques de leurs circuits cérébraux.

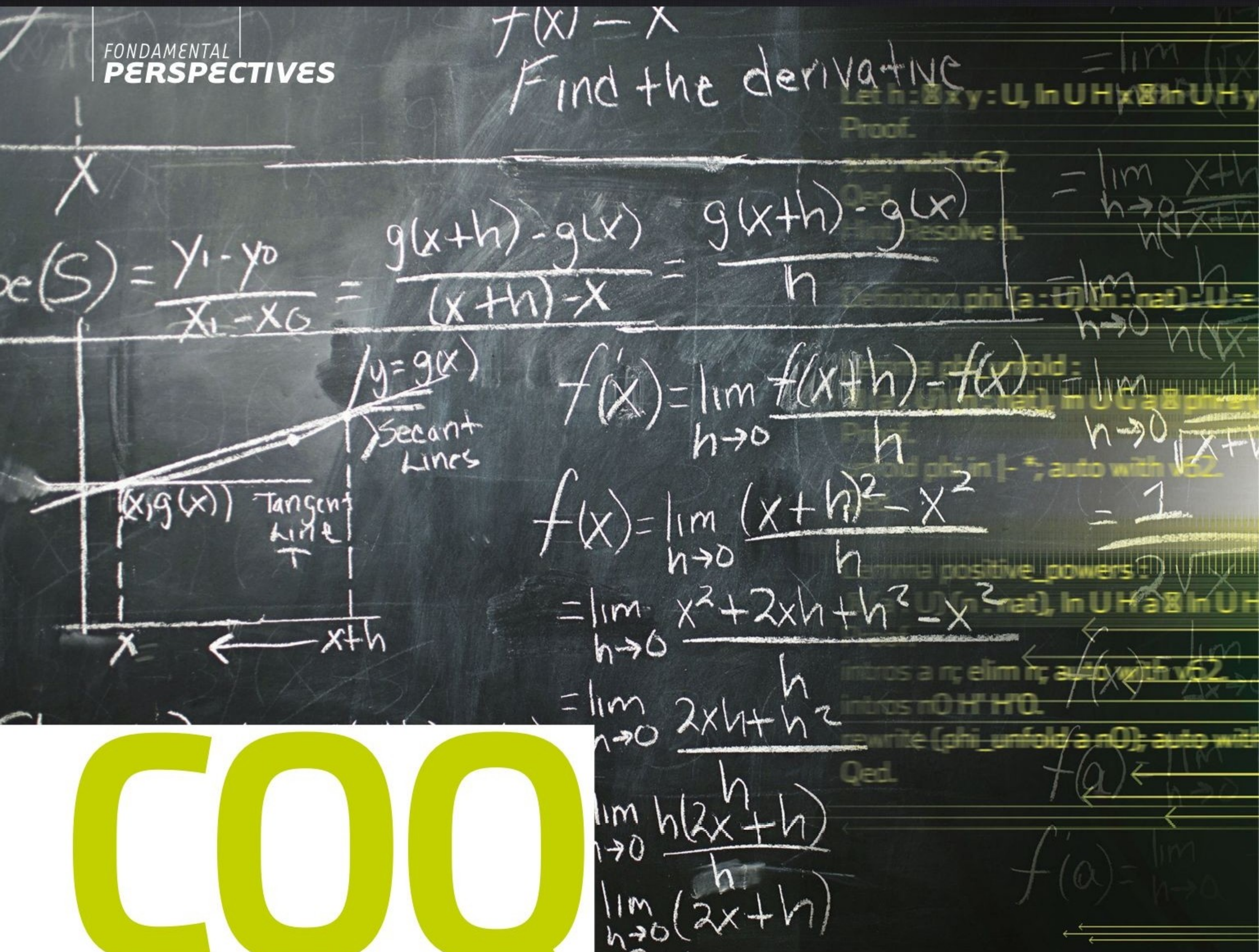


ce que nous savons du fonctionnement normal pour comprendre ce qu'il se passe en cas de dysfonctionnement", explique Sarah Morris.

Depuis 2009, des ateliers réunissant les plus éminents spécialistes américains permettent de faire le point sur l'état des connaissances accumulées sur chacune des dimensions cérébrales du RDoC. Sur la base de ces travaux, le NIMH encourage désormais les chercheurs à se détourner de la classification *DSM* pour privilégier ces nouveaux critères. "Nous finançons de plus en plus de projets avec une approche *RDoC* et nous espérons que cette tendance va s'accroître", précise Sarah Morris. Les premiers résultats obtenus avec cette classification devraient être publiés d'ici deux à trois ans. "Si les recherches basées sur le *RDoC* aboutissent, renchérit-elle, nous espérons que les

psychiatres pourront un jour l'utiliser pour déterminer le meilleur traitement à prescrire. Mais le but n'est pas de remplacer le *DSM*." Cela n'en reste pas moins un véritable changement de paradigme. Les cohortes de patients réunies sur cette base seront dotées de diagnostics *DSM* différents. Une étude sur les désordres de l'anxiété rassemblera ainsi des sujets montrant une forte activation de l'amygdale en réponse à des images effrayantes plutôt que des patients avec un diagnostic *DSM* de trouble panique.

Les scientifiques ont donc un nouvel outil pour faire progresser leurs recherches. Mais en attendant qu'il porte ses fruits, psychiatres et patients devront encore se contenter du *DSM-5*. Avant la prochaine (vraie?) révolution du *DSM-6*... Signe que, décidément, comprendre qui souffre vraiment de quoi reste un défi. ■



COQ

LES MATHS

ONT TROUVÉ LEUR

Pour qu'un théorème soit juste, il faut qu'il soit démontré. Ce qui nécessite des dizaines et des dizaines de pages de raisonnement... qu'un logiciel, baptisé Coq, permet aujourd'hui de vérifier automatiquement et, surtout, de valider, sans erreur possible. De quoi révolutionner les maths!

PAR PHILIPPE PAJOT

Vingt septembre 2012. La dizaine d'informaticiens œuvrant autour de Georges Gonthier, au centre de recherche commun Inria-Microsoft de Saclay, termine l'écriture du dernier programme. A l'ordinateur de jouer maintenant. Celui-ci assemble les milliers de briques informatiques déjà écrites, les passe en revue une à une et, en moins de cinq secondes, donne son verdict final : tous les voyants passent au vert. L'opération est un succès ! Au terme de six ans d'efforts, l'équipe a conçu un programme informatique qui vérifie chacune des étapes du

raisonnement permettant de démontrer un théorème. En l'occurrence, pas n'importe quel théorème : celui de Feit-Thompson, dont la démonstration, longue et complexe, est l'un des résultats phares de l'algèbre du XX^e siècle. Et voici qu'un ordinateur prouve que cette démonstration est bel et bien valide ! Impossible, désormais, de la mettre en doute. L'exploit a été salué comme un jalon décisif dans les méthodes de vérification des preuves. Surtout, au-delà de la simple prouesse, il présage une façon radicalement nouvelle de faire des mathématiques...


```

intros a n; elim n; auto with v62.
intros n0 H' H'0.
In UH(star) (phi_unfold a n0); auto with v62.
rewrite <- (G1' a (phi a n0) a).
rewrite H'; auto with v62.
Qed.

Lemma tech_exp' : ∀ n : nat, phi e n = e.
Proof.
  intro n; elim n; auto with v62.
  intros n0 H'.
  rewrite <- (tech_exp e n0); auto with v62.
  QED.

Lemma phi_exp :
  ∀ (a : U) (n m : nat),
  In U G a & star (phi a n) (phi a m) = phi a (S (n + m)).
Proof.
  unfold phi in |- *.
  intros a n m H'.
  rewrite (add_exponents a (pos n) (pos m)); trivial with v62.
  rewrite (tech_add_pos_posZ n m); trivial with v62.
  QED.

Lemma powers_repeat :
  ∀ (a : U) (n m : nat),
  In U G a & phi a n = phi a (S (S (n + m))) & phi a m = inv a.

```

```

elim n 4; intro n 1; clear n 4.
x0; x0.
generalize H'0.
rewrite <- H'1.
rewrite <- (tech_exp a x0).
intro H'3.
lapply (sym_eq (x:=phi a x0) (y:=star (phi a x0) a));
[ intro H'9 | rewrite H'3; auto ].
lapply (cancellation' (phi a x0) a); [ intro H'8 | assumption ].
rewrite H'8.
rewrite (tech_exp' x0).
rewrite (tech_exp' (S (S (x0 + 0)))); auto with v62.
auto with v62.
elim H'1; intros r E; clear H'1.
x0; x0.
rewrite <- E; auto with v62.
clear H'1 H'.
intro H'.
lapply (discrete_nat x x);
elim H'4; intro H'1; clear H'1.
x; x0.
generalize H'0.
rewrite <- H'1.
rewrite <- (tech_exp a x);
intro H'3.

```

MAÎTRE

Mais pourquoi demander à une machine de vérifier le travail de mathématiciens ? Simple : les maths sont le fruit de raisonnements humains qui sont, par définition, faillibles, puisque s'y mêle une part d'intuition. Et même si la suite de raisonnements logiques permettant d'affirmer un résultat peut être explicitée de manière exhaustive, personne ne le fait, ce qui laisse une part de non-dit et d'interprétation à toute démonstration. Il suffit de regarder la preuve présentée en septembre dernier de la "conjecture abc", un important résultat qui généralise notamment le théorème

de Fermat : le Japonais Shinichi Mochizuki ayant travaillé seul pendant douze ans, aucun autre mathématicien ne peut juger du bien-fondé de cette démonstration en 500 pages bien tassées.

UNE IDÉE QUI DATE DE 30 ANS

C'est justement ici qu'entrent en scène les informaticiens : il y a trente ans, ils ont imaginé un moyen de s'assurer qu'il n'y a pas d'erreur ni de trou dans de tels raisonnements, aussi longs et complexes soient-ils. Tout commence lorsque, dans les années 1980, Gérard Huet et Thierry Coquand, alors à l'Institut national de recherche en

informatique et en automatique (Inria), élaborent une méthode de traduction de toute démonstration en calculs. Bien que difficile à mettre en œuvre, cette méthode permet de développer un logiciel baptisé "Coq", en référence au "calcul des constructions" (CoC) à partir duquel il est construit, mais également au nom d'un de ses fondateurs (Coquand) et à sa nationalité (française). Coq est un "assistant de preuve" : il guide pas à pas la transcription de toutes les étapes d'un raisonnement mathématique en un programme informatique ; une fois la transcription achevée, il suffit de lancer le programme pour vérifier mécaniquement la justesse du raisonnement d'origine (voir S&V n° 1013, p. 55).

Aujourd'hui, il existe différents assistants de preuve : HOL-Light, Isabelle, Mizar... Coq, lui, en est à sa huitième version ! Enseigné dans plusieurs universités en Europe et aux Etats-Unis, il a déjà certifié des dizaines de démonstrations. Mais sa mise en œuvre est si fastidieuse que les théorèmes concernés sont longtemps restés assez élémentaires. Avec celui de Feit-Thompson, →



GEORGES GONTHIER

CHERCHEUR EN INFORMATIQUE AU
CENTRE INRIA-MICROSOFT DE SACLAY

**Nos travaux avec le
logiciel Coq couvrent
pratiquement toute
l'algèbre moderne**

→ Coq vient de passer dans une dimension supérieure.

Georges Gonthier n'en est pas à son coup d'essai. En 2005, il avait déjà vérifié un autre problème célèbre, le théorème des quatre couleurs, qui stipule qu'il est possible de colorier toute carte découpée en régions avec seulement quatre couleurs, de telle sorte que deux régions adjacentes soient toujours de couleurs différentes (voir *S&V* n° 1056, p. 90). Mais les chercheurs voulaient aller plus loin et attaquer un "vrai" problème mathématique. *"Le théorème des quatre couleurs était un problème difficile, mais pas très intéressant sur le plan des mathématiques, souligne Georges Gonthier. La plupart des outils utilisés dans la preuve ne font pas partie du bagage habituel des matheux."*

250 PAGES DE DÉMONSTRATION

Mais où choisir un théorème reconnu comme ardu et utilisant une grande variété de notions de haut niveau? Finalement, le choix s'est arrêté sur l'algèbre, c'est-à-dire l'étude des équations et, plus généralement, de toutes les structures algébriques, comme les "groupes", une notion centrale des mathématiques modernes. Dans la

théorie des groupes, la classification de ceux ayant un nombre fini d'éléments a été un travail monumental qui s'est étendu de 1955 à 1983, rassemblant des centaines de mathématiciens dans le monde. Et le théorème de Feit-Thompson est en quelque sorte la pierre angulaire de ce travail (voir "Repère").

Lorsque le théorème fut publié en 1963 par les Américains Walter Feit et John Thompson, sa démonstration en 250 pages était si complexe que, dans les livres de l'époque, les résultats qui en découlaient étaient notés avec un astérisque, au cas où le raisonnement serait finalement faux... Même si la dernière version de la preuve, publiée en 1995 et 2000, a été corrigée, simplifiée, et que sa validité n'est plus mise en doute, il y avait là une démonstration qui permettrait de montrer le potentiel des assistants de preuve.

Lorsque les informaticiens se sont attaqués à cette montagne, en 2006, très peu de mathématiques avaient été formalisées. *"La plus grosse partie du travail a consisté à traduire en un programme vérifiable toutes les théories sur lesquelles la démonstration s'appuie. Et avec Feit-Thompson, cela couvre pratiquement toutes les bases*



YVES BERTOT

CHERCHEUR AU LABORATOIRE
INRIA DE SOPHIA-ANTIPOLIS

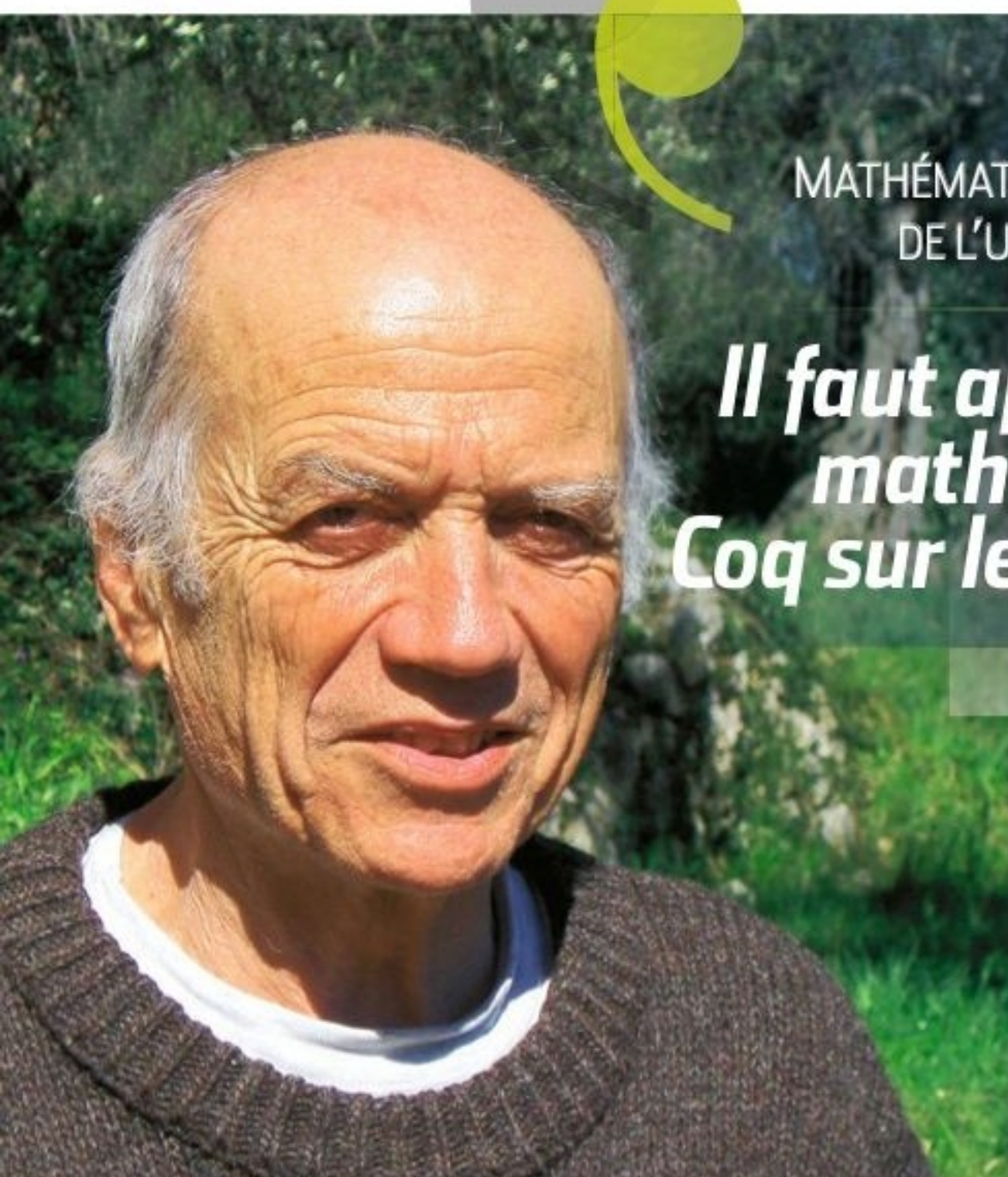
**Coq nous a permis
de valider un
résultat majeur
du XX^e siècle**

de l'algèbre moderne, en gros tout ce qu'un étudiant de fin de licence doit savoir dans ce domaine", raconte Georges Gonthier. Son collègue Laurent Théry résume à sa manière le travail accompli pendant ces six années: "Nombre de lignes: environ 170 000; nombre de définitions: environ 15 000; nombre de théorèmes: environ 4 200; plaisir: énorme!"

Assez pour convaincre les mathématiciens que leurs raisonnements seront bientôt validés automatiquement par des assistants informatiques? André Hirschowitz, de l'université de Nice, l'un des pionniers de l'utilisation des assistants de preuve, pense que l'heure a sonné: *"Si l'on veut que des mathématiciens adoptent ce logiciel, il faut aller chercher des jeunes spécialistes de la théorie des groupes, par exemple, puisque Coq est en pointe sur ce sujet, et leur apprendre à utiliser Coq sur leurs propres mathématiques."* Yves Bertot, membre

REPÈRE

Le **théorème de Feit-Thompson** énonce que tout groupe d'ordre impair est résoluble. Sachant qu'un groupe est une structure mathématique, que son ordre désigne son nombre d'éléments et qu'il est résoluble s'il peut être décomposé en une série de groupes cycliques, ce théorème stipule que l'étude de ces groupes est relativement simple à mener.



ANDRÉ HIRSCHOWITZ

MATHÉMATICIEN À L'UNIVERSITÉ DE NICE, PIONNIER DE L'UTILISATION DES ASSISTANTS DE PREUVE

Il faut apprendre aux jeunes mathématiciens à utiliser Coq sur leurs propres travaux

de l'équipe de vérification, au laboratoire Inria de Sophia-Antipolis, est plus patient : *"Le côté positif, c'est que nous avons vérifié un théorème reconnu comme un résultat majeur du XX^e siècle ; mais cela a demandé plusieurs années de préparation, de sorte qu'il y a encore peu de mathématiciens qui pensent que cet outil puisse les aider au quotidien."*

UNE SCIENCE PROMETTEUSE

Pour que le mouvement s'enclenche, d'autres parties des mathématiques doivent encore être traduites en langage informatique. *"Une première étape, qui semble réalisable d'ici quelques années, serait d'entrer dans Coq toutes les mathématiques enseignées dans les trois années de licence, poursuit l'informaticien. Grâce aux travaux autour de Feit-Thompson, c'est quasiment fait pour l'algèbre. Du côté de l'analyse, de la topologie ou de la géométrie, il ne devrait pas y avoir de problème insurmontable."* Le projet européen ForMath, porté par Thierry Coquand, s'attaque par exemple à des questions d'analyse.

Même s'il reste encore du travail pour que Coq devienne

aussi simple et naturel qu'une calculatrice graphique moderne, ces bibliothèques de théorèmes vérifiés favorisent l'émergence d'une communauté de mathématiciens qui utiliseront Coq ou d'autres systèmes de manière routinière. Georges Gonthier réfléchit ainsi à la façon de présenter une théorie mathématique comme une brique autonome, utilisable pour construire d'autres théories, en s'inspirant des composants logiciels que les informaticiens utilisent pour construire de nouveaux programmes. De gros efforts sont aussi consacrés aux fonctionnalités et à l'interface, afin de diminuer la distance entre le raisonnement humain et les détails que la machine peut vérifier.

Cédric Villani, médaille Fields et directeur de l'Institut Henri Poincaré, est convaincu de l'importance que va prendre cette science de la vérification automatique dans les décennies à venir : *"Les mathématiciens seront capables de vérifier des théorèmes de plus en plus complexes, s'assurant qu'ils sont exempts d'erreurs, même*

quand les démonstrations sont longues de plusieurs milliers de pages. Cela devrait changer leur manière de travailler."

Et l'on se prend à imaginer un futur où l'assistant de preuve deviendra un outil aussi banal qu'une calculatrice. Où la publication d'un nouveau résultat consistera à le faire valider par un assistant de preuve. Et où un mathématicien pourra pianoter sur son ordinateur une vague intuition que la machine transformera en théorème. *"Les mathématiciens qui ont les idées les plus créatrices doivent garder cette liberté, tout en utilisant le support de rigueur qu'est l'ordinateur le plus vite possible dès qu'ils ont une ébauche d'idée",* estime Yves Bertot. Une idée que partage l'informaticien Serge Abiteboul, de l'Inria : *"On peut imaginer des outils qui aideront les mathématiciens en vérifiant leurs hypothèses, en proposant des pistes, en développant des preuves formelles. Le mathématicien serait libéré de la partie fastidieuse des démonstrations."* Des mathématiques non fastidieuses ? Le rêve. ■



CÉDRIC VILLANI

MATHÉMATICIEN, DIRECTEUR DE L'INSTITUT HENRI-POINCARÉ À PARIS

Cela devrait changer la manière de travailler des mathématiciens



EN
SAVOIR
PLUS**

La vérification par Coq de la démonstration du théorème de Feit-Thompson est accessible en ligne : <http://ssr2.msr-inria.inria.fr/~jenkins/current/progress.html>

[L'INDISPENSABLE]

100 ANS DE SCIENCE VUS PAR SCIENCE & VIE



Retrouvez nous également sur : www.science-et-vie.com

PLUS DE 1000 NUMÉROS RÉSUMÉS EN UN SEUL!

100 ANS

SCIENCE & VIE

7 IDÉES NEUVES
pour le XXI^e siècle

Quand les nouveaux savoirs bousculent les anciens dogmes.
Une grande série de "Science & Vie", à retrouver chaque mois.
Ce mois-ci : **La mémoire**

Leçon n°2

Penser oubli plutôt qu'accumulation

PAR EMMANUEL MONNIER

C'est l'une des caractéristiques humaines les mieux ancrées : de Lascaux à Facebook, les individus n'ont cessé d'accumuler la trace de leurs expériences pour en garder le souvenir. Une guerre contre l'oubli qui atteint son paroxysme aujourd'hui : avec les capacités de stockage des mémoires numériques, il est devenu plus fastidieux d'effacer que d'enregistrer une information. Or, voici que les neurosciences viennent bousculer cette manière de penser : la mémoire a besoin d'oubli. Mieux, sans lui, notre cerveau ne parvient plus à trier les données ni à leur donner du sens. Pour le XXI^e siècle lancé dans la numérisation tous azimuts, c'est peu dire qu'il va devoir se familiariser avec cette idée neuve : plutôt que de conserver à tout prix, apprendre à faire disparaître, s'il veut garder sa mémoire vive.

Philip Parker, professeur de marketing à l'Institut européen d'administration des affaires de Fontainebleau, est un auteur très prolifique. Jugez plutôt : en quelques années, il a écrit plus de... 100 000 livres ! Impossible ? Non. Sa recette (brevetée) est simple : construire un modèle d'ouvrage et laisser l'ordinateur le remplir en puisant dans des bases de données sélectionnées et sur Internet. Résultat : Philip Parker a publié le *Guide officiel des patients souffrant de narcolepsie*, mais aussi celui des patients souffrant de sténose spinale, de diabète gestationnel, de cardiomyopathie, de nécrose vasculaire... A moins que vous ne préfériez l'*Atlas de l'économie et des marchés de produits de Tabuk* (Arabie saoudite) ou le *Thésaurus anglais du napolitain*, du kikuyu, des mots croisés russes... Les déclinaisons sont aussi hétéroclites qu'interminables.

Absurde ? Sans doute. Mais Philip Parker ne fait que pousser à l'extrême cette tendance puissante du XX^e siècle à produire et accumuler tous azimuts un nombre toujours plus grand de nouveaux documents, quelle que soit leur pertinence. Textes, vidéos, musique se disputent notre temps d'attention disponible en un flux toujours croissant. Trente milliards de documents sont ajoutés chaque mois sur Facebook, 140 millions de messages sont échangés chaque jour sur Twitter et 20 millions de SMS chaque minute sur les mobiles.

Cette production d'informations est sans équivalent dans l'histoire de l'humanité. Durant des millénaires, l'information a au contraire été rare et sa mémorisation laborieuse. L'invention du langage, les traditions orales, puis l'écriture, il y a des milliers d'années, ont permis de conserver précieusement le souvenir des premiers lambeaux d'expérience humaine. Les

premières bibliothèques, comme celle d'Alexandrie, ont ensuite transmis, au prix d'investissements énormes, les premières sommes de ces précieux savoirs, dont la sauvegarde fragile restait toujours à la merci d'un incendie, du décès d'un homme, de la chute d'une cité... Confié oralement d'un conteur à un autre, dessiné sur la paroi d'une grotte ou sur une peau, copié à la plume par une armée de moines, ce savoir – parce que rare et précaire – a constitué durant des siècles un pouvoir dont on gardait jalousement la clé, tant l'érudition a été un idéal autant qu'une arme.

TOUT IMMORTALISER D'UN SIMPLE CLIC

Au XV^e siècle, l'essor de l'imprimerie ébranle ces premiers monopoles : produits en de multiples exemplaires, les textes circulent et ne peuvent plus être aisément détruits. L'invention du phonographe ensuite, au XIX^e siècle, permet de garder une trace d'une expérience sonore ou musicale ; puis c'est au tour de la photographie et des films d'immortaliser des informations visuelles. Textes, images et sons trouvent ainsi les moyens d'une sauvegarde provisoire. Mais à quel prix ! La dépense en

temps et en énergie pour sauver une expérience de l'oubli était telle que les élues restaient l'exception : pour un manuscrit édité, combien de rejetés ? Pour un disque pressé, combien de chansons oubliées ?

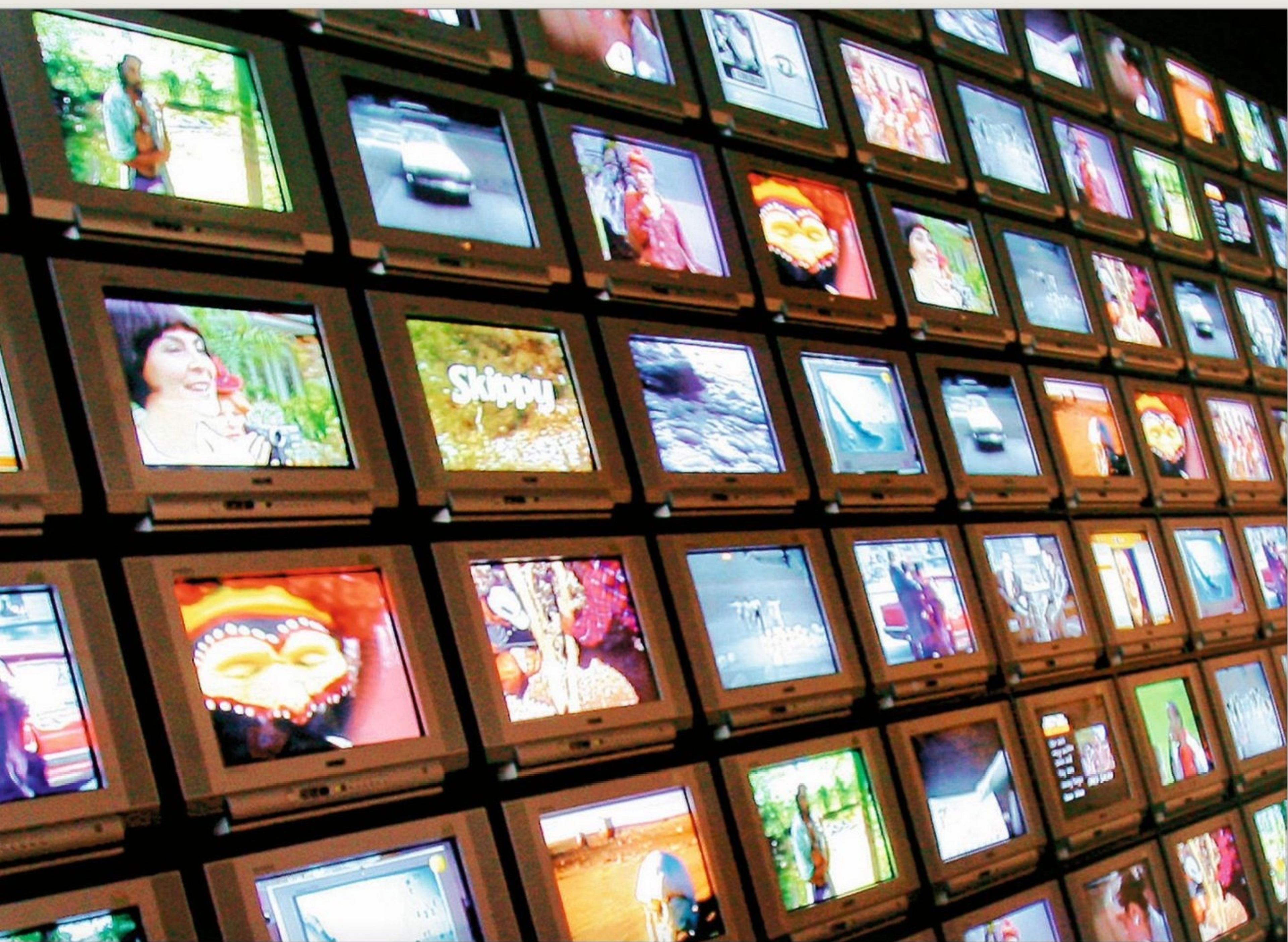
Ces vingt dernières années, la révolution numérique, qui consiste à traduire tout support d'information en une suite de 0 et de 1, est venue totalement bouleverser la donne. Grâce aux outils numériques, produire un document ne coûte désormais presque plus rien : à peine un clic, un doigt pressé sur son smartphone. Bien sûr, l'information a un coût énergétique : l'infrastructure informatique d'Internet consommerait, selon des →

Alors que nous n'avons

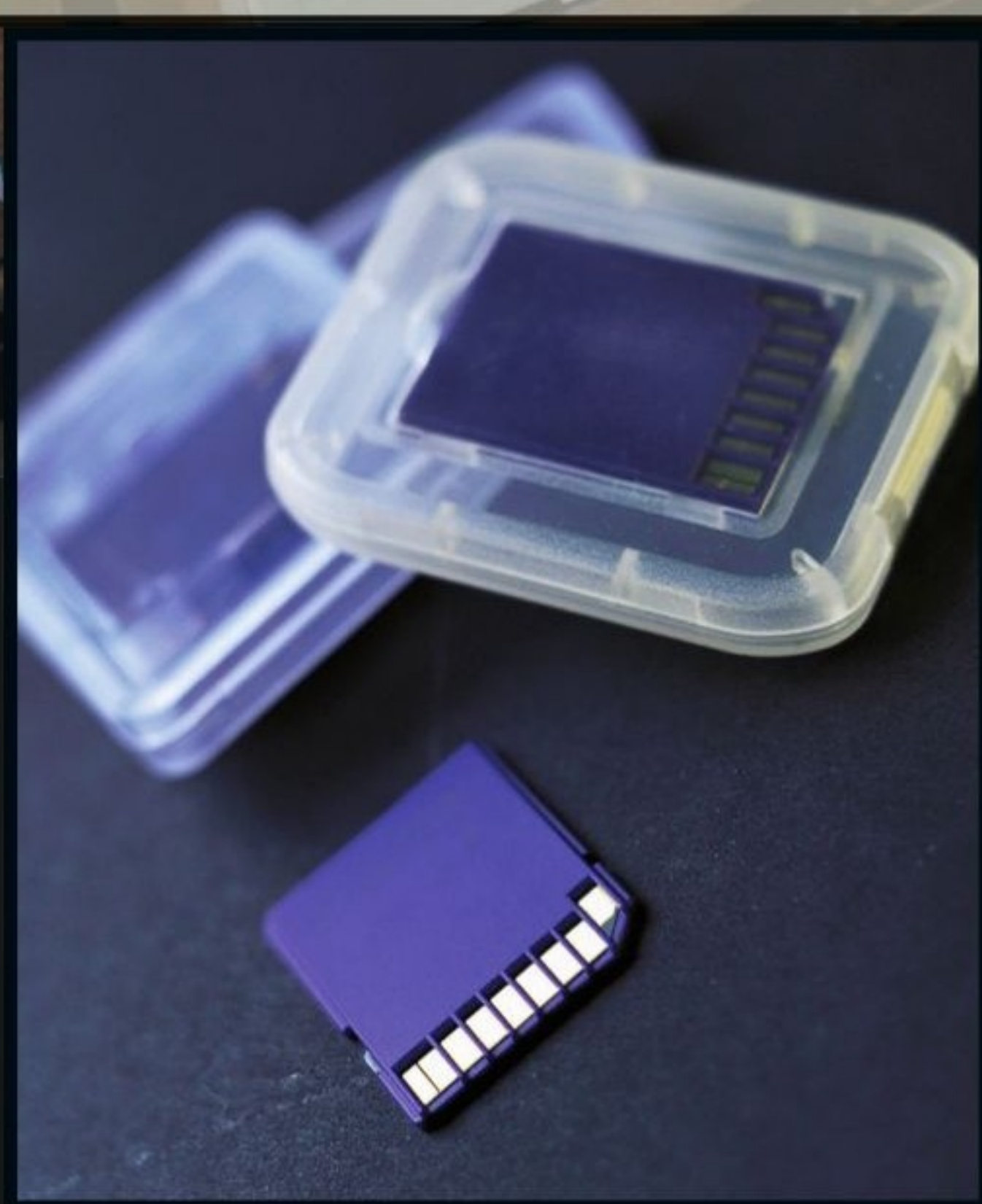
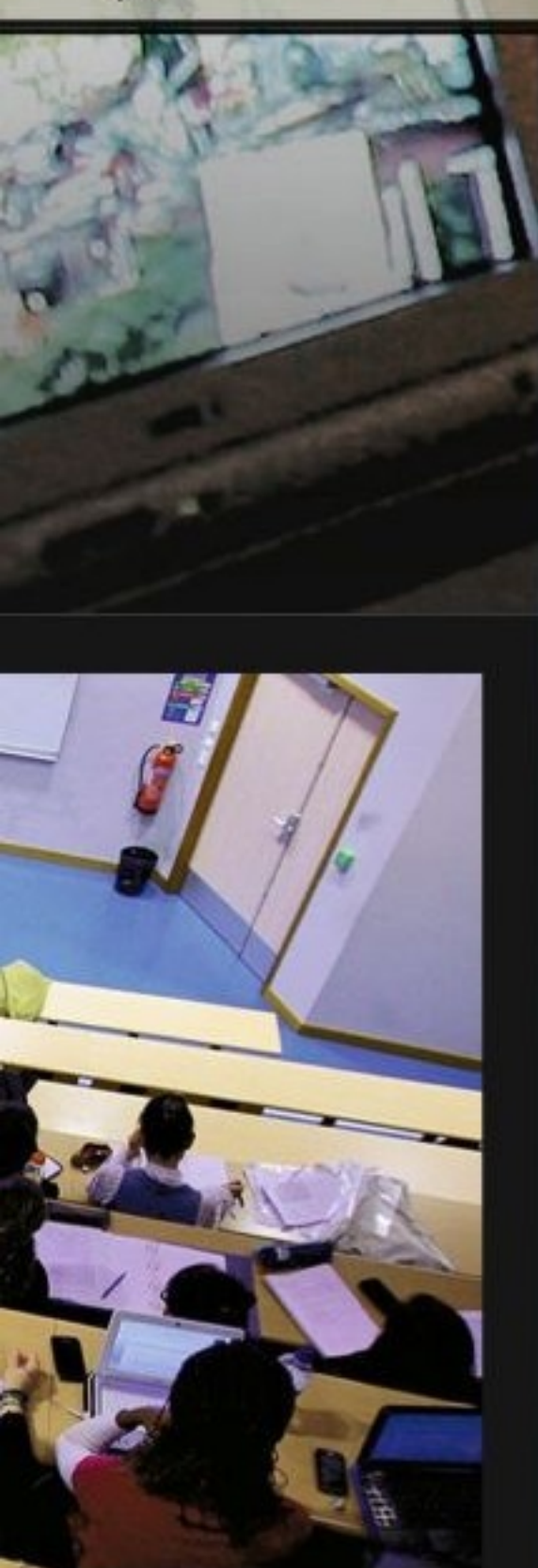
✓ CHAQUE GÉNÉRATION HÉRITE DU SAVOIR CUMULÉ DES PRÉCÉDENTES...

Écriture, livres, bibliothèques ont permis au fil des siècles de sauver de la fatalité de l'oubli des bribes d'un savoir précieux, chaque génération profitant d'une partie de l'expérience des anciennes.





jamais accumulé autant d'informations...



**... UN SAVOIR
RENDU AUJOURD'HUI
POTENTIELLEMENT
INFINI PAR LA
TECHNOLOGIE ...**

L'essor des mémoires numériques, dont les capacités doublent tous les un à deux ans, ouvre désormais peu à peu la possibilité de stocker, sans distinction, la totalité des informations (textes, images, sons...) créées par l'humanité.

**V... ET DANS LEQUEL IL EST
POSSIBLE DE CHERCHER SANS FIN**

La numérisation laisse en outre la possibilité d'indexer l'ensemble des données mémorisées, ce qui permet à de puissants moteurs de recherche de retrouver quasi instantanément toute information et de la croiser avec d'autres.



→ estimations récentes, de l'ordre de 2 % de l'électricité mondiale. Reste que pour l'utilisateur des technologies numériques, la conservation elle-même de cette production n'est plus une contrainte tant les progrès réalisés en matière de capacités de stockage numérique ont été spectaculaires : depuis un demi-siècle, la quantité d'informations que peut contenir une mémoire informatique, à coût équivalent, double tous les un à deux ans. La taille d'un disque dur ordinaire se mesure désormais en téraoctets, et les serveurs des grands centres de données de Google ou d'Amazon hébergent des pétaoctets (millions de milliards d'octets) de textes, sons, images et vidéos.

LE RÊVE D'UNE MÉMOIRE ABSOLUE

Cette explosion exponentielle des capacités de stockage est à l'origine d'une inversion fondamentale : puisque stocker ne coûte presque plus rien, tout est mémorisé, de façon automatique. Et c'est l'oubli – l'effacement de la mémoire numérique – qui demande aujourd'hui un acte volontaire, une dépense d'énergie. Qui, au retour des vacances, prend réellement le temps de trier une à une toutes les photos prises sur son appareil numérique ? Elles seront le plus souvent stockées telles quelles dans l'ordinateur. A quoi bon, en effet, détruire les clichés les moins réussis puisque leur stockage mobilise moins d'énergie que leur destruction ?

De façon inédite, le numérique permet de tout garder, de copier à volonté l'ensemble de ses données et souvenirs sur un nouveau support, et de les retrouver quasi instantanément à l'aide d'algorithmes de recherche automatique. Ainsi l'humanité réalise-t-elle peu à peu, grâce au numérique, le rêve d'une mémoire absolue, capable de tout enregistrer et de tout retrouver. Elle est parvenue au bout d'une manière de pensée "accumulation" qui n'a cessé de se donner les moyens de s'incarner dans la réalité.

Sauf que cet idéal souffre, contre toute attente, d'un défaut fondamental, que la quête des moyens de se souvenir toujours plus avait ignoré, mais que les neurosciences établissent aujourd'hui sans doute possible : si notre mémoire, si imparfaite, oublie plus qu'elle ne retient, ce n'est pas par impuissance. Nous n'oublions pas, comme on l'a longtemps cru, parce que nous n'aurions pas assez de neurones pour tout stocker, ou parce que certains réseaux neuronaux se seraient altérés. Les études les plus récentes montrent au contraire que notre cerveau oublie en grande partie volontairement. Parce que cet oubli lui est tout simplement indispensable pour rester efficace et continuer à produire le comportement le mieux adapté à un environnement en évolution constante. Dès lors s'éclaire d'un jour radicalement nouveau notre volonté séculaire de prolonger nos souvenirs : nous ne tirerons avantage de mémoires quasi infinies qu'en préservant notre capacité à oublier.

L'imagerie cérébrale (IRM fonctionnelle) a en effet confirmé que certaines formes d'oubli étaient intentionnelles et ne résultaient donc pas d'un

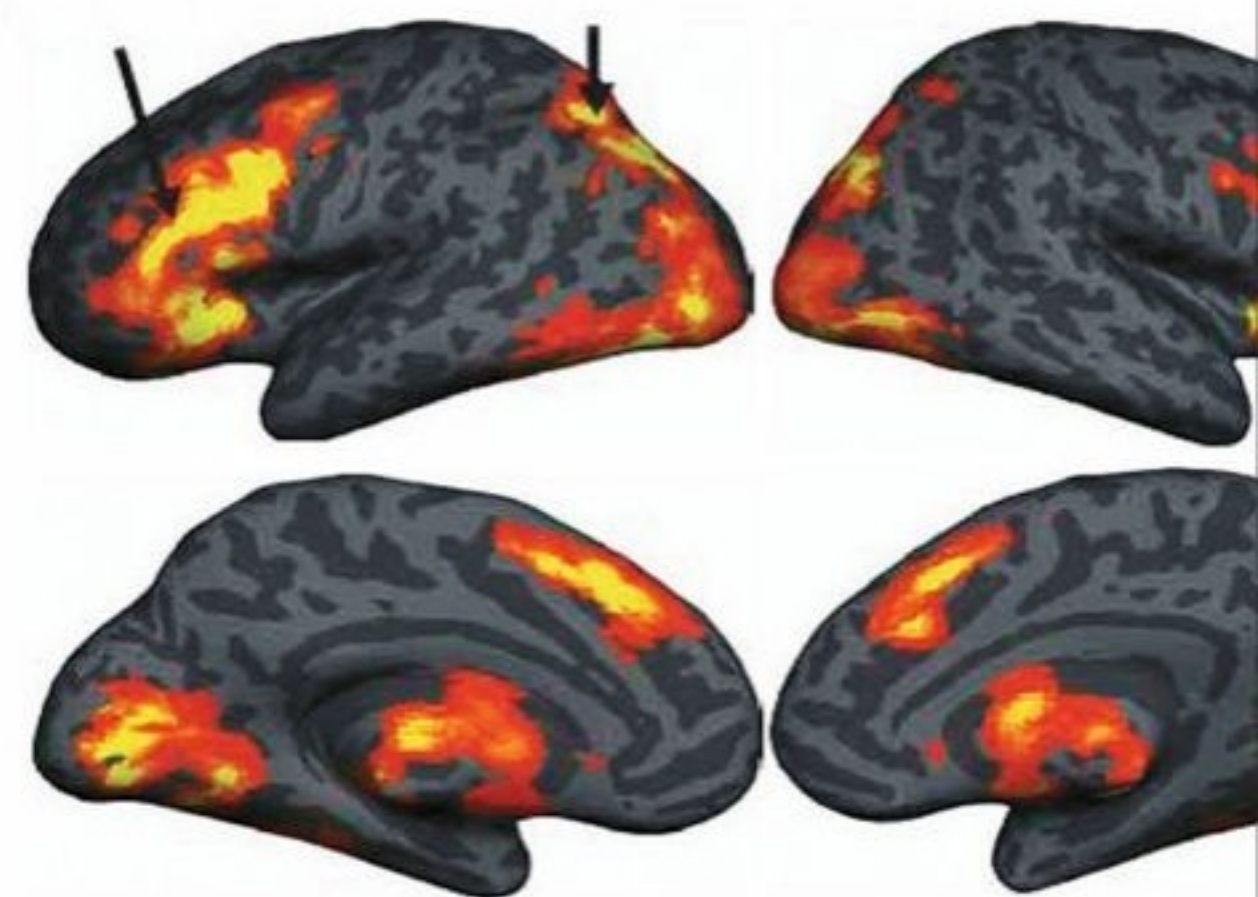
... l'oubli s'impose pour réussir

dysfonctionnement cérébral. Elle a par exemple montré qu'une région du cortex préfrontal (ventrolatéral antérieur droit) s'activait davantage lorsqu'on demandait à un patient d'oublier une information qu'il avait mémorisée, suggérant un mécanisme actif du cerveau pour y parvenir. Un processus utile au quotidien, car pour se rappeler, le moment venu, une information importante, le cerveau doit souvent la sélectionner parmi différents souvenirs en compétition. Où ai-je garé ma voiture ce matin ? Ce souvenir interfère avec celui de la place de parking occupée hier, avant-hier...

En 2007, des chercheurs du département de psychologie et de →

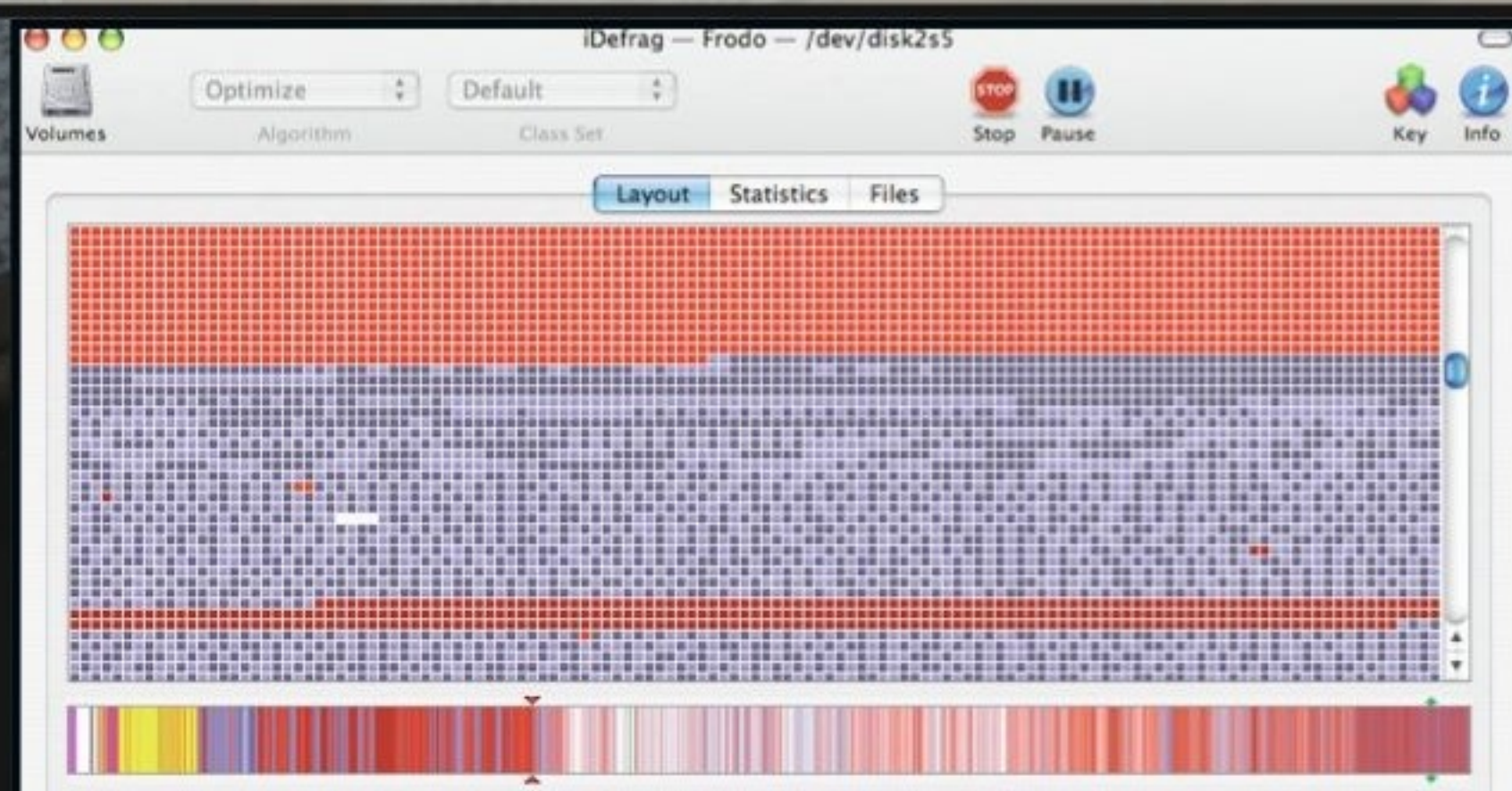
NOTRE CERVEAU A BESOIN DE FAIRE LE VIDE POUR ÊTRE EFFICACE...

L'imagerie a montré que via des mécanismes actifs d'oubli, mis en œuvre par le cortex préfrontal (à g. flèche de g.), notre cerveau réduit la compétition entre souvenirs en privilégiant les plus pertinents.





à en faire le tri et en tirer du sens



^ ... CE QUI INVITE À SUPPRIMER UNE PARTIE DE L'INFORMATION DE NOS MÉMOIRES ARTIFICIELLES...

Ce besoin de "purger la mémoire" subsiste avec les technologies numériques, d'une part pour améliorer l'efficacité du traitement informatique des données stockées (ici, la défragmentation d'un disque dur), mais aussi parce que c'est bien l'homme, au final, qui leur donne leur sens.

✓ ... POUR N'EN CONSERVER QUE LES PLUS PERTINENTES

Or, donner du sens, cela reste faire des choix, créer des contrastes entre des informations jugées pertinentes, soigneusement conservées (ici, le projet Internet Archive) et d'autres délibérément sacrifiées.



v ANNÉES 1990

L'approche psychologique

Des tests de rappels de souvenirs montrent que la compétition entre une nouvelle information et des souvenirs anciens est résolue par l'oubli des données les moins pertinentes. Ce qui explique que des personnes peinent à retenir de nouvelles données.



^ ANNÉES 2000

Les progrès de l'imagerie cérébrale

La surcharge informationnelle, où le cerveau ne parvient plus à intégrer de nouvelles informations, est mise en évidence par les scanners à résonance magnétique fonctionnelle : des régions clés de l'attention et du raisonnement sont désactivées.

Depuis une vingtaine d'années, se révèlent les mécanismes

→ neurosciences de l'université Stanford, en Californie, ont montré que notre cerveau mettait en place des mécanismes actifs d'oubli pour atténuer cette compétition et faciliter l'activation de l'information recherchée. Pour cela, les psychologues ont fait apprendre à des patients une liste de mots associés deux par deux (meuble/table, outil/marteau...). Puis, plus tard, une deuxième liste contenant des associations interférant avec celles de la première (meuble et lit, par exemple). Premier constat : les couples de mots de la première liste interféraient avec ceux de la seconde étaient davantage oubliés que les autres. Deuxième découverte : au fur et à mesure que les patients s'exerçaient à retenir la seconde liste, les régions du cerveau associées à la détection (le cortex antérieur cingulaire) et à la résolution de compétitions entre souvenirs (cortex préfrontal dorso et ventrolatéral) étaient de moins en moins activées, preuve que l'oubli progressif des informations parasites

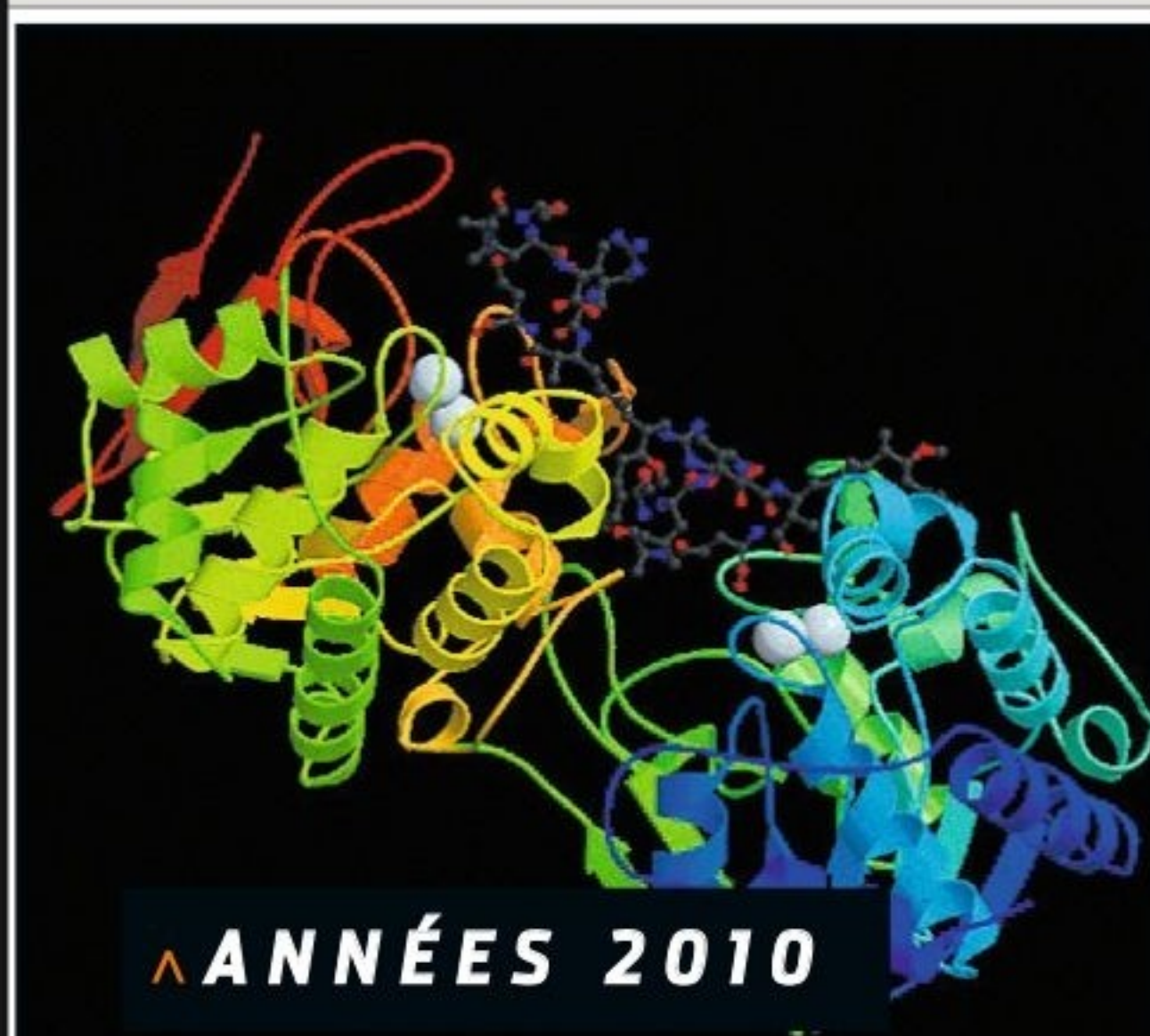
permettait bien d'alléger la charge cognitive. L'étude a donc montré que se rappeler de façon sélective une information entraînait bien l'oubli progressif des informations concurrentes, et que ce processus permettait de diminuer l'effort à fournir plus tard pour se rappeler les informations jugées pertinentes. Ainsi, comme le résument les chercheurs : *"Les phénomènes de souvenir et d'oubli sont intimement reliés – nous oublions souvent précisément parce que nous nous sommes rappelés d'autres informations."*

LE CERVEAU EFFECTUE UN TRI UTILE

Un tel processus d'oubli permettrait notamment à notre cerveau de contrer l'effet "éventail", bien connu des psychologues depuis les années 1970 : à mesure que le nombre d'informations reliées entre elles augmente dans la mémoire à long terme, le temps nécessaire pour vérifier que l'on reconnaît un élément particulier de cet ensemble d'informations augmente lui aussi.

Ainsi, si un patient doit mémoriser une série de propositions (un docteur est sur le banc, un pompier est dans le parc, un avocat est dans le parc...), et qu'un même élément est associé à de multiples propositions (ici, le parc), le temps nécessaire pour se rappeler une proposition précise contenant cet élément (l'avocat est-il dans le parc ?) augmente. Les psychologues expliquent cet effet en supposant que, durant le rappel, une quantité finie d'activations est partagée entre toutes les propositions possibles de l'éventail : quand la taille de l'éventail augmente, les propositions pertinentes reçoivent donc, chacune, moins d'activations, ce qui reflète la compétition qui s'accroît. Du coup, le rappel est ralenti.

L'imagerie cérébrale tente aujourd'hui de préciser les régions du cerveau mobilisées dans ces processus. Mais le résultat, lui, est net : plus la compétition est vive entre informations concurrentes, plus le patient oublie les informations qui ont été rejetées lors d'une



^ **ANNÉES 2010**

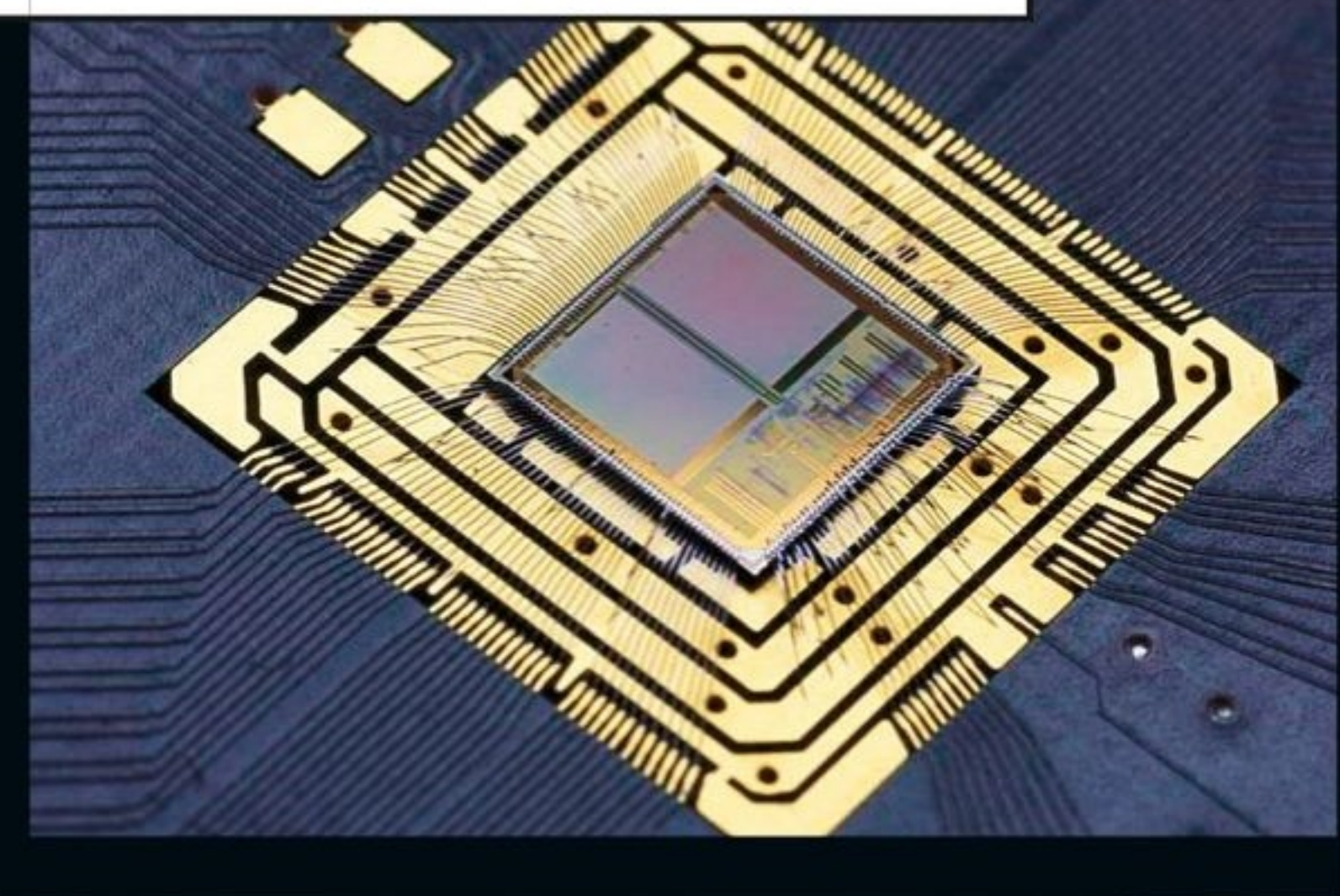
Des découvertes en neurochimie

Les neurobiologistes découvrent que plusieurs molécules (préséniline, protein phosphatase 1 – représentée ici –, propanolol) sont capables, par leur seule activité, de provoquer l'oubli de certains souvenirs.

v **2013**

De nouvelles puces

Les processeurs développés pour les nouvelles générations de robots font appel à des architectures nouvelles, capables, comme les neurones biologiques, de laisser s'effacer progressivement les informations.



clés du souvenir...

phase de rappel. Le cerveau accèderait ainsi plus vite aux données qui se sont révélées les plus pertinentes. Perdre sa capacité à oublier, c'est donc aussi perdre celle de retrouver efficacement les informations qui se sont révélées les plus utiles. C'est bien ce que suggèrent les études menées depuis la fin des années 1990 auprès de personnes âgées. Si elles ont beaucoup plus de mal à mettre à jour leurs connaissances, c'est en partie parce qu'elles oublient moins facilement que les jeunes. La capacité d'inhiber des souvenirs diminuerait avec l'âge, empêchant le cerveau de s'adapter à un nouveau contexte.

Parmi toutes les informations que le cerveau enregistre momentanément à chaque instant, quand et comment se fait le choix de celles qu'il faudra définitivement retenir ou sacrifier ? Dans une récente étude publiée en février 2013, Robert Stickgold de l'Ecole médicale de Harvard (Boston, Etats-Unis) et Matthew Walker, du département de psychologie de l'université Berkeley

(Californie), montrent que cette sélection se ferait au moment de l'encodage par un signal particulier attaché à chacun des souvenirs mémorisés durant la journée. Comme une marque qui servirait, ensuite, durant la nuit qui suit, de repère au cerveau pour faire le tri pendant le sommeil : les informations à retenir sont stabilisées ou renforcées ; les autres effacées. Des oscillations rapides mesurées durant le sommeil, dans le cortex pariétal gauche, corrélées à de meilleurs scores de mémorisation et d'oubli suggèrent en effet, selon les deux neuropsychologues que *"des mécanismes dépendant du sommeil non seulement favorisent activement le souvenir mais favorisent aussi activement l'oubli"*.

Trier ; ne retenir que ce qui semble pertinent ; et s'empresse d'oublier le reste. Ce principe, garant de l'efficacité de notre cerveau, se situe à l'exact opposé de la façon dont nous usons de l'immense capacité des technologies numériques. Dont les conséquences

sont déjà là : l'avalanche de documents produits par ces technologies crée, en bout de chaîne, une indigestion telle qu'elle finit par générer, en milieu professionnel surtout, des dysfonctionnements, voire une souffrance. *"Les cadres expriment de plus en plus le sentiment d'être confrontés à une surabondance d'informations qu'ils n'arrivent plus à absorber, traiter, hiérarchiser, et qui est génératrice de stress"*, explique Caroline Sauvajol-Rialland, professeur à l'Institut international de commerce et de distribution.

L'hégémonie du courrier électronique est particulièrement pointée. Dans son rapport d'octobre 2011, l'Observatoire sur la responsabilité sociétale des entreprises constate que 56 % des salariés utilisant le courriel consacrent plus de deux heures par jour à la seule gestion de leur boîte, et 38 % reçoivent plus de 100 messages quotidiens ! Or, les rapporteurs rappellent qu'il faut 64 secondes, en moyenne, pour reprendre le fil de sa pensée lorsqu'elle est →

→ interrompue par l'arrivée d'un message. Résultat : 70 % des managers disent souffrir de "surcharge informationnelle". Et ils sont de plus en plus nombreux à prendre des mesures drastiques, comme bloquer tout échange de courriels dans leur entreprise durant certaines heures. Des chercheurs du département d'informatique de l'université de Californie, à Irvine, ont en effet démontré, en mai 2012, que cela leur permettait de réduire leur stress (mesuré à travers leur rythme cardiaque) et de se concentrer davantage.

UN PRÉSENT QUI SEMBLE PERPÉTUEL

Le monde du travail découvre donc dans la douleur cette idée nouvelle : en matière d'information, l'accumulation devient rapidement l'ennemi du bien. Les études montrent qu'au-delà d'une certaine quantité optimale de données, le temps pris pour en tirer une décision rationnelle s'allonge dangereusement, tandis que la qualité des décisions prises diminue. L'extrême profusion de documents crée même des pathologies nouvelles, comme le "hikikomori du savoir", une expression japonaise qui désigne ce trou noir cognitif, ce brouillard de la pensée qui absorbe l'internaute perdu dans le labyrinthe documentaire du Web. Face à l'"infobésité" qui épuise l'individu, ce trop-plein de messages qui sature sa mémoire et ce culte de l'urgence qui voudrait qu'on réponde, dans l'instant, même aux sollicitations les plus futiles, neurosciences et sciences humaines (re)découvrent les vertus du "silence", propice à une réflexion plus efficace.

Faut-il, pour apaiser cette souffrance, doper notre mémoire ? Trouver le

moyen de la rendre enfin capable de tout absorber ? Cette fuite en avant apparaît une erreur si l'on en juge le calvaire des rares personnes capables de se rappeler indifféremment chacun des jours qu'elles ont vécu. De fait, les psychologues Elizabeth Parker, Larry Cahill et James McGaugh, à l'université de Californie, ont publié en 2006 le premier cas connu d'une femme, âgée de 40 ans et identifiée par ses initiales A.J., capable de se rappeler en détail tous les jours de son passé jusqu'autour de ses dix ans. Lorsqu'on lui donne une date quelconque, A.J. se rappelle ce qu'elle faisait précisément ce jour-là, à quel jour de la semaine il correspondait et si un événement important est survenu. A tel point que ses amis, mi-amusés mi-effrayés, l'ont surnommée pendant des années le "calendrier humain".

Contrairement aux individus aux capacités de mémorisation supérieures à la normale étudiés jusque-là, A.J. n'utilise aucun artifice mnémotechnique pour créer des associations parmi les données à mémoriser. Sa mémorisation est involontaire, liée à sa vie personnelle et aux événements qui l'intéressent. Mais elle est surtout, écrit-elle, "*un film qui ne s'arrête jamais*", un fardeau épuisant dont elle affirme vouloir se débarrasser, sans jamais y parvenir : "*Je vois défiler ma vie entière dans ma tête chaque jour et cela me rend folle.*" Loin de respecter les contours du temps, l'accumulation de souvenirs les abolit, au profit d'un présent qui semble perpétuel. Ce que, justement, la capacité à oublier permet de corriger.

De fait, la psychiatrie est remplie de symptomatologies paranoïaques, de

compulsions obsessionnelles, de manifestations phobiques et anxieuses dont l'origine est l'incapacité à oublier, à se défaire de souvenirs encombrants ou traumatisants. La littérature aussi : dans le *De oratore* de Cicéron, lorsque Simo-nide, célèbre pour son invention d'une mnémotechnie, consulte le grand Thémistocle pour lui demander de lui enseigner l'art de la mémoire parfaite, ce dernier lui répond qu'il préférerait apprendre celui d'oublier. Pour se débarrasser, comme le commente Cicéron, de toutes ces choses vues et entendues qui encombrant sa mémoire, car rien de ce qui y entre ne peut en sortir.

... qui inspirent un rap

On le voit : l'oubli, seul, peut donner sens à une accumulation devenue envahissante. Mais comment empêcher le prolongement numérique de nos mémoires de réactiver sans cesse, par l'entremise de pages web devenues obsolètes mais toujours disponibles grâce à un moteur de recherche, de vieilles querelles qui n'ont depuis longtemps plus lieu d'être ? Comment "tourner la page" si tout reste gravé ?

Pour échapper à l'égarement, ce que nous découvrons toujours plus précisément de la mécanique de l'oubli est une inspiration évidente. Et, de fait, les ordinateurs s'initient déjà, à travers la compression de fichiers, à l'art difficile de supprimer des données sans perdre d'information pertinente. Les concepteurs de logiciels inventent des formes d'oubli partiel, en compressant de façon réversible les fichiers les moins fréquemment utilisés d'un disque dur (mis en sommeil sous une forme qui mobilise moins de ressources), pour accélérer par ailleurs l'accès aux fichiers les plus sollicités. Mais il est bien sûr possible d'aller au-delà de ces maigres expédients techniques. Non pas qu'il faille se mettre à tout oublier – personne ne nie l'intérêt évident de disposer d'un jeu toujours plus riche

EN SAVOIR PLUS

Pour compléter cette leçon, vous pourrez découvrir *L'intelligence des traces* de Louise Merzeau, à paraître en juin (Intellectica, n° 59). De Viktor Mayer-Schönberger : *Delete: The Virtue of Forgetting in the Digital Age* (Princeton University Press, 2011). Sur les personnes dotées d'une mémoire hors normes : *Aventures au cœur de la mémoire* de Joshua Foer, Robert Laffont, janvier 2012.



< À L'ÉCOLE

Identifier ses erreurs pour mieux les corriger

Les pédagogues savent combien il est difficile, mais pourtant nécessaire, pour acquérir un savoir neuf, de se débarrasser d'abord des vieilles conceptions. Un ressort sur lequel les méthodes récentes d'apprentissage jouent de plus en plus finement : il s'agit en effet d'aider les élèves à identifier leurs représentations erronées pour mieux les oublier.

port nouveau à la mémoire

de données à exploiter. Mais l'enthousiasme de l'accumulation a occulté un peu vite son complément plus que jamais nécessaire : la sélection.

Ce nouvel équilibre à trouver concerne en premier lieu les sciences expérimentales, qui s'appuient de plus en plus sur la notion de modèle. Or, la force d'un modèle (climatique, cellulaire...) est d'isoler les facteurs déterminants et d'oublier les autres, de créer des contrastes dans la diversité infinie des acteurs. Un modèle qui intégrerait toute l'information du réel ne serait plus un modèle mais... le réel lui-même. Il ne serait donc plus intelligible. C'est le paradoxe auquel seront confrontées les sciences du XXI^e siècle : plus les données s'accumulent dans les disques durs, moins elles prennent sens car les hiérarchies s'effacent, les causalités se diluent. Plus il faudra donc des algorithmes puissants pour isoler dans un fatras toujours plus grand de données les paramètres clés, ceux qui vont sous-tendre une théorie.

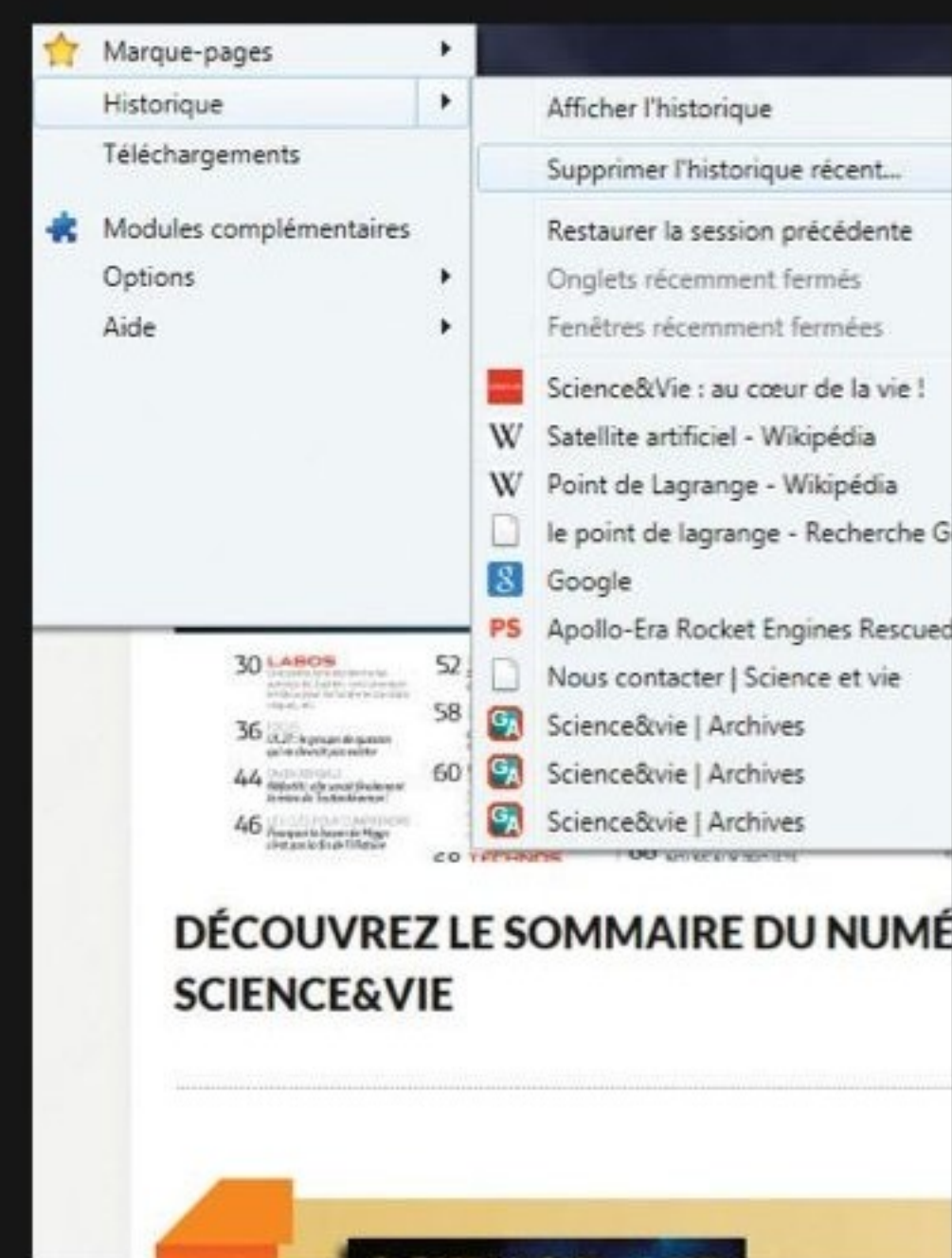
N.TAVERNIER/REA - CANON - DR

La justice n'échappe pas non plus à la question de la place nouvelle à accorder à l'oubli. Dans un monde qui aurait la capacité de tout mémoriser, doit-elle songer à de nouveaux garde-fous ? Les lois d'amnistie, les délais de →

> AU TRAVAIL

Se protéger du trop-plein d'informations

Pour lutter contre la surcharge informationnelle, des entreprises bloquent désormais tout échange de courriels durant certaines heures. Une mesure de réduction mécanique du stock d'informations mémorisées qui diminue le stress des salariés et augmente leur concentration sur l'essentiel.



< DANS LA VIE PRIVÉE

Choisir les traces que l'on laisse derrière soi

La plupart de nos activités en ligne sont enregistrées dans les mémoires de nos ordinateurs et des serveurs d'Internet. En garder une trace utile nécessite d'en supprimer régulièrement le superflu. L'idée émerge de doter certaines données d'une date de destruction à échéance fixée.

→ prescription organisent de longue date différentes formes juridiques d'oubli. Mais, pensés à des époques où il suffisait souvent de changer de ville ou de pays pour débiter une vie nouvelle, ils se révèlent impuissants à contrer le pouvoir qu'ont les technologies numériques de rappeler un passé qu'on croyait (et souhaitait) révolu.

Viktor Mayer-Schönberger, spécialiste en régulation de l'Internet à l'université d'Oxford, a étudié le cas d'Andrew

Que vont devenir toutes ces traces ? En France, le secrétariat d'Etat chargé de la Prospective et du Développement a, en 2010, proposé des "chartes du droit à l'oubli numérique" aux acteurs impliqués dans la publicité, aux sites collaboratifs et aux moteurs de recherche. Mais les deux poids lourds de l'Internet, Google et Facebook, ne les ont pas signées. Flairant un nouveau marché, des entreprises proposent de nettoyer à grands frais

insèrent dans leur code non seulement la possibilité d'oublier avec le temps, mais de faire de cet oubli le choix par défaut", écrivait-il dans un essai publié en 2007, imaginant par ailleurs la possibilité de créer des mécanismes numériques d'oublis encore plus proches des mécanismes humains, avec une altération progressive des données qui sont le moins utilisées.

La loi va-t-elle ainsi réimposer l'oubli ? D'autres spécialistes des nouvelles technologies, comme Louise Merzeau, maître de conférence en sciences de l'information et de la communication à l'université Paris-Ouest-Nanterre, considère qu'il faut plutôt sortir d'une logique de défiance, ne pas forcément chercher à détruire nos traces, mais réclamer des dispositifs qui rendent plus transparentes leurs utilisations. Mieux informer les citoyens sur l'usage qui est fait de ces traces, simplifier les procédures de vérification, d'effacement, de rectification et de recours et donner plus de moyens aux commissions de contrôle. Le débat ne fait que commencer. Mais le chemin sera long pour tourner définitivement la page à des siècles d'oubli subi, et accéder enfin à un oubli véritablement choisi.

De façon plus générale, le XXI^e siècle va devoir apprendre que la survie de notre histoire ne s'articule plus exclusivement autour de l'idée de la conservation d'un maximum de traces, mais également autour de celle que l'oubli est gage d'une meilleure mémorisation. Un immense changement dans nos habitudes de penser les choses. ■

L'enthousiasme de l'accumulation a trop vite occulté son complément indispensable : la sélection

Feldmar, un psychothérapeute canadien qui, en 2006, fut refoulé et interdit à vie d'entrée aux Etats-Unis parce qu'un douanier, en faisant une recherche sur Internet, était tombé par hasard sur un article écrit en 2001, dans lequel le thérapeute avouait avoir consommé du LSD, une drogue interdite aux Etats-Unis, dans les années 1960. Certes, Internet permet aussi de retrouver un ami perdu, mais en rendant notre passé aussi accessible que notre présent, en gommant l'effet du temps sur tout ce que nous faisons, l'univers numérique nous fige dans un éternel présent. Et ce, sans notre consentement. Or, je ne suis plus aujourd'hui celui que j'étais hier.

Les défenseurs des libertés individuelles y voient d'autant plus un risque que nos activités numériques laissent, à notre insu, un nombre toujours croissant de traces qu'enregistrent méticuleusement des automates : navigation, cartes bancaire ou de fidélité, SMS, tweets... Tout est enregistré, stocké par défaut dans des disques durs, pour être ensuite analysé par des algorithmes. Y compris nos déplacements, si le GPS de notre téléphone portable est activé. Un processus qui va s'amplifier avec l'Internet des objets : dans un avenir proche, de plus en plus d'objets de notre vie quotidienne seront connectés afin de multiplier les services offerts.

les traces numériques devenues trop gênantes, clichés, commentaires dommageables laissés un jour sur un site ou un forum. Car de plus en plus de particuliers se soucient désormais de leur "e-réputation".

L'OUBLI, UN "CHOIX PAR DÉFAUT"

La peur d'avoir perdu tout "droit à l'oubli" va-t-elle paralyser nos actes ? Oserons-nous encore nous exprimer librement si nous craignons que nos moindres discours, en public comme en privé, puissent être reproduits et utilisés éventuellement contre nous des décennies plus tard ? Viktor Mayer-Schönberger le redoute et propose d'organiser sans tarder un oubli numérique systématique. Comment ? En introduisant par exemple pour chaque donnée, chaque trace numérique laissée dans un ordinateur, une date d'expiration au-delà de laquelle elle serait automatiquement détruite. Techniquement, cela ne pose guère de difficulté : tout document numérique contient un certain nombre de métadonnées, comme le nom de son auteur, sa date de création... L'industrie des loisirs numériques dispose également de différentes techniques permettant de limiter l'utilisation que l'on peut faire d'un livre, d'un disque ou d'un film. "Le but premier de la loi que je propose est de s'assurer que ceux qui créent des logiciels pour collecter et stocker des données

Le mois prochain

Leçon n° 3

ESPÈCE HUMAINE

**Penser
diversité
plutôt que
uniformité**

EN PRATIQUE

126

BON À SAVOIR

En direct des publications scientifiques et autres rapports et études.

128

ZOOM DU MOIS

Pilule, stérilet, préservatif, patch... Toutes les méthodes de contraception à la loupe

134

QUESTIONS/RÉPONSES

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

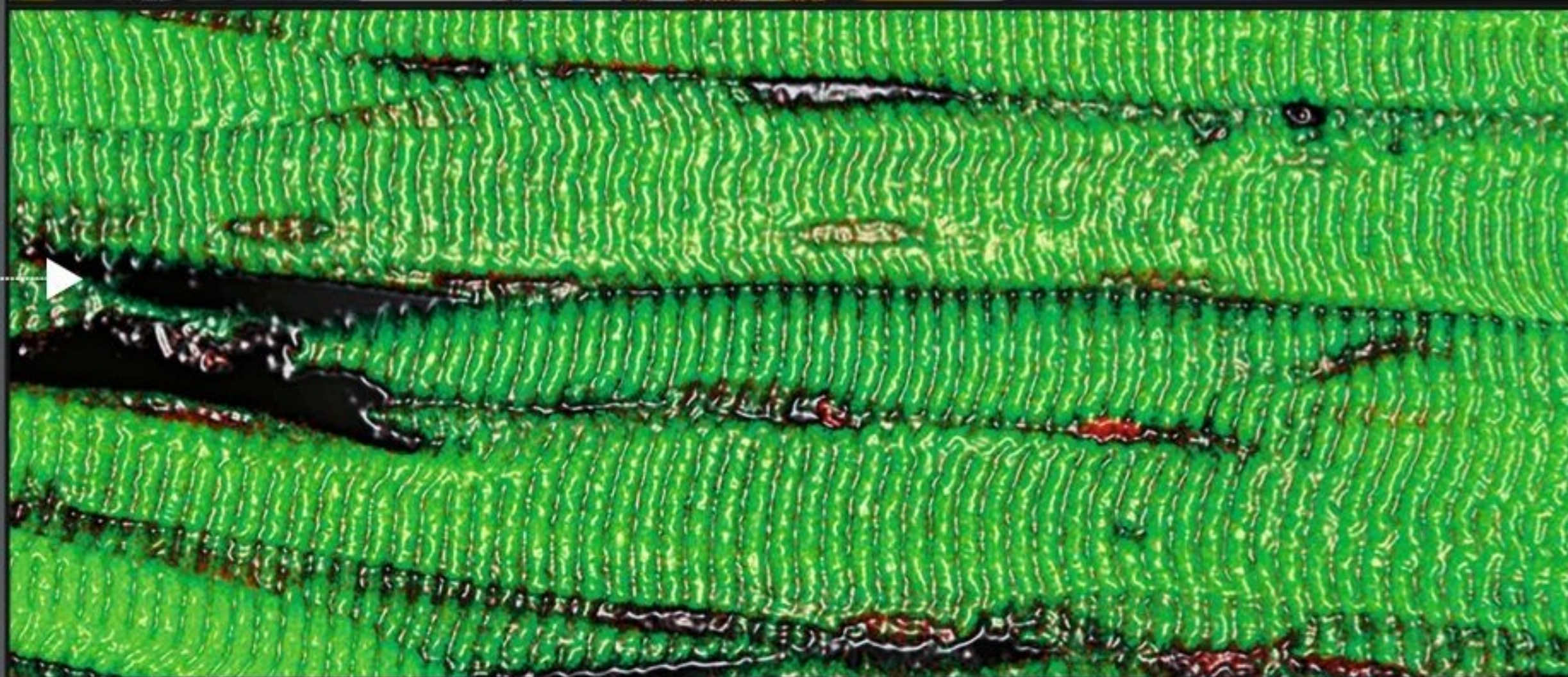
140

TECHNOFOLIES

Mieux que le wi-fi, voici l'Internet par la lumière... et les dernières innovations technologiques.

146

LE CIEL DU MOIS





EN PRATIQUE

BON À SAVOIR

L'EXCÈS DE YAOURTS NUIT

En France, les apports conseillés en calcium sont de 900 mg par jour (un bol de lait, un yaourt et une part de fromage). Mais un apport supérieur à 1400 mg augmente la mortalité, montre une étude réalisée sur 60 000 femmes. "BMJ", fév. 2013

PRATIQUER LE BÉNÉVOLAT EST BON POUR LE CŒUR

Deux mois de séances hebdomadaires de travail bénévole auprès de jeunes enfants ont suffi à améliorer l'état de santé cardiovasculaire d'une cinquantaine d'adolescents canadiens. Ces derniers présentaient, après l'expérience, moins de cholestérol et de protéines inflammatoires, et un indice de masse corporelle moins élevé que les adolescents n'ayant pas pu y participer. D'après les chercheurs, cet effet passerait par une amélioration de l'humeur des adolescents, dont il a déjà été suggéré qu'elle influence l'état de santé physique. "JAMA Pediatrics", fév. 2013



ENRHUMÉ, ON CONDUIT MOINS BIEN

En cas de rhume, nos réactions au volant sont aussi ralenties que si on avait bu trois verres d'alcool ! On aurait aussi tendance à rouler trop près des véhicules situés devant. "BMJ Open", juil. 2012

ASSOCIER THÉ ET CAFÉ PRÉVIENT MIEUX D'UN AVC

Pour prévenir les accidents vasculaires, cérébraux ou cardiaques, une tasse de café par semaine et plus de deux tasses de thé vert par jour sont plus efficaces que les mêmes doses de thé ou café prises de manière exclusive. "Stroke", mars 2013

SOIGNEZ LES MOTS DE PASSE DE VOS MOBILES

Sur les téléphones mobiles, les mots de passe, trop courts ou trop simples, sont moins sûrs que ceux des ordinateurs. La faute aux caractères spéciaux moins accessibles. Inquiétant quand on sait que les 1000 mots de passe les plus utilisés sur un ordinateur, une tablette ou un téléphone permettent d'accéder à plus de 90 % des services sécurisés sur Internet (compte en banque, mails, réseaux sociaux). Et les écrans tactiles n'arrangent rien : taper un mot de passe demande entre 7 et 30 secondes contre 4 à 5 secondes sur un ordinateur ! Un temps qu'il vaut mieux savoir prendre... Deloitte, fév 2013





ON SE SORT UN AIR DE LA TÊTE GRÂCE AUX ANAGRAMMES

Certaines chansons ont le don de rester dans la tête... une expérience qui, au bout d'un certain temps, peut devenir franchement désagréable. Des chercheurs viennent donc de tester plusieurs solutions pour s'en débarrasser. La meilleure, après analyse: s'engager dans une activité intellectuelle légère, et si possible impliquant la manipulation de mots. Les anagrammes étant un exemple parfait. Attention, cependant: si l'activité est trop complexe, la petite chanson risque alors de revenir... "Appl. Cognit. Psychol.", mars 2013

L'ÉPILATION PUBIENNE N'EST PAS SANS DANGER

Les hommes et femmes s'épilant ou se rasant la zone génitale pourraient avoir un risque plus élevé de contracter certaines MST bénignes, telles que les condylomes. Les micro-traumatismes de la peau favoriseraient le phénomène. "BMJ", mars 2013

UNE NOUVELLE "APPLI" IDENTIFIE LES PLANTES

Elle permet d'identifier la flore grâce à des photos de n'importe quelle plante, fleur, feuille, tige ou écorce de France métropolitaine, que l'on peut partager sur Internet. Gratuite, elle est déjà disponible sur l'iPhone. Pl@ntnet, CIRAD-Agropolis, fév 2013

LA GROSSESSE DONNE LES PIEDS PLATS

Une pression accrue sur les pieds durant la grossesse (surtout la première) peut conduire à un affaissement définitif de la voûte plantaire, augmentant le risque de troubles musculo-squelettiques. A surveiller pendant et après. "Am. J. Phys. Med. & Rehab.", mars 2013

LE JEU VIDÉO AIDE LES DYSLEXIQUES

Les jeux vidéo d'action, un nouvel outil thérapeutique contre la dyslexie? Seulement 12 heures de pratique de ces jeux, à raison de 9 sessions de 80 min, ont suffi à des enfants dyslexiques âgés de 10 ans à mieux lire, et plus efficacement que s'ils avaient travaillé avec des méthodes orthophoniques traditionnelles! En stimulant leur attention visuelle, les jeux vidéo d'action entraînent les enfants à extraire rapidement l'information contenue dans les mots écrits. Leur utilisation contrôlée pourrait être préconisée pour réduire les symptômes de la dyslexie, voire en prévention chez les enfants à risques. "Current Biol.", mars 2013





EN PRATIQUE

ZOOM DU MOIS

Par Alix Laymand

PILULE, STÉRILET, PRÉSERVATIF, PATCH...

Toutes les méthodes de contraception à la loupe

La vie des Françaises est régulée par un schéma contraceptif rarement remis en cause : un manque d'informations mis en lumière par le débat sur les pilules de 3^e et 4^e générations. Méthodes, efficacité, risques... Le point s'impose.

En cinquante ans, depuis la légalisation de la pilule par la loi Newirth en 1967, les femmes et les couples ont appris à maîtriser la procréation. Au fil des années, la France a adopté une "norme" contraceptive qui régule toute la vie des femmes. Soit, l'utilisation du préservatif au tout début de la vie sexuelle (entre 15 et 19 ans); puis un recours massif à la pilule pour près de 71 % des jeunes femmes de moins de 35 ans; avant un passage progressif

au stérilet après avoir eu des enfants (plus de 43 % des femmes après 40 ans).

UNE "NORME" FRANÇAISE

Cette norme, basée sur une formation médicale très axée sur le recours à la pilule et sur des habitudes culturelles, n'est pas partagée par tous les pays (voir encadré). "Il semblait difficile jusqu'à présent de sortir de ce schéma, devenu une habitude pour les femmes et les professionnels", explique Delphine

Giraud, sage-femme à La Pitié-Salpêtrière. C'était avant décembre dernier et le grand débat sur le risque deux fois plus important d'accident vasculaire associé aux pilules de 3^e et 4^e générations, mises sur le marché depuis les années 1990.

De fait, la plainte d'une jeune femme victime d'un AVC alors qu'elle prenait l'une de ces pilules a déclenché une vague d'inquiétude sans précédent. Pour l'instant, on ne peut cependant pas parler d'un bouleversement des habitudes chez les Français(es), même si une baisse de 25 % des ventes de ces pilules a été signalée par les pharmacies en février.

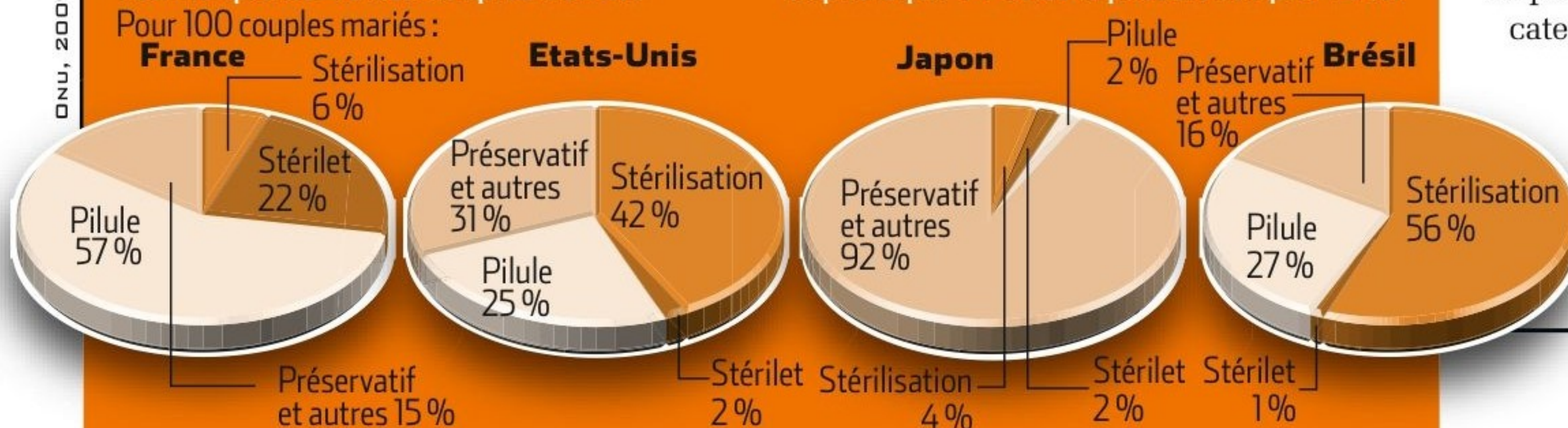


Pour autant, dans les cabinets médicaux, les patientes semblent enfin s'intéresser à d'autres méthodes contraceptives. A commencer par le stérilet. "Dans notre centre de santé, des étudiantes viennent nous voir après avoir essuyé un refus de leur gynécologue", souligne le médecin Mathilde Lafeyssse. Sa pose peut se révéler délicate chez les plus jeunes, mais c'est surtout "le milieu médical [qui] reste conservateur: il se représente les jeunes comme très frivoles et

Des usages qui varient d'un pays à un autre

Si tous les pays ne privilégient pas les mêmes pratiques contraceptives, l'Institut national d'études démographiques (Ined) estime que 63 % des couples dans le monde utilisent un moyen de contraception. La stérilisation est utilisée par 30 % d'entre eux, le stérilet par 23 %, la pilule par 14 % et le préservatif par 12 %.

Pour 100 couples mariés :





leurs connaissances ne sont pas toujours à jour”, confie Delphine Giraud.

Alors? Faut-il mettre en place une éducation ciblée pour la population et les professionnels? Ou une pharmacovigilance renforcée? Une chose est sûre, les femmes (et les hommes) doivent pouvoir être informés de manière claire et juste pour enfin trouver la meilleure contraception: celle qui leur ira et qu'ils auront pu choisir en toute conscience. Mode d'emploi, efficacité... pour chacune, nous vous disons tout.



Le préservatif féminin ou masculin

QU'EST-CE QUE C'EST? Les préservatifs masculin et féminin fonctionnent sur le même principe. Il s'agit d'une petite gaine en latex ou en matière plastique destinée à retenir le sperme de manière mécanique. Il suffit de poser le préservatif sur le pénis, ou dans le vagin, avant toute pénétration. Si l'usage du préservatif féminin reste rare, celui du préservatif masculin a connu un large essor en France dans les années 1980 avec la sur-

venue de l'épidémie de sida... Il constitue en effet la seule barrière contre de nombreuses maladies sexuellement transmissibles (*Chlamydiae*, hépatite B, blennorragie...). En France, une jeune fille sur deux entre 15 et 17 ans utilise le préservatif comme moyen de contraception, et dans 15 % des cas l'associe à la pilule. Si on considère toutes les catégories d'âge confondues, les femmes ne sont plus que

Efficacité

85% à 98%

12,2 % à recourir au préservatif seul, et seulement 4,6 % à l'associer encore à la pilule.

AVANTAGES / INCONVÉNIENTS

Le préservatif féminin ou masculin reste à ce jour la seule protection contre les maladies sexuellement transmissibles. Mais sa mauvaise utilisation (pose, rupture, taille...) affecte son efficacité.



Les pilules contraceptives

QU'EST-CE QUE C'EST ? Composées d'hormones synthétiques (œstrogènes et progestatifs), les pilules bloquent l'ovulation. Ce contraceptif oral, prescrit par un médecin ou une sage-femme, doit être pris tous les jours pendant 3 ou 4 semaines et, généralement, à heure fixe. Il existe 4 générations de pilules, classées en fonction de leur date d'arrivée sur le marché et de leur composition. Pour une première prescription, les pilules de 1^{re} ou de 2^e généra-

tion sont à privilégier, celles de 3^e et 4^e générations étant réservées à des femmes qui supportent mal les effets indésirables des deux générations précédentes (acné, maux de ventre...). En effet, ces pilules plus récentes exposent à un risque d'accident cardiovasculaire deux fois supérieur à celui des anciennes. Mais il faut savoir que toutes les pilules augmentent ce risque. Ainsi, le risque de développer un caillot dans les veines des jambes, pouvant aboutir à une

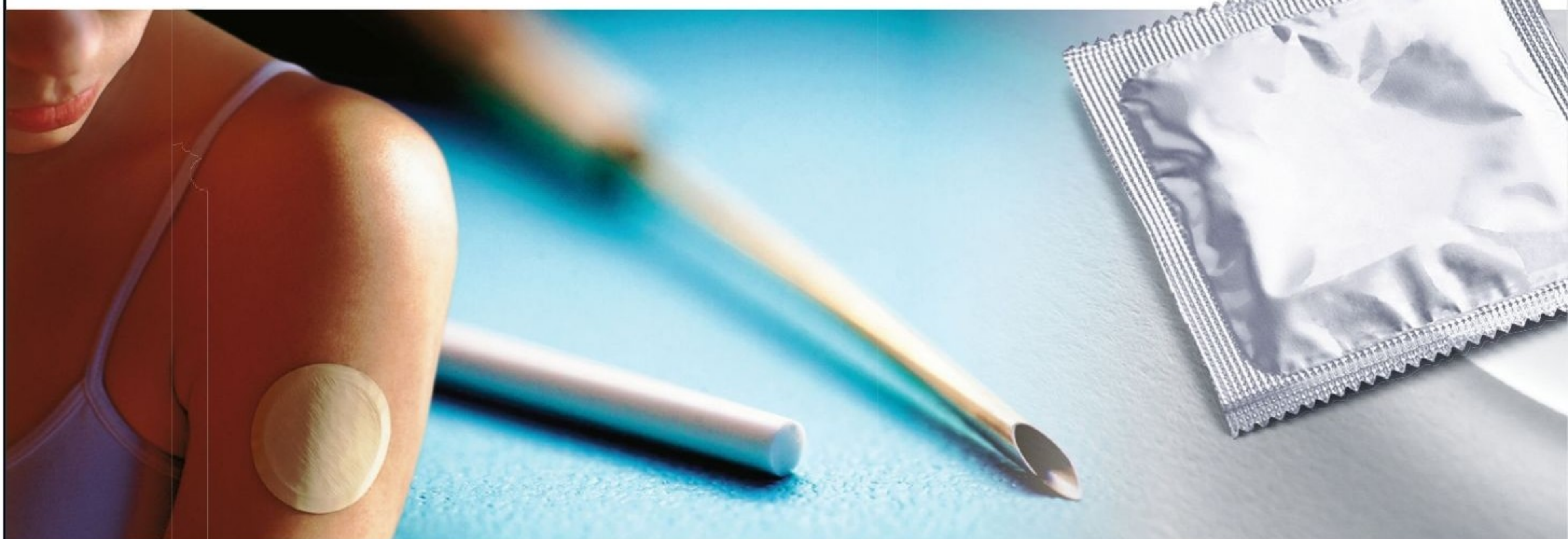
embolie pulmonaire, est de 2 pour 10 000 femmes pour les pilules de 2^e génération, contre 3 à 4 pour 10 000 pour les pilules de 3^e génération. A titre de comparaison, chez une femme qui ne prend pas la pilule, ce risque est estimé à 0,5 ou 1 pour 10 000, mais il grimpe à 6 si elle est enceinte. Les risques associés aux pilules sont donc graves, mais rares. Bien prescrite et bien utilisée, la pilule reste ainsi un moyen de contraception sûr mais contraignant. En 2010,

elle était utilisée par 45 % des Françaises de 15 à 49 ans.

Efficacité
99%

AVANTAGES / INCONVÉNIENTS

C'est un moyen de contraception réversible et très fiable, dont l'efficacité peut cependant diminuer fortement si on l'oublie ou si on la prend à heures décalées. La pilule peut avoir des effets indésirables mineurs (nausées, maux de ventre, acné...) et augmenter les risques cardio-vasculaires.



L'implant

QU'EST-CE QUE C'EST ? Il s'agit d'un petit bâtonnet de 4 cm de longueur qui se place sous la peau du bras, où il délivrera une hormone pendant trois ans qui va bloquer l'ovulation. Il ne contient que des hormones progestatives, comme certaines pilules dites microdosées. Une anesthésie locale chez le gynécologue permet une pose rapide et indolore. Environ 2,6 % des Françaises entre 15 et 49 ans l'utilisent aujourd'hui.

AVANTAGES / INCONVÉNIENTS Il agit très vite, dans les vingt-quatre heures après la pose, et pour plusieurs années. S'il entraîne moins de risques cardio-vasculaires que les pilules de 2^e, 3^e et 4^e générations, il peut aussi être à l'origine de douleurs au niveau du point d'insertion, d'acné, de prise de poids et, pour 8 femmes sur 10, de modifications du rythme des règles.

Efficacité
99%



La stérilisation masculine

QU'EST-CE QUE C'EST ? C'est la seule méthode irréversible. Longtemps interdite en France, il a fallu attendre 2001 pour que les autorités reconnaissent et encadrent légalement la stérilisation comme une méthode de contraception féminine et masculine. Chez la femme, il s'agit de bloquer le passage des ovocytes dans les deux conduits par lesquels ils rejoignent l'utérus (trompes

de Fallope). Deux méthodes existent. La ligature est la plus ancienne et la plus invasive : elle s'opère par voie chirurgicale, sous anesthésie à l'hôpital. Son action est immédiate. Autre technique, mise en place depuis 2002 : insérer un micro-implant dans chaque trompe, ce qui provoque la formation d'un bouchon en trois mois environ. En 2010, seules 4,2 % des femmes de 15 à 49 ans



Le dispositif intra-utérin (stérilet)

QU'EST-CE QUE C'EST ? Posé par un gynécologue, ce dispositif en forme de T de 3 cm environ est inséré dans l'utérus. Il provoque une inflammation locale qui empêche les spermatozoïdes de s'y loger et de féconder l'ovule. Il existe deux types de stérilet : en cuivre ou hormonal (qui délivre localement un progestatif qui bloque l'ovulation). Ils permettent d'éviter une augmentation des risques cardiovasculaires et la durée de leur efficacité varie de trois à

cinq ans. Aujourd'hui encore, on imagine souvent que le stérilet est réservé aux femmes ayant déjà eu des enfants : on invoque des raisons d'inconfort lors de la pose ou de risques d'infections gynécologiques pour ne pas le proposer aux jeunes femmes. De plus, même si le nom de "stérilet" peut porter à confusion (on préfère d'ailleurs parler de "dispositif intra-utérin"), toutes les études récentes montrent qu'il ne favorise pas les infections et ne rend pas

stérile. En outre, la plus petite taille des stérilets en cuivre leur permet d'être posés chez des femmes jeunes et qui n'ont pas eu d'enfants, ce que préconise d'ailleurs la Haute autorité de santé depuis 2004. Le stérilet en cuivre peut cependant entraîner des règles douloureuses et abondantes, c'est pourquoi les médecins hésitent parfois à le poser chez des femmes ayant déjà ce type de problème. Pour démocratiser son emploi, il faudrait disposer de stérilets aux hor-

mones de petite taille qui n'exposeraient pas à cet inconvénient.

20,7 % des Françaises de 15 à 49 ans utilisaient ce mode de contraception en 2010.

AVANTAGES / INCONVÉNIENTS

C'est la méthode la plus efficace à long terme. Il se pose rapidement, n'impose pas d'y penser (comme la pilule) ni de le surveiller. Mais il provoque parfois un malaise vagal lors de la pose, une expulsion ou des troubles des règles.

Efficacité
99%



et féminine

avaient opté pour la stérilisation. Chez l'homme, on parle de vasectomie. Cette technique consiste à bloquer la sortie des spermatozoïdes des testicules en ligaturant par voie chirurgicale leur canal d'évacuation. Très peu répandue en France, la vasectomie existe pourtant depuis plus de deux siècles. Aux États-Unis, elle est même considérée comme une méthode de contraception à part entière

Efficacité

99,5% à 99,9%

depuis les années 1960. Contrairement à certaines craintes masculines, la stérilisation ne modifie pas l'érection ou l'éjaculation.

AVANTAGES / INCONVÉNIENTS

Une contraception sans risques, sinon opératoires, considérée comme définitive (les opérations pour restaurer la fertilité sont le plus souvent vouées à l'échec).



Le patch

QU'EST-CE QUE C'EST ? Ce patch, prescrit par un gynécologue, est collé sur la peau où il libérera des hormones œstroprogestatives qui, comme dans le cas de la pilule, bloquent l'ovulation. Il est posé pour trois semaines et enlevé la quatrième. Seulement 0,4 % des femmes françaises entre 15 et 49 ans auraient recours à ce type de contraception.

AVANTAGES / INCONVÉNIENTS La pose est facile et le risque d'oubli limité. Il entraîne de très rares allergies cutanées. Il est moins efficace sur les femmes obèses, et les risques cardio-vasculaires sont exactement les mêmes qu'avec la pilule. Certains patchs, dont la composition est comparable à celle des pilules de 3^e génération, ne doivent pas être utilisés en première intention.

Efficacité
99%



L'anneau vaginal

QU'EST-CE QUE C'EST ? Prescrit par un gynécologue, c'est un anneau souple de 5 cm de diamètre que les femmes déposent dans leur vagin. Il y libère des hormones œstro-progestatives qui vont bloquer l'ovulation. Posé pour trois semaines, il doit être retiré la quatrième, mais durant cette dernière semaine, son utilisatrice reste protégée. A peine 1 % des Françaises ont recours à ce mode de contraception.

Efficacité

92 % à 99 %

AVANTAGES / INCONVÉNIENTS

Il y a peu de risque d'oubli, car cette méthode ne nécessite d'y penser que deux fois par mois : pour le poser et pour l'enlever. La pose peut être un peu compliquée dans les premiers temps. Les risques vasculaires sont exactement les mêmes qu'avec la pilule.



Autres moyens

QU'EST-CE QUE C'EST ? D'autres méthodes existent, mais leur efficacité est bien inférieure. C'est le cas des méthodes dites "naturelles" qui consistent à éviter les relations sexuelles pendant la période de fertilité supposée de la femme. Pour repérer cette période, celles-ci peuvent soit prendre leur température quotidiennement, soit utiliser des tests d'ovulation... Pour les gynécologues, ce n'est pas un moyen de contraception, mais une méthode d'espacement des naissances. D'autres méthodes contraceptives existent, mais restent peu demandées par les femmes : il s'agit des diaphragmes et des spermicides.

AVANTAGES / INCONVÉNIENTS L'avantage de ces méthodes est qu'elles n'impliquent ni hormone ni dispositif implanté. Mais elles sont contraignantes et d'une efficacité médiocre.

Efficacité

environ 75 %



La contraception d'urgence

QU'EST-CE QUE C'EST ? La contraception d'urgence s'utilise s'il y a eu risque de fécondation lors d'un rapport sexuel. Il en existe de deux sortes. Soit hormonale, comme "la pilule du lendemain" : c'est un comprimé à prendre au maximum 5 jours après le rapport selon les pilules utilisées. Elles contiennent des hormones progestatives qui peuvent agir de deux façons. En bloquant l'ovulation : si le rapport a eu lieu avant l'ovulation, la pilule

du lendemain bloque l'ovulation, et il n'y aura donc pas fécondation. Ou en stoppant la nidification : si le rapport a eu lieu après l'ovulation, la pilule du lendemain empêchera que l'œuf fécondé aille se nicher dans la paroi de l'utérus et s'y développer. Avec ou sans ordonnance, elle se trouve en pharmacie et est gratuite pour les mineures. Mais cette méthode ne remplace pas un mode de contraception régulier. Le stérilet en cuivre peut

aussi servir de contraception d'urgence s'il est posé au maximum 5 jours après le rapport à risque. Sa présence au fond de l'utérus crée une inflammation locale qui permet de neutraliser les spermatozoïdes et l'ovocyte.

AVANTAGES / INCONVÉNIENTS

Il faut les utiliser rapidement, dans les jours qui suivent le rapport, au risque de voir leur efficacité diminuer grandement. Des nausées sont fréquemment associées à la

STÉRILET EN
CUIVRE

Efficacité

Avant 5 jours

99 %

PILULE DU
LENDEMAIN
Le 1^{er} jour

95 %

Entre le 3^e et
le 5^e jour

58 %

pilule du lendemain. Pour le stérilet, il peut y avoir un inconfort à la pose, une expulsion et un trouble des règles chez certaines femmes.

Olnet

LE MAGAZINE DE LA HIGH-TECH PLAISIR

NOUVEAU



© Olly - Fotolia.com

De Bonneville Orlandini



**PLUS DE 100 PAGES D'ENQUÊTES INÉDITES, DE TESTS,
DE DOSSIERS PRATIQUES ET DE CONSEILS SHOPPING.**

Un jeudi sur deux, en vente chez votre marchand de journaux.
Disponible aussi sur tablette sur l'application lekiosk. **3€ seulement.**



EN PRATIQUE

QUESTIONS RÉPONSES



Finally, le cholestérol est-il oui ou non dangereux?

Question de Mourad Machou, Montmorancy (95)

La controverse très médiatisée autour du livre *La vérité sur le cholestérol* du Pr Philippe Even est sans doute à l'origine de votre perplexité... En effet, cet ouvrage assène que "*le cholestérol est sans danger*", reprenant une thèse déjà développée par le chercheur du CNRS Michel de Lorge-ril (voir S&V n° 1088, p. 96).

Elle a provoqué une levée de boucliers des sociétés savantes et des associations de lutte contre les maladies cardio-vasculaires, qui s'inquiètent de voir des patients incités à arrêter leur traite-

ment. Dans sa croisade, le pneumologue n'est pourtant pas totalement isolé, la polémique étant alimentée par le réseau Thincs (The international network of cholesterol skeptics), qui estime que le cholestérol doit être considéré non comme un facteur de risque, mais comme un indicateur d'un mode de vie à risque. Alors que croire?

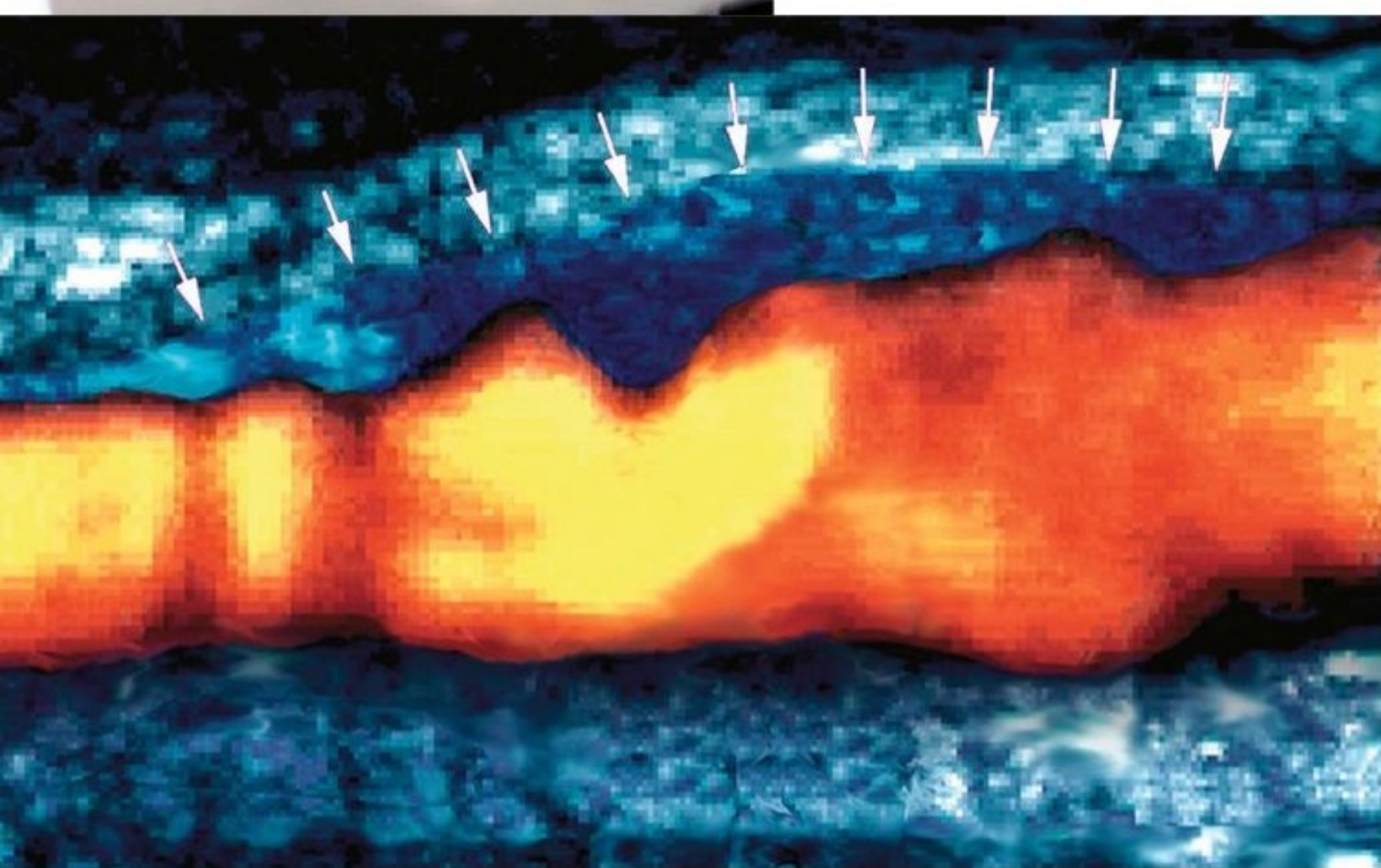
UN RÔLE ENCORE OBSCUR

Et d'abord, qu'est-ce que le cholestérol? Loué par le Pr Even comme "*la plus prodigieuse des molécules*", il entre dans la constitution des membranes des cellules, permet la fabrication d'hormones et de vitamine D et participe à la production de la bile. Fabriqué par le foie, le cholestérol, qui n'est pas soluble, est associé à des lipoprotéines dans le sang. Schématiquement, il existe sous deux formes: les LDL (low density lipoproteins), ou lipoprotéines de basse densité, sont transportées depuis le foie vers les tissus; tandis que les HDL (high density lipoproteins) le ramènent vers le foie, où il est recyclé et éliminé. Ce cholestérol LDL étant celui qui est dési-

gné comme "mauvais cholestérol" parce qu'en excès, il favoriserait la formation de dépôts dans la paroi des artères (plaques d'athérome). A l'opposé, les HDL sont du "bon cholestérol".

Et voilà bien le cœur de la polémique: le Pr Even se dit convaincu qu'"il n'y a aucun lien expérimentalement démontré de causalité directe entre cholestérol et athérome". Il considère que l'athérome est avant tout une maladie inflammatoire. En effet, on sait aujourd'hui que l'obstruction des vaisseaux ne résulte pas de leur simple "encrassement" par le cholestérol, mais de l'évolution complexe des plaques, qui, au fil du temps, se transforment en lésions inflammatoires fibreuses, contenant du cholestérol mais aussi des acides gras. Lorsque l'une se fissure, un caillot se forme: c'est l'accident aigu. Un phénomène dépendant des gènes et favorisé par l'hypertension artérielle, le tabagisme et le diabète, mais, selon le Pr Even, non par le cholestérol.

"Les graisses saturées et le cholestérol alimentent les plaques, rectifie le →



➤ C'est le rôle exact des plaques d'athérome – dépôts sur la paroi artérielle (flèches) – qui fait débat.



→ Pr Danchin, chef du service de cardiologie à l'hôpital Georges-Pompidou. *Sans cholestérol, pas d'athérome! Les autres facteurs de risque interviennent dans un second temps.* Et le Pr Eric Bruckert, endocrinologue à la Pitié-Salpêtrière (Paris), de reprendre: *"Le dépôt de cholestérol s'effectue sur des décennies. L'inflammation joue un rôle clé dans l'instabilité de la plaque évoluée, mais ne rend pas compte à elle seule du risque."*

Si les scientifiques s'opposent aussi radicalement, c'est que le rôle exact du cholestérol n'est pas encore totalement éclairci. Ainsi, à taux de cholestérol et autres facteurs de risque égaux, l'incidence des pathologies cardio-vasculaires varie, la mortalité coronaire étant en particulier nettement plus basse en France que dans les pays anglo-saxons ou dans le nord de l'Europe. Ce "french paradox" innocent-t-il pour autant le cholestérol? Non, mais il souligne que des facteurs protecteurs peuvent conférer

une certaine résistance à ses effets, qu'ils relèvent de la génétique ou du style de vie – on a étudié les vertus de l'activité physique, du vin rouge, de l'huile d'olive, de l'ail... Reste que le poids du cholestérol dans le risque n'est pas le même pour tout le monde, et que les taux cibles, établis à partir d'un risque théorique calculé, font encore débat. L'axiome "le meilleur taux, c'est le plus bas" est loin de faire l'unanimité. Le rôle exact du "bon" cholestérol est aussi discuté.

Pour autant, on ne peut pas affirmer que le cholestérol ne joue aucun rôle dans l'infarctus du myocarde. *"Des études isolées peuvent prêter à la critique. Mais lorsqu'on regarde l'ensemble des données – issues non seulement des études épidémiologiques et cliniques, mais aussi de la génétique et de la physiopathologie de la plaque – on constate qu'elles sont extrêmement solides: la force du lien entre cholestérol LDL et maladies cardio-vasculaires est clairement établie"*, résume Eric Bruckert. **M.M.**

LES STATINES ACCUSÉES

Selon le Pr Even, les études sur le cholestérol seraient truquées par l'industrie pharmaceutique, qui assure ainsi la promotion des statines, médicaments très utilisés pour traiter le cholestérol. De fait, leur action sur le risque cardio-vasculaire a parfois été surestimée et le périmètre de leur prescription pose question. 6 millions de Français y ont recours, parfois en dépit des recommandations – arrêt du tabac et mesures diététiques ne sont souvent même pas évoqués. Même la très modérée Haute autorité de santé (HAS) s'inquiète *"de leur usage abusif en prévention primaire"*. Ce procès laisse de côté des études et expertises indépendantes qui appuient le rôle délétère du cholestérol LDL (Interheart...) et le bénéfice des statines pour certaines populations.

A quoi sont dus de beauté?

Question de Vincent Decaux, Lille (59)

Si une personne sur cent seulement naît avec des grains de beauté, ils n'apparaissent que plus tard chez la majorité d'entre nous. Les raisons? Une forte exposition au soleil et certains gènes. La plupart des grains de beauté – dits aussi naevi – se forment en effet entre 1 an et demi et 40 ans, avec un pic à l'adolescence.

Lisses, charnus, circulaires... L'aspect des grains de beauté est très variable. Physiologiquement, ils résultent d'une prolifération plus intense, bénigne et localisée, des mélanocytes, des cellules pigmentées responsables du bronzage (voir infographie). Ils sont donc distincts des mélanomes

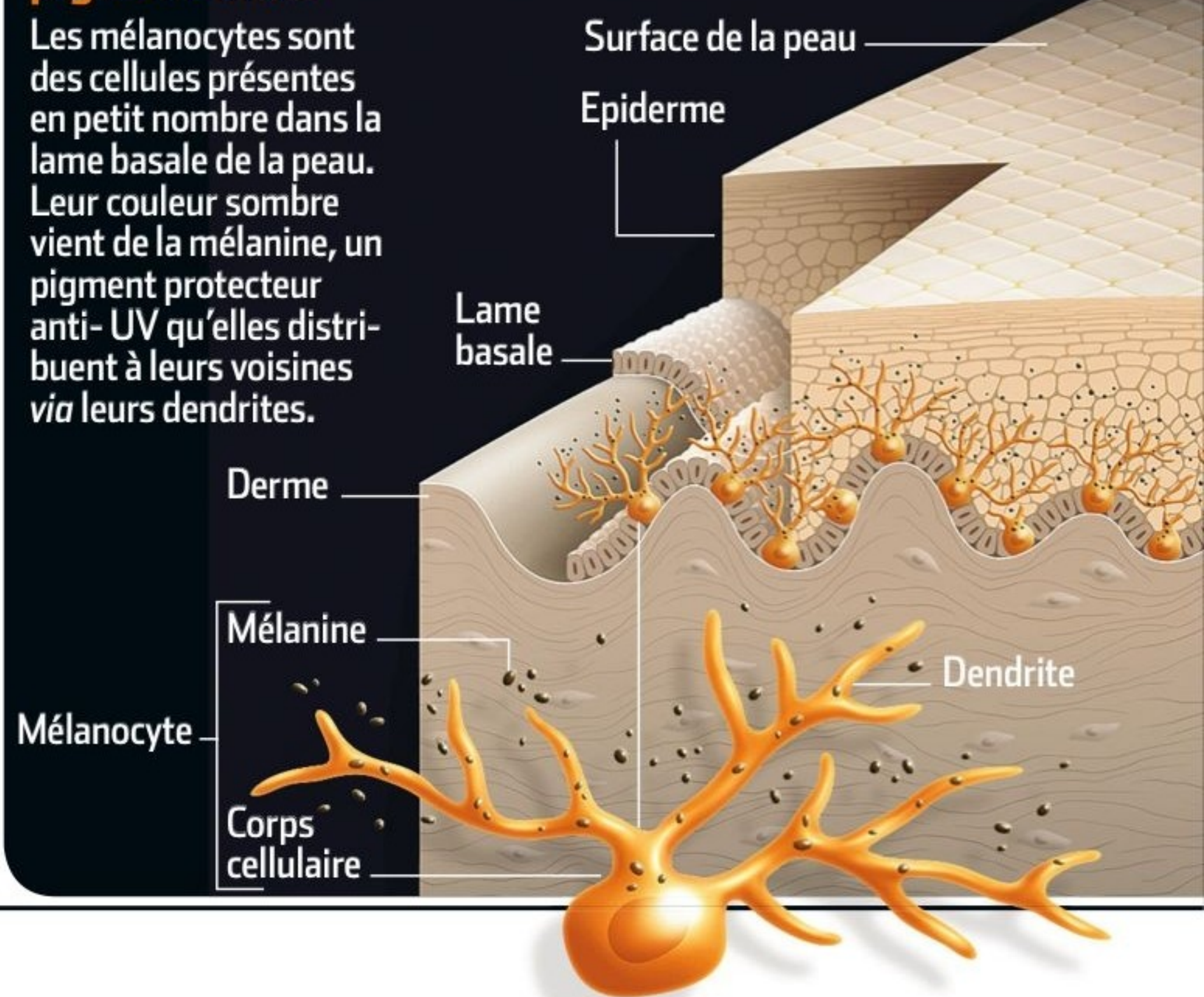
(cancers de la peau) qui correspondent à une multiplication cancéreuse des mélanocytes, qui migrent et répandent le cancer dans tout l'organisme.

La prolifération bénigne des mélanocytes est souvent due à de petites modifications de certains de leurs gènes. La plus fréquente concerne le gène de la protéine BRAF qui régule la prolifération des cellules. Une mutation inoffensive, à la différence d'autres altérations de l'ADN propres au mélanome.

Si certaines études ont suggéré que ces mutations peuvent découler d'une forte exposition au soleil pendant l'enfance, le niveau

1 Sous la peau, des cellules pigmentées...

Les mélanocytes sont des cellules présentes en petit nombre dans la lame basale de la peau. Leur couleur sombre vient de la mélanine, un pigment protecteur anti-UV qu'elles distribuent à leurs voisines via leurs dendrites.



les grains

et la durée d'exposition minimums favorisant les grains de beauté ne sont pas précisément connus. On sait juste qu'ils sont plus faibles chez les personnes prédisposées génétiquement à développer beaucoup de grains de beauté.

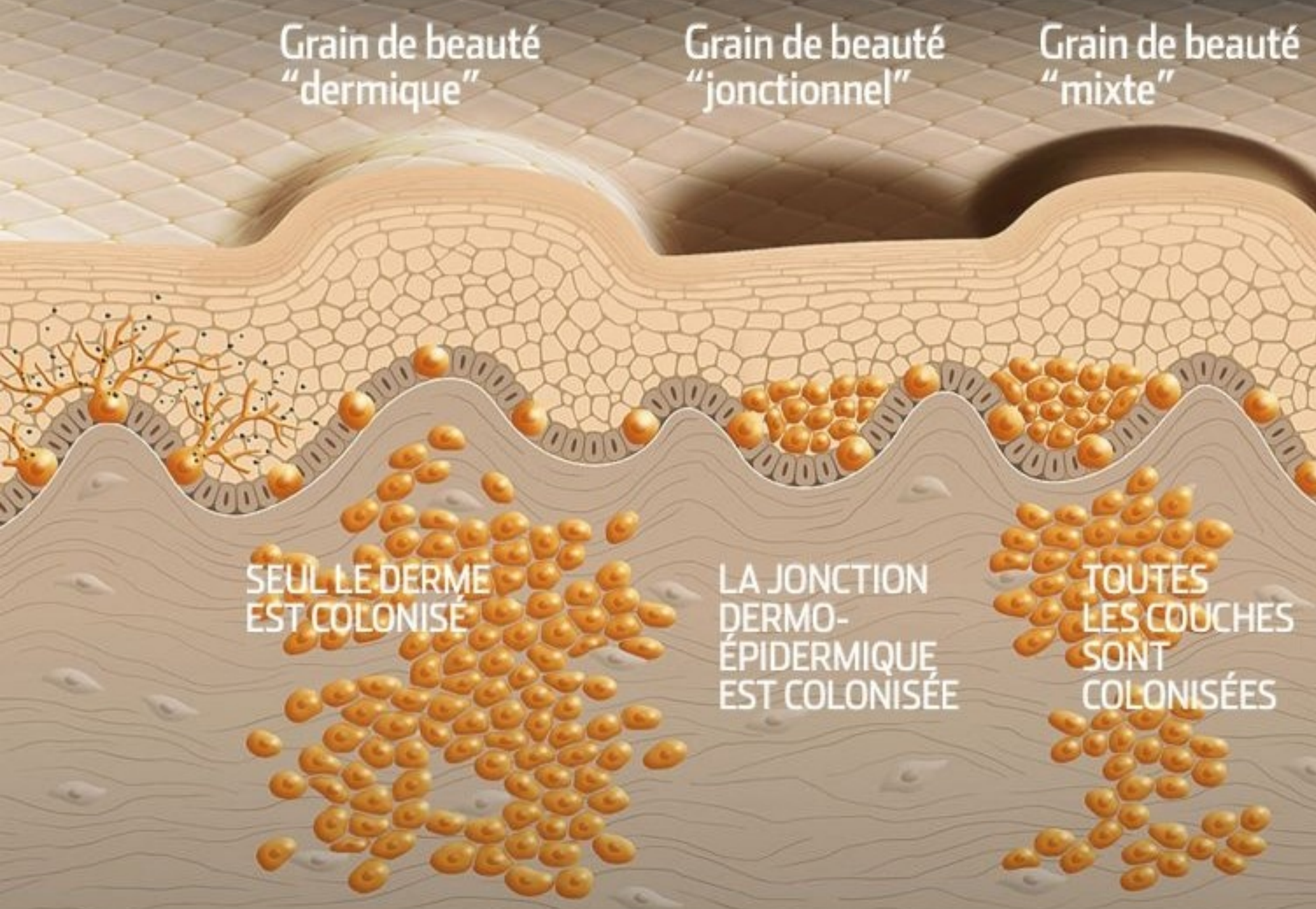
GÈNES DE PRÉDISPOSITION

"Complexe, la prédisposition est liée à plusieurs gènes encore mal définis", précise Thierry Passeron, chercheur et dermatovénéréologue au CHU de Nice. Les individus concernés ont souvent des cheveux blonds ou roux, un teint et des yeux clairs; de nombreuses taches de rousseur; et sont souvent sujets aux coups de soleil. "On pense que chez eux, il existe des mélanocytes programmés

pour former des nævi, qu'ils soient exposés au soleil ou non", explique Georges Reuter, vice-président du syndicat des dermatologues-vénéréologues. Voilà pourquoi certaines personnes ont des grains de beauté sans s'être exposées aux UV. A l'inverse, "chez certains, cette prédisposition génétique nécessiterait toujours une 'activation' par une forte exposition".

Soleil et génétique sont aussi les deux facteurs qui favorisent la transformation d'un grain de beauté en un cancer de la peau – ce pourquoi les médecins les observent à la loupe. Mais seuls de 20 à 25 % des mélanomes sont issus d'une telle transformation. La plupart surviennent en dehors de tout grain de beauté. **K.B.**

2... se regroupent, provoquant des taches
Ces mélanocytes prolifèrent parfois et se regroupent en amas de milliers de cellules sombres qui tachent la peau : les grains de beauté. Il en existe 3 types selon la zone qu'ils colonisent.



Comment l'eau des océans crée-t-elle les nuages ?

Question de Nadia Drici, Marseille (13)

Tout simplement parce que l'eau des mers (des rivières, des flaques...) n'a pas besoin d'atteindre 100 °C pour passer à l'état gazeux. A pression ambiante et à 100 °C, l'eau liquide se transforme totalement en vapeur d'eau. Mais en dessous de 100 °C, et à pression ambiante, l'eau coexiste à l'état gazeux et à l'état liquide. Les deux "phases" de l'eau sont en équilibre. *"Il suffit que l'eau dépasse 0 °C pour s'évaporer", explique Albin Ullmann, de l'université de Bourgogne. Et plus elle est chaude, plus elle a d'énergie, et plus l'évaporation est active.*

Sachant, précise le chercheur, *"qu'il ne faut pas confondre le phénomène d'ébullition, qui se produit 'à l'intérieur' du liquide avec la formation de bulles, avec celui d'évaporation, en surface, qui n'est pas directement perceptible, d'où son autre nom de flux de 'chaleur latente'".* A condition que l'air ne soit pas déjà rempli de vapeur d'eau (plus

l'air est humide, moins l'eau s'évapore, d'autant plus qu'il est froid), les liaisons unissant les molécules d'eau vont se briser, et celles-ci se diffuser. En s'élevant, ce gaz se condense, sous l'effet du froid et de la saturation de l'air en vapeur d'eau, et forme des gouttelettes : les nuages. Les meilleures conditions d'une évaporation sont une eau chaude et une atmosphère sèche et chaude. Le vent joue donc un rôle important : en éloignant l'air humide de la source d'eau, il entretient l'évaporation. C'est pour cela que le linge sèche quand on l'étend, même lorsqu'il fait frais et mauvais temps. *"A l'équateur, il y a peu de vent et l'air est donc saturé en vapeur d'eau... L'évaporation n'y est pas maximale, quand bien même c'est là que l'énergie solaire est la plus forte",* ajoute Albin Ullmann. Chaque seconde, 16 milliards de litres d'eau s'évaporent des océans sous l'effet du soleil. **G.S.**

GAGNEZ UN ABONNEMENT D'UN AN À

SCIENCE & VIE

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

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



Que deviennent les ballons-sondes après leur mission ?

Question de G. Duquette, Temiscouata, Québec

Tout dépend du type de ballon. Inutilisables une fois retombés, ceux lancés par les services météo pour mesurer dans l'atmosphère température, humidité, etc., sont souvent récupérés par des "chasseurs de ballons", qui les collectionnent. Si tel n'est pas le cas, ils retombent sur terre ou en mer, ralentis par un parachute.

Plus sophistiqués, les ballons stratosphériques, tels ceux utilisés par le Centre nationale d'études spatiales (Cnes) pour étudier les composés de la haute atmosphère terrestre ou de l'espace, eux, sont toujours récupérés par les chercheurs eux-mêmes.

Les ballons de Météo France et du Cnes sont constitués de la même "chaîne de vol" : le ballon lui-même, généralement gonflé à l'hélium, auquel sont accrochés un parachute, un système permettant aux contrôleurs aériens de connaître leur position, et une ou plusieurs nacelles contenant les outils scientifiques.

Pouvant atteindre 30 km de haut avant d'exploser sous l'effet de la dilatation de l'hélium, les ballons météorologiques, plus petits que les ballons stratosphériques (8 m de diamètre en fin de vol, contre plusieurs dizaines de mètres pour ceux

du Cnes), sont constitués d'une enveloppe très élastique en latex (caoutchouc). Ils transportent des appareils peu coûteux : une radio-sonde, constituée d'un thermomètre, d'un baromètre et d'un hygromètre.

Les ballons stratosphériques peuvent peser plus de 2 tonnes et montent jusqu'à 42 km d'altitude. Leur enveloppe en polyéthylène (plastique) peut transporter des appareils sophistiqués tels qu'un télescope infrarouge permettant d'observer le milieu interstellaire. Ils redescendent après arrêt télécommandé du vol et sont réutilisables. **K.B.**



▲ Les ballons stratosphériques, eux, emportent du matériel sophistiqué qui est récupéré.

Est-il vrai que boire salé prévient les crampes ?

Question de Isabelle Richard, Marseille (13)

Les boissons réhydratantes, mêlant sucres et sels (sodium, calcium, potassium...) se multiplient. Elles ont parfois la réputation de réduire le risque de crampe. Et c'est vrai... Du moins pour ce type de crampes que l'on nomme "crampes de chaleur". Pour les autres – la majorité des crampes, en fait – là, le sel ne peut rien. Il existe en effet plusieurs

types de crampes : celles survenant lors d'un effort sportif, mais aussi celles qui se produisent au repos et la nuit, celles induites par certains médicaments (statines, corticoïdes...), celles se produisant lors de règles douloureuses, etc. Toutes correspondent à une contracture involontaire, passagère et douloureuse d'un ou plusieurs muscles. Mais les

chercheurs ignorent le détail des mécanismes liés à ces différents troubles.

Caractérisées par une douleur intense et persistante, les crampes de chaleur apparaissent habituellement chez les athlètes après un effort prolongé, dans un environnement chaud et humide où l'on transpire beaucoup.

L'idée de les prévenir en ingérant du sel repose

sur plusieurs études qui ont montré que ce type de crampes est associé à une perte importante de sodium (le sel de table étant du chlorure de sodium). Ainsi une étude américaine de 2005 a montré que des joueurs de football américain régulièrement victimes de crampes de chaleur perdent, dans leur sueur, deux fois plus de sodium que des joueurs ne souffrant pas de crampes



Pourquoi le lave-vaisselle sèche-t-il si mal le plastique ?

Question de Michel Marin, Lyon (69)

La raison tient à la physique du plastique et à la nature du séchage en machine. L'eau s'évapore grâce à la chaleur emmagasinée par la vaisselle lors du lavage et du rinçage à l'eau chaude. Or, à volume égal, la matière plastique stocke moins de chaleur que les autres matériaux de la vaisselle, car elle est moins dense (masse volumique du polypropylène : 850-920 kg par mètre cube, contre 2 500 kg/m³ pour la porcelaine), elle contient donc moins de matière et, de ce fait, stocke moins de chaleur. Et ne peut donc pas

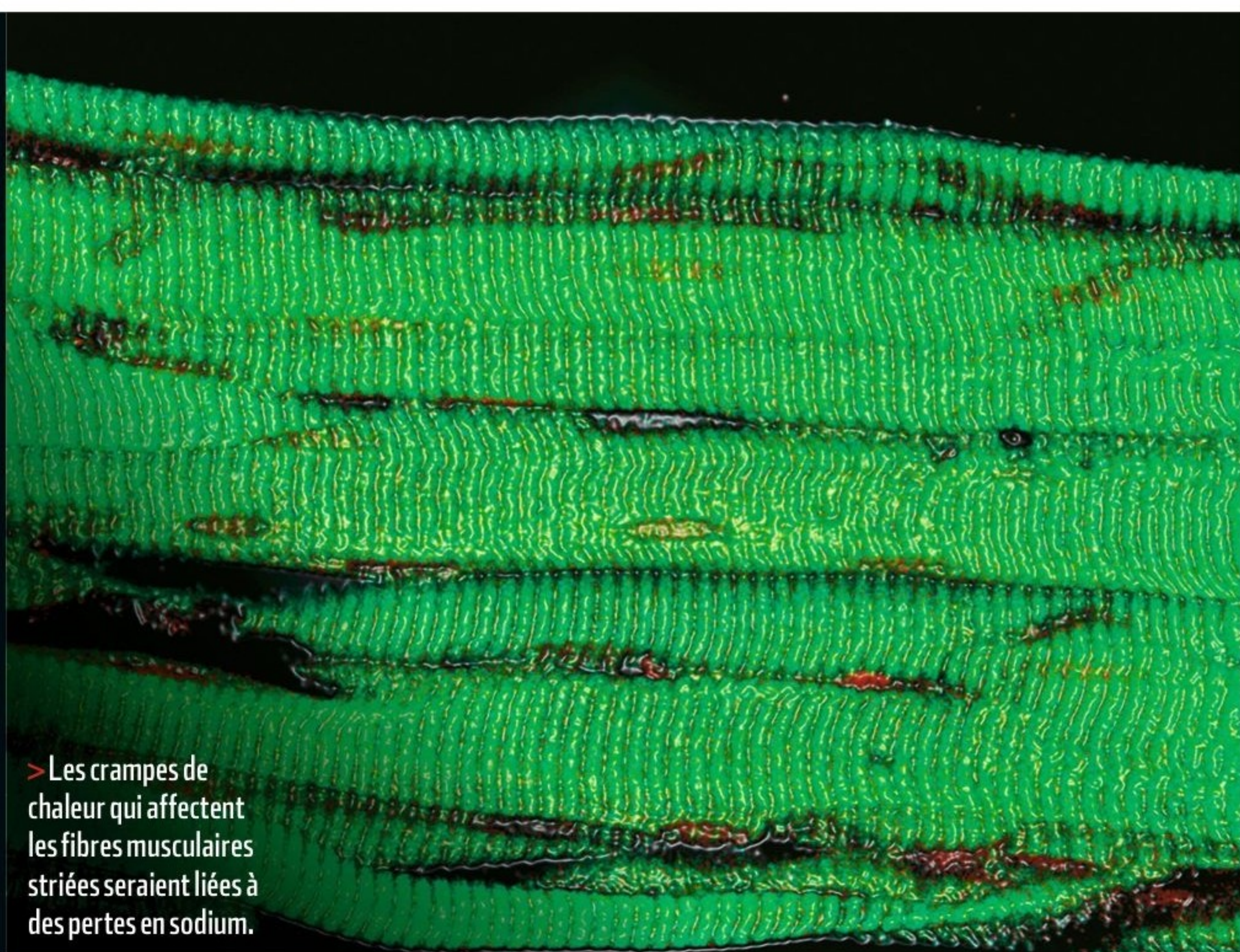
faire évaporer autant d'eau à sa surface que la porcelaine.

De plus, le plastique est un mauvais conducteur de chaleur (conductivité thermique du polypropylène à 20 °C et en W·cm⁻¹·K : 0.4-0.5), contrairement au verre ou à la porcelaine (1.2) – ce qui, d'ailleurs, en fait un bon isolant thermique. Alors que dans un récipient en porcelaine la chaleur stockée dans les parois participe à l'évaporation, celle de la vaisselle en plastique est peu transmise à la surface et seule la chaleur stockée en surface participe à l'évaporation. **K.B.**

(55 millimoles par litre de sueur, contre 25 mmol).

Sur cette base, plusieurs études ont montré que ce traitement est efficace. Ainsi, l'absorption régulière de sodium, sous la forme de tablettes ou de boissons salées à raison d'une demi-cuillère à café par litre, pouvait prévenir l'apparition de crampes de chaleur.

Pour les autres types de crampes, oubliez le sel ! Car elles ne sont pas associées à une perte en sodium. L'un des traitements conseillés consiste à étirer le muscle concerné, ce qui permet de le ramener dans l'état d'élongation qu'il adopte normalement au repos. **K.B.**



> Les crampes de chaleur qui affectent les fibres musculaires striées seraient liées à des pertes en sodium.



Mieux que le wi-fi, voici l'Internet par la lumière

Baptisée li-fi, une technologie permet de transférer les données d'Internet vers vos équipements non plus par les ondes radio (le wi-fi), mais via l'éclairage d'ampoules à LED. A la clé, des débits deux fois plus rapides !

Pour "surfer" sur le Web, vous connaissiez le wi-fi. Voici peut-être son futur remplaçant, le li-fi (la contraction de *light fidelity*), développé par une vingtaine de laboratoires dans le

monde depuis sept ans et en voie imminente de commercialisation. Comme le wi-fi, cette nouvelle technologie sans fil sert à transférer des données numériques, par exemple depuis une box Internet jusqu'à votre tablette tactile. Mais alors que le wi-fi achemine les informations par les ondes radio, le li-fi utilise, lui, des faisceaux lumineux. A savoir, la lumière directe de nos éclairages. Avec des avantages spectaculaires à la clé...

Le principe ? Pour se connecter, il suffit de se trouver dans une pièce éclairée par une lampe à diodes électroluminescentes (LED), comme celles qui se multiplient dans nos foyers. Un commutateur va alors permettre à la box Internet de communiquer avec la lampe, en convertissant les informations numériques du Web (codées suivant une suite de 0 et de 1) en impulsions électriques, puis en oscillations lumineuses (voir infographie). Ces oscillations émises par

1 Les données du Web sont converties en impulsions lumineuses...

Les données numériques sont converties en impulsions électriques par un commutateur li-fi. Ce dernier pilote, via le réseau domestique, les lampes à LED du foyer : il les allume ou les éteint, transformant les impulsions électriques en oscillations lumineuses.

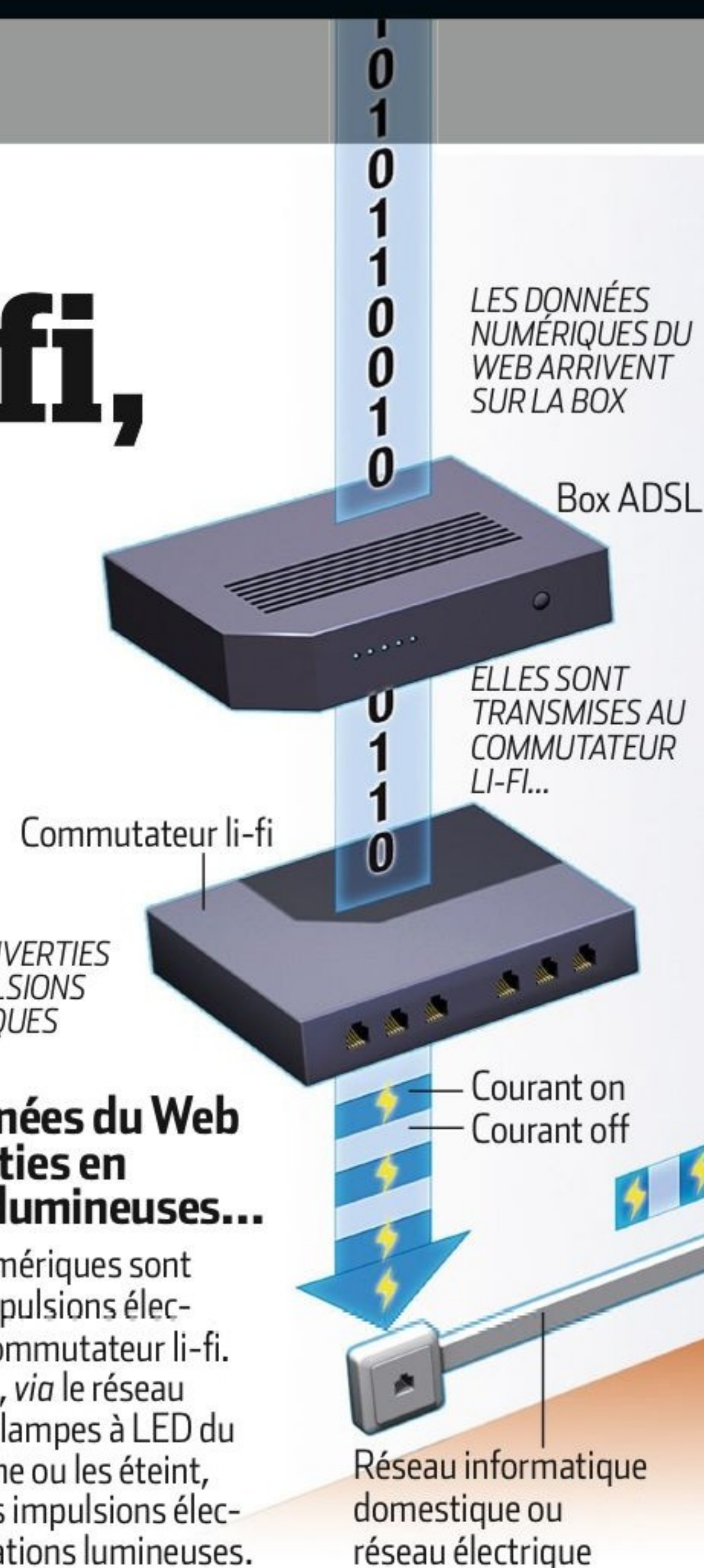
les LED sont ensuite décodées directement par un ordinateur, par exemple, équipé d'une puce spéciale li-fi ou d'une clé USB. Et le tour est joué !

"C'est comme du morse, résume Cédric Mayer, directeur général d'Oledcomm, le pionnier français du li-fi, issu des laboratoires d'ingénierie de l'université de Versailles. Lorsque les LED sont allumées, elles émettent un 1 et lorsqu'elles sont éteintes, un 0." Comme elles sont capables de répéter l'opération jusqu'à 100 milliards de fois par seconde, l'œil humain ne s'aperçoit de rien. Et avec cette haute fréquence d'oscillations, de

l'ordre du térahertz (10^{12} Hz), les données circulent dans des tuyaux quatre fois plus larges que le wi-fi. Du coup, les débits s'en ressentent : ils peuvent atteindre jusqu'à 1,3 gigabit par seconde (contre 600 mégabits pour le wi-fi). De quoi transférer l'intégralité d'un DVD en une poignée de secondes !

S'AFFRANCHIR DES ONDES

Ce n'est pas là le seul intérêt du li-fi... Cette technologie a aussi l'avantage de ne pas exposer les utilisateurs à des champs électromagnétiques, contrairement aux ondes radio émises par le wi-fi. En s'affranchissant de ces ondes, le li-fi peut



3 DATES CLÉS

1880

Le Britannique Graham Bell invente le photophone, cousin germain du téléphone, capable d'acheminer le son de la voix jusqu'à 200 m grâce aux rayons du soleil.

2005

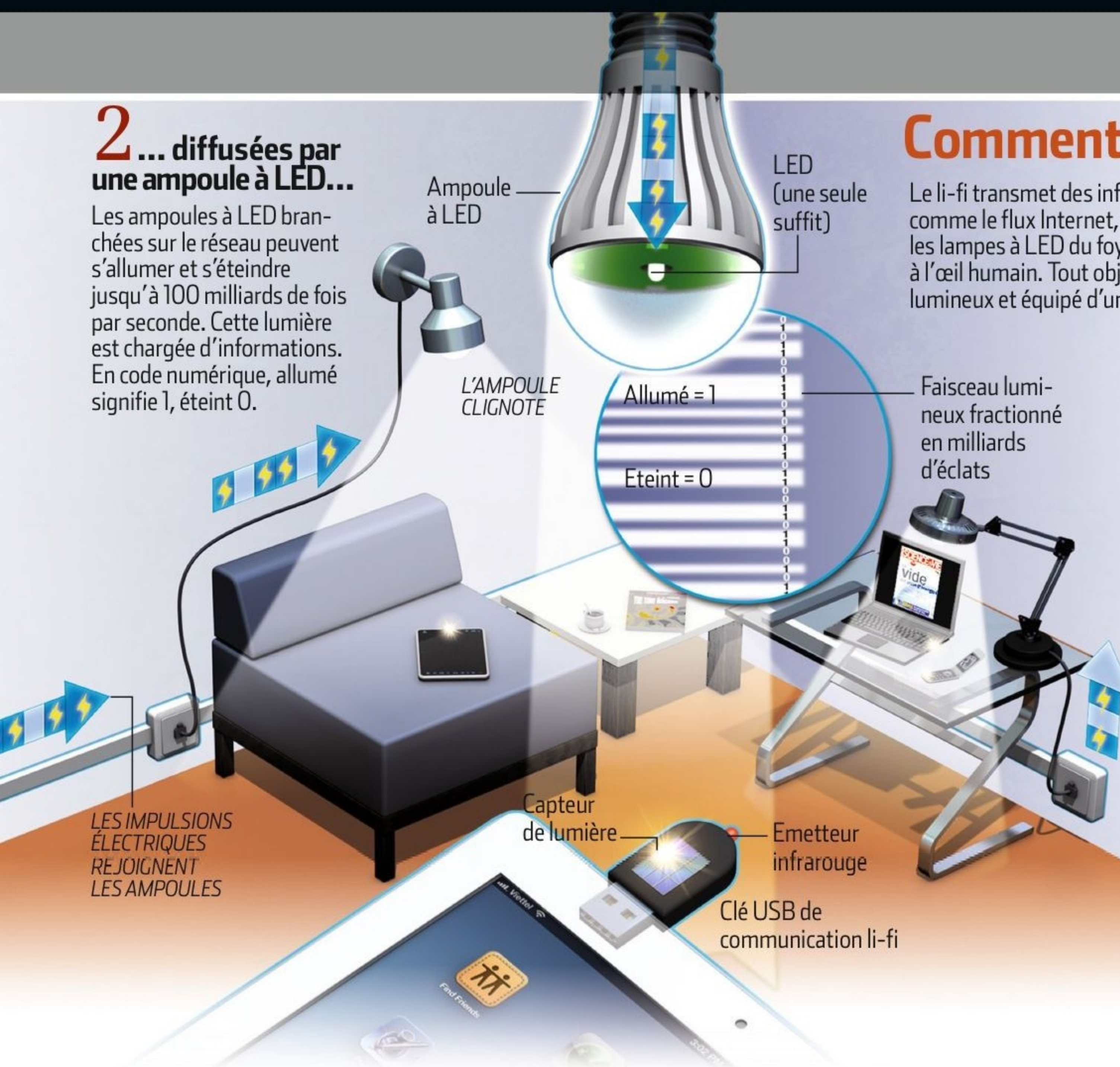
Des chercheurs de l'université Keio, à Tokyo, réussissent à transférer des données grâce à des faisceaux lumineux.

2013

La start-up française Oledcomm développe un haut-parleur sans fil qui émet de la musique grâce à la lumière.

2... diffusées par une ampoule à LED...

Les ampoules à LED branchées sur le réseau peuvent s'allumer et s'éteindre jusqu'à 100 milliards de fois par seconde. Cette lumière est chargée d'informations. En code numérique, allumé signifie 1, éteint 0.



Comment ça marche ?

Le li-fi transmet des informations numériques, comme le flux Internet, en allumant et éteignant les lampes à LED du foyer, si vite que cela échappe à l'œil humain. Tout objet placé dans leur faisceau lumineux et équipé d'un capteur est ainsi connecté.

3... puis reçues par les appareils équipés...

Une puce spéciale li-fi (ou une clé USB), dotée d'un capteur de lumière et d'un circuit électronique de décodage, retranscrit les oscillations lumineuses en un message numérique, vers une tablette, un ordinateur... Une seule ampoule (portée : 10 m ; débit : 100 Mbit/s) suffit à connecter plusieurs appareils.

4... qui peuvent aussi émettre des données

Les appareils envoient leurs données vers Internet à l'aide d'une diode infrarouge intégrée à la clé USB, qui communique avec les ampoules du réseau.

également faire entrer les réseaux sans fil dans des lieux qui en étaient jusqu'alors privés, comme les avions ou les hôpitaux, à cause des risques d'interférences. En plein air, cette technologie pourra aussi révolutionner la signalisation urbaine, en utilisant l'éclairage public pour informer les piétons et les automobilistes. Une expérience a déjà permis à deux voitures équipées de phares à LED, distantes d'une cinquantaine de mètres, d'échanger des informations !

Certes, la technologie a aussi ses contraintes. Ainsi, lorsqu'un obstacle s'interpose devant le faisceau lumineux, la connexion est

coupée, car contrairement au wi-fi, le li-fi ne passe pas à travers les murs... Mais, en contrepartie, il accroît la sécurité des échanges, car il est impossible de pirater une connexion li-fi depuis l'extérieur d'un bâtiment.

Reste que pour pouvoir surfer sur le Web avec le li-fi, il faudra patienter jusqu'à l'an prochain : l'interface d'échange entre le modem et le commutateur n'est pas complètement finalisée. Ceci dit, en attendant cette mise en vente, les mélomanes pourront profiter du li-fi dès le mois de septembre : un premier système, baptisé MyLeo et commercialisé par Oledcomm, proposera en



effet d'écouter de la musique en pilotant, grâce à un smartphone, une lampe à LED qui transférera des chansons vers un haut-parleur sans fil. L'application est moins bluffante qu'Internet diffusant à partir

d'un lustre, mais elle donne un aperçu de l'éventail des possibilités de cette nouvelle technologie. **Stéphane Barge**

Prix : env. 250 € pour le kit audio MyLeo.

Rens. : www.oledcomm.com



TECHNOFOLIES



La basket qui dope la foulée du joggeur

Energy Boost, les nouvelles baskets de l'entreprise allemande Adidas, donnent au coureur l'impression d'être propulsé en avant sans aucun effort! Leur secret? Une semelle en polyuréthane thermoplastique, développé par le géant de la chimie BASF. Grâce à sa structure cellulaire

< La semelle de cette chaussure stocke une part de l'énergie reçue quand le pied appuie sur le sol pour la libérer au moment de se propulser.

unique, constituée de milliers de petites capsules, cette couche est capable d'emmagasiner puis de libérer une partie de l'énergie qu'elle reçoit au moment de l'appui du pied à chaque foulée. Mais cette mousse d'un nouveau genre dispose aussi d'un autre atout: selon Adidas, elle serait trois fois plus résistante aux différences de température que la mousse EVA habituellement utilisée dans ce type de chaussures de course. Sa durée de vie serait donc beaucoup plus longue. **E.T.A.**

Prix: env. 150 € (homme ou femme).
Rens.: www.adidas.com/Boost

Voici le premier scooter à 4 roues indépendantes

C'est le dernier arrivé dans le monde de la mobilité urbaine: ce Parkour 350 D, mis au point par le constructeur Quadro, est le tout premier scooter au monde équipé de 4 roues! Deux années ont été nécessaires à la jeune marque italienne pour mettre au point ce quadricycle conçu pour offrir plus de sécurité et de confort que ses prédécesseurs montés sur 3 roues. Selon le constructeur, fini les chutes dues au freinage sur chaussée humide grâce à ses 4 roues indépendantes de 14 pouces qui lui confèrent une grande adhérence au sol. Avec un disque de frein de 240 mm à chaque roue et une transmission indépendante des 2 roues arrière, ce véhicule gagne en freinage et en stabilité par rapport aux trois-roues.

Souplesse et maniabilité sont également de mise sur ce scooter qui hérite d'un système de suspension pendulaire hydro-pneumatique sur les trains avant et arrière. Le principe? Il s'agit de trois vérins hydrauliques, reliés sur un triangle de suspension, qui se déplacent et assurent ainsi l'équilibre du scooter, son inclinaison dans les virages et son amortissement. Dessiné pour l'asphalte des villes et des autoroutes avec une vitesse maximale de 130 km/h, le Parkour 350 D possède un bloc monocylindre à 4 soupapes de 346 cm³ qui développe 27 ch. Il sera commercialisé en France d'ici quelques semaines. **J.G.**

Prix: env. 8500 €.
Rens.: www.quadro4motion.fr





LA MINIGUITARE VRAIMENT MINI

Un galet ? Non. Une guitare électrique... sans corde, d'environ 10 cm sur 6. C'est le LodyOne. Choisissez l'un des 18 arrangements préenregistrés et appuyez en rythme sur ses 4 boutons de droite (en haut sur la photo): un microprocesseur traduit les pressions en notes justes grâce à des algorithmes spécialement élaborés. Pas besoin d'être un virtuose pour jouer, seul le sens du rythme est requis. Les experts n'ont cependant pas été oubliés, les 4 boutons placés à gauche (ici, en bas) permettent de jouer plus rapidement ou de changer de gamme. De quoi se prendre pour Jimi Hendrix ! **F.G.**

Prix : env. 50 €.
Rens. : www.lodyone.com



< Ses 4 roues confèrent au Parkour 350 D une meilleure adhérence, y compris sur chaussée humide.

LE COIN DES PROTOTYPES

L'ORDINATEUR QUI FAIT OFFICE DE RADIATEUR

Un ordinateur en marche, ça chauffe ! Plus exactement, son processeur émet de la chaleur quand il travaille. D'où l'idée de la société française Qarnot de nous chauffer avec de mini-centres de calcul. S'il a apparemment tout d'un radiateur électrique classique, le Q.rad abrite 4 processeurs en lieu et place d'une résistance électrique. Un boîtier, branché sur Internet, permet d'alimenter le radiateur en calculs commandés, à Qarnot, par des entreprises grosses consommatrices de puissance de calcul. Le boîtier ajuste le nombre de calculs en fonction du réglage du thermostat et, au final, vous chauffez gratuitement car l'électricité nécessaire aux processeurs sera remboursée par Qarnot. Econome et astucieux ! **O.L.**

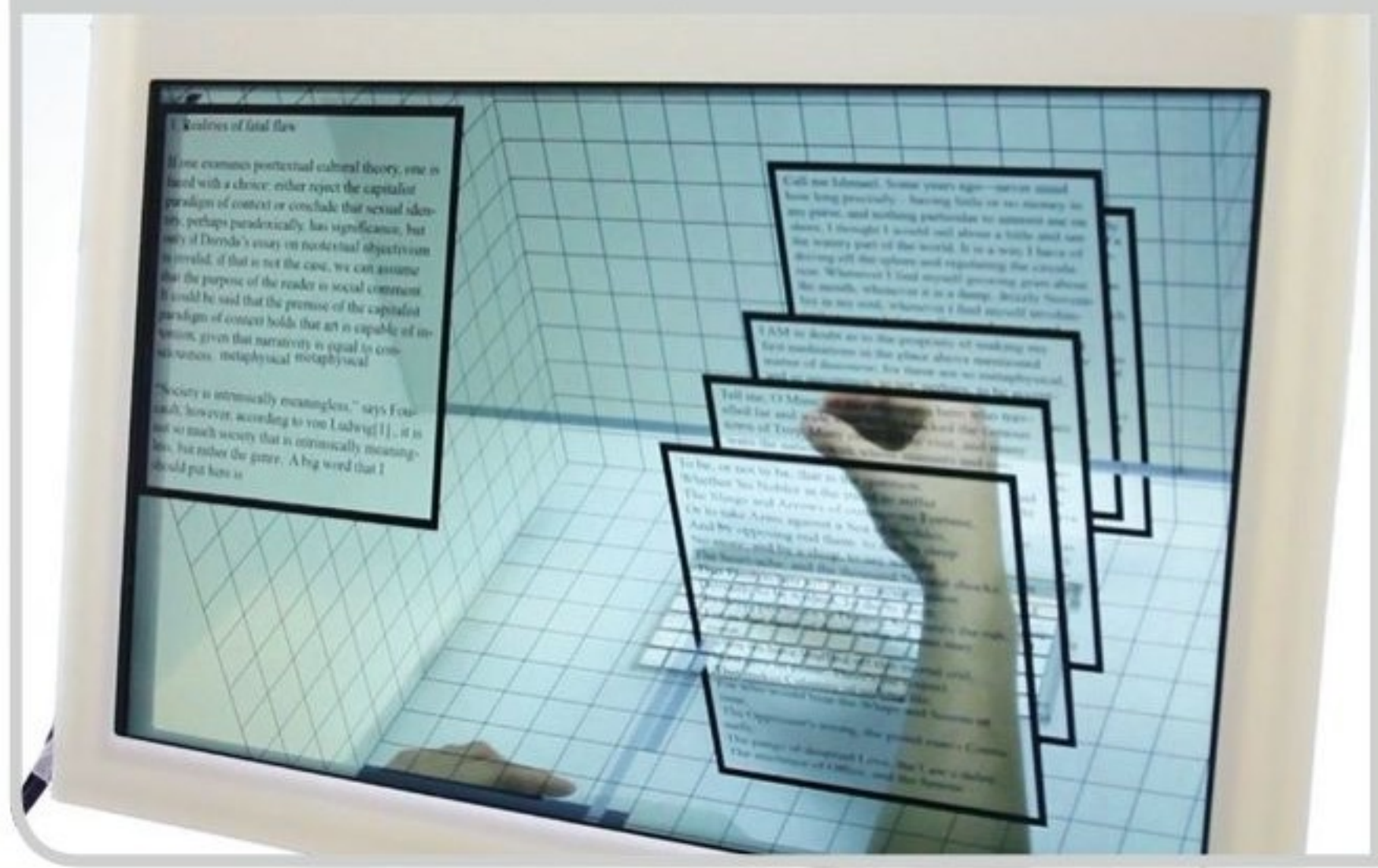
Rens. : <http://qarnot-computing.com>



FINI LA SOURIS, ON SAISIRA SES FICHIERS AVEC LES MAINS

Ringarde, la souris ! L'ordinateur du futur pourrait bien se piloter avec les mains grâce à l'interface SpaceTop, créée par un étudiant du MIT Media Lab. Elle combine l'affichage 3D, qui existe sur les téléviseurs, et la reconnaissance gestuelle d'un système comme Kinect, celui de la console Xbox. Ainsi, en plaçant ses mains juste derrière l'écran LED, qui est transparent, l'utilisateur peut "saisir" virtuellement les pages Internet, les documents ou les vidéos, les déplacer et naviguer à l'intérieur. La magie opère grâce à deux caméras : l'une repère la position des doigts dans l'espace, l'autre celle du visage, pour ajuster la taille des éléments à l'écran. Le clavier, lui, sert toujours pour la saisie de texte... Pour l'instant, cet ordinateur en est encore à ses tout premiers stades de développement. **L.B.**

Rens. : www.leejinha.com/spacetop





Un bracelet pour tout commander d'un seul geste

Serrer le poing, claquer des doigts... et contrôler des objets à distance ! Le Myo, un bracelet, développé par la *start-up* canadienne Thalmic Labs, sait non seulement reconnaître les gestes de la main (et des doigts) sur laquelle il est attaché, mais aussi les traduire en instructions à destination d'autres appareils. Des capteurs situés à sa surface détectent et amplifient les infimes signaux électriques nerveux qui provoquent la contraction des muscles. Ces signaux sont ensuite envoyés à un microprocesseur qui décode les mouvements effectués et les traduit en commandes grâce à des algorithmes spécifiquement conçus. En connectant Myo à son ordinateur *via* Bluetooth, on peut alors changer de piste audio, animer une présentation Power Point d'un simple geste, mais aussi diriger un hélicoptère téléguidé ou remplacer une manette de jeu. Plus simple et plus réactif, ce bracelet dispose de sérieux atouts face aux autres dispositifs de reconnaissance des mouvements (Kinect de Microsoft), car les signaux nerveux précèdent la contraction musculaire de quelques millisecondes et il ne nécessite pas de caméra ! Si on peut déjà le précommander sur Internet, sa commercialisation n'est pourtant prévue qu'à la rentrée 2013. **F.G.**

Prix : env. 115 €. Rens. : www.getmyo.com



L'airbag qui met la voiture à l'abri

Cette bâche en polyester, conçue par l'américain Hail Storm Products, est une housse double épaisseur qui se gonfle en cinq minutes autour de votre voiture grâce à des ventilateurs couplés à un compresseur. Une simple télécommande suffit à actionner ce coussin d'air, baptisé Hail Protector, qui protégera votre véhicule de grêlons de plusieurs centimètres. Vous pouvez aussi

souscrire gratuitement à un service qui vous préviendra, sur votre téléphone ou par mail, une demi-heure à une heure avant son arrivée, de l'imminence d'une averse. Enfin, lorsqu'il n'est pas gonflé, Hail Protector préserve votre voiture des UV ou de la pluie tout en laissant passer l'air, ce qui évite les moisissures. **S.F.**

Prix : de 230 à 305 € env.

Rens. : www.hailprotector.com

CE SIMPLE ENDUIT REND TOUS LES OBJETS ÉTANCHES

Avis aux bricoleurs ! Le fabricant américain Ultratech a mis au point un produit innovant quasi incolore : l'Ultra Ever Dry. Une fois pulvérisées sur une surface, les nanoparticules contenues à l'intérieur forment une barrière d'air qui leur permet de repousser l'eau, l'huile et presque tous les liquides (boue, peinture...). Comme il résiste davantage à l'abrasion que les produits concurrents, il peut protéger toutes sortes de matériaux et d'objets (outils, chaussures, gants). Seul bémol : il faut en appliquer deux couches et compter deux heures de séchage. **L.B.**

Prix : à partir de 140 € pour 2 flacons de 1 litre (sous-couche et surcouche). Rens. : www.ultraeverdry.com







EN PRATIQUE

CIEL DU MOIS

Par Serge Brunier

NORD

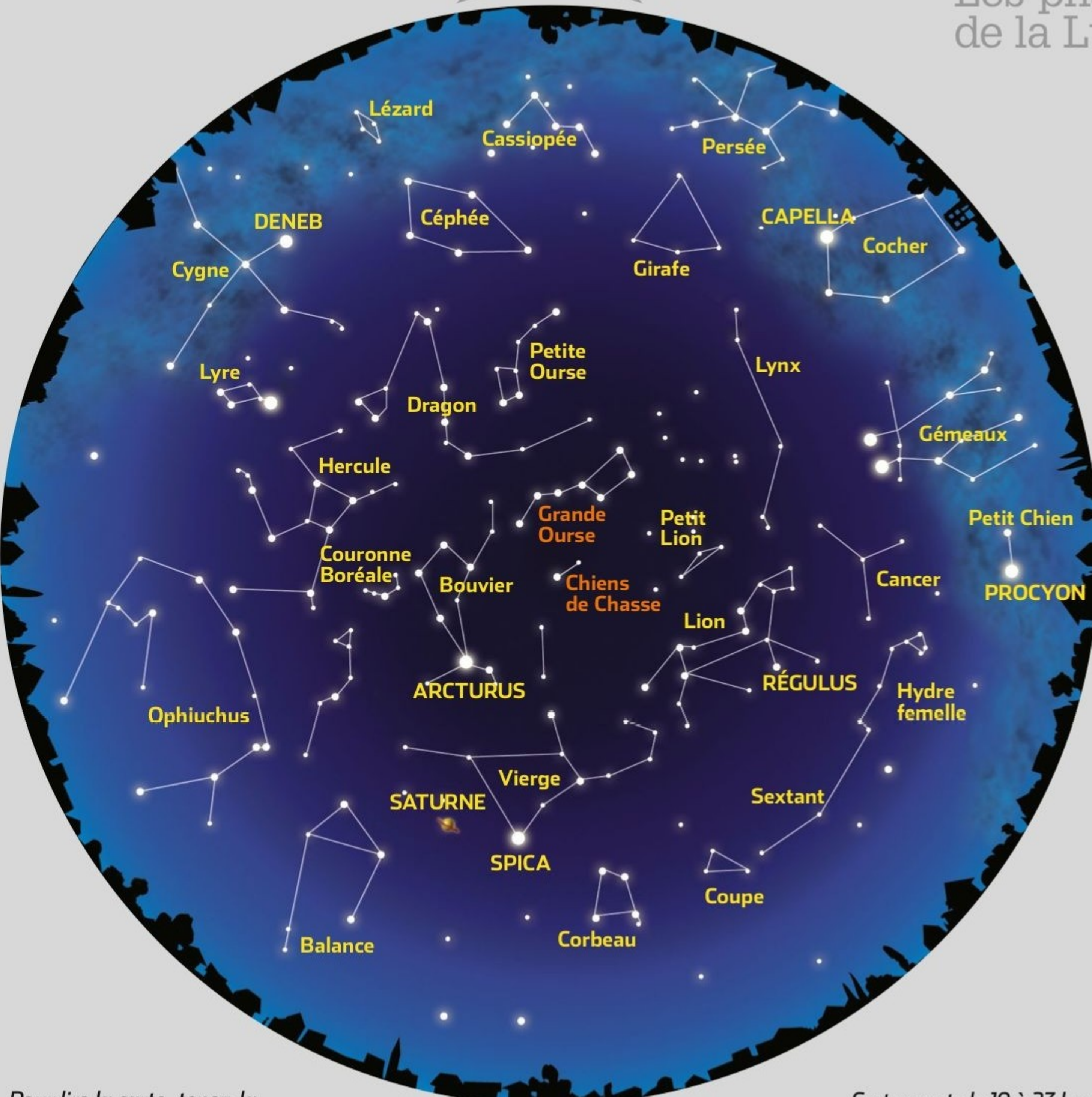
Les phases de la Lune



EST

OUEST

SUD



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

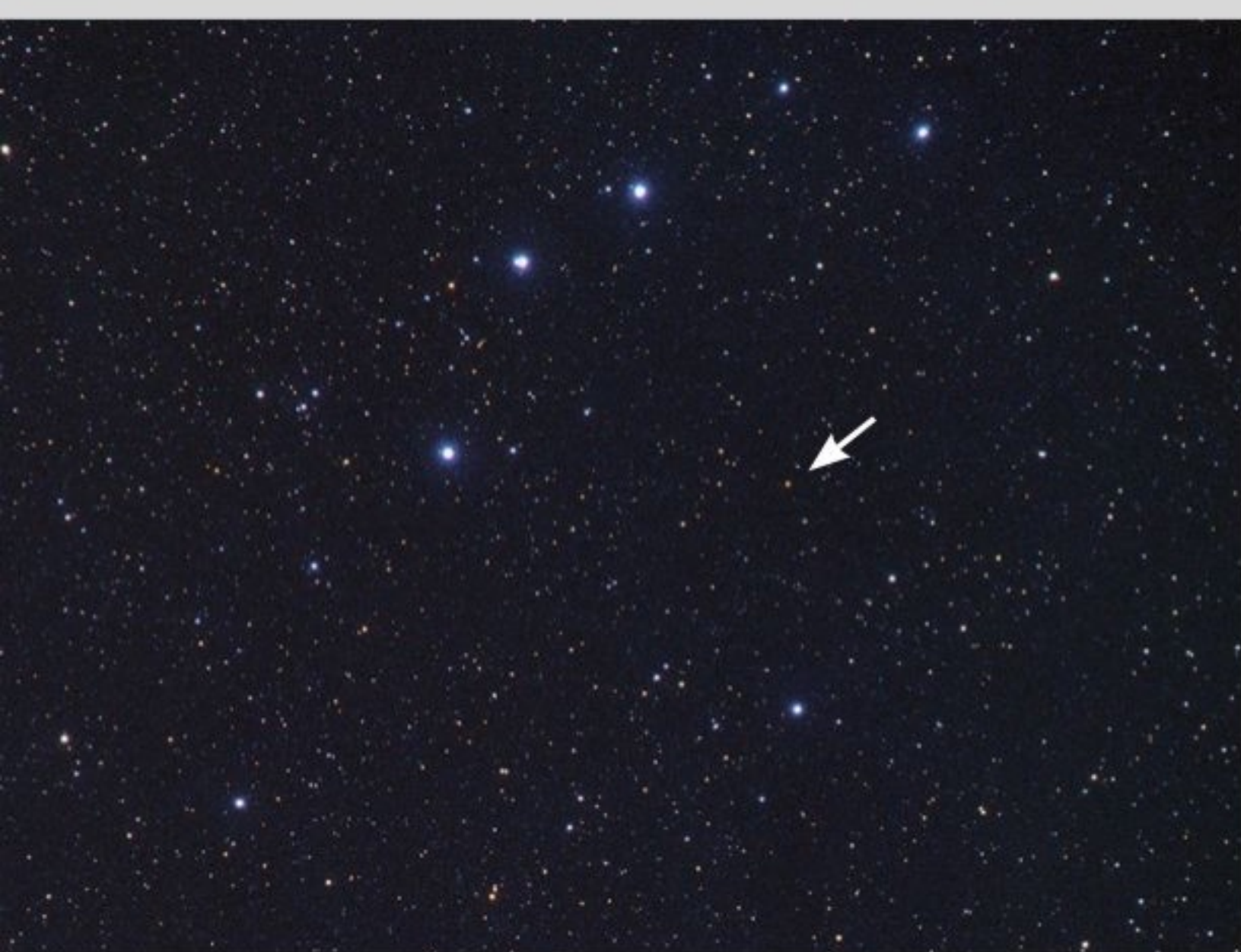
Carte exacte le 10 à 23 heures

À NE PAS MANQUER... LE 24

Trois planètes nous offriront un rare ballet au crépuscule une semaine durant, du 24 au 31 mai. Réunies au-dessus de l'horizon ouest-nord-ouest elles dessineront un triangle changeant... Le 24, Vénus sera la plus basse à l'horizon, suivie par Mercure et Jupiter, la plus haute. Le 25, Mercure remplacera Jupiter au sommet du triangle. Enfin, à partir du 27, ce sera Jupiter en bas, Vénus à ses côtés, et fait rarissime, Mercure les dominant. Un ballet visible environ une heure après le coucher du Soleil par ciel clair.

< Une heure après le crépuscule apparaîtront (de g. à dr.) Jupiter, Vénus et Mercure.





▲ Entre la Grande Ourse et les Chiens de Chasse, brille d'un éclat rouge vif l'étoile Y Cvn, dite la Superbe...

LA SUPERBE

C'est l'une des étoiles les plus impressionnantes du ciel; elle est pourtant très difficile à repérer à l'œil nu, sauf dans un ciel extrêmement pur. Elle peut surtout être observée aux jumelles, entre les constellations des Chiens de Chasse et de la Grande Ourse. Baptisée officiellement "Y Cvn", la Superbe doit son nom à son éclat exceptionnel, sa couleur unique: c'est une supergéante rouge dont l'éclat varie d'un facteur trois sur une période de 160 jours. Sa surface gigantesque – elle est plus de 200 fois plus grande que le Soleil et 4000 fois plus brillante que lui – est portée à 2500 °C. Superbe, la Superbe est appelée à le devenir encore plus: dans quelques milliers d'années en effet, elle soufflera une partie de sa masse dans l'espace, sous la forme d'une magnifique nébuleuse, colorée de rouge et de vert.



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

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



Stéphane Allix enquête aux frontières des sciences et de la spiritualité

GUÉRISSEURS 6^e SENS SURNATUREL



14,90€

Une nouvelle collection en librairie le 18 avril et sur www.experiencesextraordinaires.fr

Éditions
de La Martinière
www.editionsdelamartiniere.fr

CONTRE-SOMMAIRE

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

20000 lieues sous les mers.....	p. 94	Intuition géniale.....	p. 94
500 pages bien tassées	p. 111	Jimi Hendrix.....	p. 143
Ailes de mouches.....	p. 12	Joueurs de football américain.....	p. 138
Alors que croire?.....	p. 135	L'été dernier.....	p. 94
Ame sœur.....	p. 16	L'heure a sonné.....	p. 112
Attaque de panique.....	p. 102	La "glace qui brûle".....	p. 47
Au fil des années.....	p. 128	La bête se dérobe.....	p. 94
Banc des accusés.....	p. 44	La rencontre a enfin eu lieu.....	p. 93
Boîte d'invisibilité.....	p. 49	La reprise du travail.....	p. 17
Bombyx du mûrier.....	p. 50	La Superbe.....	p. 147
Bonne pioche.....	p. 16	Le linge sèche.....	p. 137
Bout de tissu.....	p. 49	Le théorème des quatre couleurs.....	p. 112
Bricolage.....	p. 13	Les Chiens de Chasse	p. 147
Bronzage.....	p. 136	Levée de boucliers.....	p. 135
"C'est bon pour la paella".....	p. 95	Lisses, charnus, circulaires... ..	p. 136
C'est l'accident aigu.....	p. 135	Marées rouges.....	p. 29
Cages de glace.....	p. 47	Mélomanes.....	p. 141
Calcite transparente.....	p. 49	Minuscules torsions.....	p. 49
Cap sur le Pacifique.....	p. 94	Mizar.....	p. 111
Chien d'aveugle.....	p. 50	Ni vu ni connu.....	p. 49
Claquer des doigts.....	p. 144	Oubliez le sel!.....	p. 139
Conjecture abc.....	p. 111	Pas à pas.....	p. 50
Croisade.....	p. 135	<i>Pirates des Caraïbes</i>	p. 94
D'humeur explosive.....	p. 102	Piteuses dépouilles.....	p. 94
Danse nuptiale.....	p. 50	Plaisir: énorme!.....	p. 112
De manière routinière....	p. 113	Puissant pénis.....	p. 95
Des matheux.....	p. 112	Reine des fourmis.....	p. 15
Diable de Tasmanie.....	p. 28	Rencontre furtive.....	p. 95
Dll.....	p. 13	Serrer le poing.....	p. 144
En toute conscience.....	p. 129	Tête-à-tête.....	p. 95
Encore plus horifique... ..	p. 94	Très frivoles.....	p. 128
Fastidieuse.....	p. 111	Trop rigides.....	p. 49
French paradox.....	p. 136	Une chose est sûre.....	p. 129
Frotteurisme.....	p. 103	Une demi-cuillère à café	p. 139
Grain de beauté.....	p. 136	Zigzags.....	p. 50
Guitare électrique.....	p. 143		
HD100546.....	p. 14		

SCIENCE & VIE

Une publication du groupe

MONDADORI FRANCE

PRÉSIDENT : Ernesto Mauri

RÉDACTION

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

DIRECTEUR DE LA RÉDACTION

Matthieu Villiers,
assisté de Christelle Borelli
RÉDACTEUR EN CHEF
Hervé Poirier

RÉDACTEURS EN CHEF ADJOINTS

Philippe Chambon, Grégoire Bouillier (édition),
François Lassaragne

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 Nouyrgat, 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

Aniform Design, S. Barge, K. Bettayeb, L. Blancard,
E. Bonnet-Vidal, B. Bourgeois, R. Brillaud,
S. Brunier, R. Brui-Boccacio, O. Capronnier,
L. Cavicchioli, G. Cirade, A. Debroise, S. Dessert,
E. Dorey, V. Etienne, S. Fay, D. Florentz, F. Goubet,
J. Grenèche, M. Grousson, E. Haentjens,
C. Hancock, J. Jongwane, M. Kontente, O. Lapirot,
M. Laverdet, A. Laymand, E. Leburgue,
C. Lembezat, M. Mayo, M.-C. Merat, E. Monnier,
P. Pajot, L. Parra Craviotti, A. Rambaud, B. Rey,
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),
Sarah Bordessoules (responsable promotion),
Michèle Guillet (chargée de promotion),
Nathalie Carrère (abonnements)

PUBLICITÉ

Valérie Camy (directrice exécutive), Francesca Colin

(directrice commerciale), Valérie Leclère (directrice
de publicité), Virginie Commun, Lionel Dufour
(commerciaux), Sylvie Angerville (assistante),
Sabrina Rossi-Djenidi, Stéphanie Guillard,
Angélique Consoli (planning), Stéphane Durand
(trafic), Jean-Jacques Benezech, Grégory Gounse,
Anne-Sophie Chauvière (opérations spéciales)
Grande-Bretagne : Publieurope LTD (infodlon@
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

Guillaume Zaneskis

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 2013

RELATIONS CLIENTÈLE ABONNÉS

Par mail : relations.clients@mondadori.fr

Par téléphone : 01 46 48 48 96.

Par courrier : Science & Vie Abonnements

B341, 60643 Chantilly Cedex.

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

Etats-Unis et Canada : Express Mag, Tél. : 1 800

363-1310 (français) et 1 877 363-1310 (anglais).

Suisse : Edigroup, 022 860 84 50 - mondadori-

suisse@edigroup.ch. Belgique : Edigroup Belgique,

070 233 304 - mondadori-belgique@edigroup.be

Autres pays : nous consulter.

À NOS ABONNÉS

Pour toute correspondance relative à votre abon-
nement, 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



EN KIOSQUE CE MOIS-CI





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

- L'un des 100 exemplaires de l'édition spéciale vin.



Une fois rempli et complété, ce questionnaire est à nous retourner au plus vite, sans l'affranchir, à l'adresse suivante :
Science & Vie - Libre réponse 23016 - 92125 MONTROUGE CEDEX

Q1. Vous lisez Science & Vie...

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

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

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

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

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

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

sur 10

Q5a. Pour chacun des articles de ce numéro, indiquez dans le tableau ci-dessous :

- a- Si vous l'avez lu, en entier, en partie, parcouru sans vraiment le lire ou pas lu du tout.
- b- Si vous l'avez au moins parcouru, s'il vous a intéressé, assez, peu ou pas du tout.

	a-Lecture				b-Intérêt			
	En entier	En partie	Parcouru sans vraiment le lire	Pas lu	Beaucoup	Assez	Peu	Pas du tout
> Sommaire (pp. 8-9)	1	2	3	4	1	2	3	4
> Forum (pp. 10-11)	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 24)	1	2	3	4	1	2	3	4
> Actus Labos "Focus" - La vie aurait été possible sur Mars (pp. 16-17)	1	2	3	4	1	2	3	4
> Ensemble de la partie "Actus Terre" (p. 26 à 35)	1	2	3	4	1	2	3	4
> Actus Terre "Focus" - Soleil : il est décidément en panne (pp. 34-35)	1	2	3	4	1	2	3	4
> Ensemble de la partie "Actus Médecine" (p. 36 à 44)	1	2	3	4	1	2	3	4
> Actus Médecine "On tenait à vous dire" (p. 42)	1	2	3	4	1	2	3	4
> 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
> Actus Technos "Idée Neuve" (p. 50)	1	2	3	4	1	2	3	4
À la une								
> Gaz de schiste : le dossier vérité (p. 54 à 71)	1	2	3	4	1	2	3	4
Fondamental								
> Découverte - Et l'intelligence humaine vint aux souris ! (p. 72 à 75)	1	2	3	4	1	2	3	4
> Événement - Ainsi était l'Univers à l'origine ! (p. 76 à 91)	1	2	3	4	1	2	3	4
> Exploit - Kraken : la rencontre à enfin eu lieu ! (p. 92 à 98)	1	2	3	4	1	2	3	4
> Analyse - Dépression, anorexie, phobies... Mais qui souffre de quoi ? (p. 100 à 109)	1	2	3	4	1	2	3	4
> Perspectives - Coq : les maths ont trouvé leur maître (p. 110 à 113)	1	2	3	4	1	2	3	4
Le point sur								
> Leçon n° 2 - Mémoire : penser oublié plutôt qu'accumulation (p. 115 à 124)	1	2	3	4	1	2	3	4
En pratique								
> Ensemble de la partie "En pratique" (p. 125 à 147)	1	2	3	4	1	2	3	4
> Bon à savoir (pp. 126-127)	1	2	3	4	1	2	3	4
> Zoom du mois (p. 128 à 132)	1	2	3	4	1	2	3	4
> Questions & Réponses (p. 134 à 139)	1	2	3	4	1	2	3	4
> Technofolies (p. 140 à 144)	1	2	3	4	1	2	3	4
> Le ciel du mois (pp. 146-147)	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 peu	3
> Manquerait assez	2	> Ne manquerait pas du tout	4

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

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

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

.....

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

.....

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

RS1. Vous êtes ...

- > Un homme 1
> Une femme 2

RS2. Votre âge ...

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

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

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

RS4. Quel est votre département de résidence ?

Vos coordonnées

Nom :

Prénom :

Adresse :

.....

.....

.....

CP :

Ville :

Email :

.....

Vous êtes susceptible de recevoir des informations commerciales sur nos produits par voie postale et voie électronique, veuillez cocher l'une des cases suivantes :

☐ Non, je ne le souhaite pas ☐ Oui, je le souhaite

Les informations personnelles qui vous sont demandées sont nécessaires au traitement de votre questionnaire. Conformément à la Loi Informatique et Libertés du 06/01/1978 modifiée, vous disposez d'un droit d'accès, de rectification, de suppression et d'opposition sur vos données nominatives. Pour exercer vos droits, il suffit de nous écrire en nous indiquant vos noms, prénom, adresse et numéro de client à l'adresse suivante : Mondadori Magazines - Marketing Science - 8, rue François ORY - 92543 MONTROUGE CEDEX.



IMAGINÉE POUR VOUS ÉVADER.

Avec une consommation raisonnée de 3,8 L/100 km, des rejets de CO₂ limités de 99 g/km, sa garde au sol surélevée et ses équipements de série comme l'airbag piéton en première mondiale et son système anti-collision City Safety, la Volvo V40 Cross Country va vous donner envie d'ailleurs.

À partir de 299 €/mois⁽¹⁾ Entretien, Garantie et Assistance inclus pendant 4 ans⁽²⁾

(LLD 48 mois valable du 30/03/2013 au 31/07/2013)

NOUVELLE VOLVO V40 CROSS COUNTRY.

f REJOIGNEZ
VOLVO AUTOMOBILES FRANCE
SUR FACEBOOK

VOLVOCARS.COM/FR

(1) Exemple de **Location Longue Durée sur 48 mois et 60 000 km** pour une **Volvo V40 Cross Country D2 Kinetic avec peinture métallisée. Un premier loyer de 5 400 €** suivi de 47 loyers mensuels de 299 € TTC (hors assurances facultatives et prestations). Offre réservée aux particuliers, valable du **30/03/2013 au 31/07/2013** à partir du prix catalogue du 15 avril 2013 sous réserve d'acceptation du dossier par Volvo Automobiles Finance, département de CGL, Compagnie Générale de Location d'Équipements, SA au capital de 58 606 156 € - 69, avenue de Flandre 59708 Marcq-en-Barœul Cedex - SIREN 303 236 186 - RCS Roubaix-Tourcoing. (2) Tous véhicules sauf Taxis et VSL. La garantie constructeur est complétée par une extension de garantie dont la couverture est moins étendue que celle de la garantie initiale (exclusion notamment de la carrosserie). Demandez le détail des conditions de la garantie constructeur, de l'extension de garantie, de l'entretien et de l'assistance auprès de votre conseiller service. Volvo Automobiles France, RCS Nanterre n° 479 807 141, Immeuble Nielle, 131-151 rue du 1^{er} mai - 92737 Nanterre Cedex.

Modèle présenté : Volvo V40 Cross Country D3 Kinetic à partir de **340 €/mois** dont **un premier loyer de 6 000 €**, avec options protections de bas de caisse latéraux, feux de jour à LED et jantes alliage Mefitis 18".

Consommation Euromix de la Volvo V40 Cross Country D2 Kinetic : 3,8 L/100 km, CO₂ rejeté : 99 g/km à partir du prix catalogue du 15 avril 2013.



MILLÉSIME

LE GOÛT À LA
FRANÇAISE

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