

DÉCEMBRE 2012 N° 1143 A MONTAUBON FRANCE

MOMIE
SUR LES TRACES
DU DERNIER INCA

LIVRES, HIGH-TECH
LES BEAUX CADEAUX
DE SCIENCE

ÉVITER LE CANCER,
L'INFARCTUS,
ET ALZHEIMER ?

LE MÉDICAMENT, QUI PROTÈGE DE TOUT

*L'incroyable promesse
de trois molécules*

BOSON DE HIGGS
ANNONCERAIT-IL
L'APOCALYPSE?

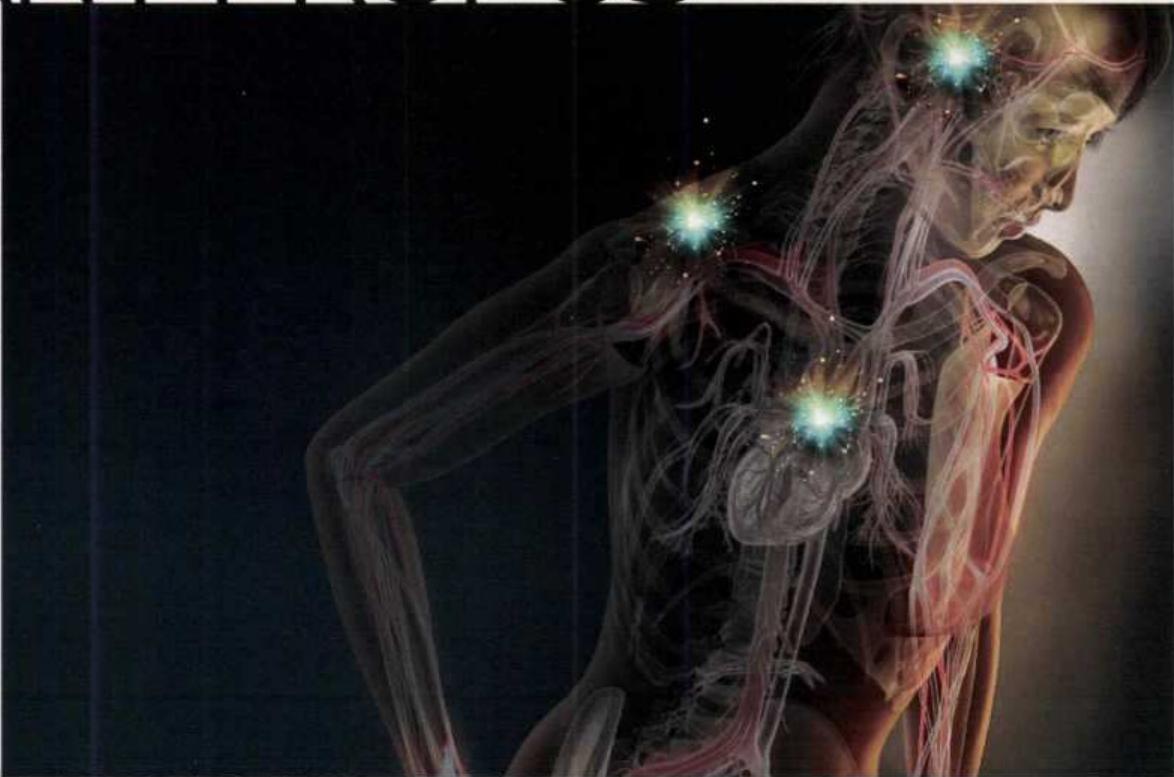
SOLEIL
SA NAISSANCE
ENFIN RÉVÉLÉE

M 02578 - 1143 - F: 4,20 €



France métro : 4,20 € - DOM-TOM et BELGIQUE : 6,90 € - DAB : 10,40 € - CH : 8,50 € - CAN : 16,50 € - CANADA : 6,90 € - GREECE : 5,50 € - FIN : 6,20 €

ITALIE : 6,90 € - MAROC : 5,00 € - TURQUIE : 10,40 € - MAROC : 5,00 € - TURQUIE : 10,40 € - MAROC : 5,00 € - TURQUIE : 10,40 €



ASPIRINE, L'AMIE POUR LA VIE

Se garder des excès, adopter une alimentation équilibrée, pratiquer une activité physique régulière : les clés pour une bonne santé durable sont bien connues. Quelque chose à ajouter ? Oui, peut-être une pincée... d'aspirine ! Connue depuis toujours, ou presque (Hippocrate conseillait déjà les décocotions d'écorce de saule blanc pour

soulager douleurs et fièvre au V^e siècle avant J.-C.), l'acide acétylsalicylique n'en finit pas de surprendre. Alors que son rôle dans la prévention des maladies cardio-vasculaires est de plus en plus régulièrement mis en évidence, voici que l'on découvre aussi qu'il limiterait les risques de cancer et même l'émergence de

maladies neurodégénératives ! Au point que certains parlent déjà d'une panacée. Agissant selon de voies différentes, metformine (antidiabétique) et statines (anticholestérol) prétendent elles aussi nous mettre à l'abri des plus terribles maladies. Les médicaments d'hier feront-ils la révolution médicale de demain ?

OGM, À FLEUR DE PEAU

Rarement une étude toxicologique aura déchaîné autant de passions. L'article critique que nous avons consacré le mois dernier à l'étude du professeur Séralini au terme de laquelle il affirmait avoir démontré la toxicité des OGM dans l'alimentation ("OGM : l'intoxication médiatique", n° 1142, p. 68) a lui aussi choqué un certain nombre de nos lecteurs. Qui

n'ont pas manqué de nous le faire savoir. Parmi les nombreux courriers reçus, certains allaient jusqu'à douter de notre objectivité et de notre indépendance ! Décidément, les OGM n'ont pas leur pareil pour échauffer les esprits...

Ne leur en déplaise (on ne peut pas plaire à tout le monde), c'est bien armés de notre envie de comprendre, de notre goût pour

le partage et notre totale indépendance (d'esprit comme d'action) que nous persistons et signons : cette étude n'autorise aucune conclusion quant à la toxicité de cet OGM sur la santé des rats l'ayant durablement consommé. Est-ce à dire que tout est rose au pays des OGM ? Bien sûr que non ! Nous y revenons dans notre "Forum".

S&V

SOMMAIRE

> DÉCEMBRE 2012

40



PLANCTON
SON INFINIE DIVERSITÉ SE RÉVÈLE

20

ACTUS

14 LABOS

Curiosity prouve qu'il y a bien eu de l'eau sur Mars; cette galaxie a quasiment l'âge du big bang, etc.

18 ON EN REPARLE

A-t-on vu tomber la deuxième lune de la Terre?

28 FOCUS

La Lune : l'épave mythique, commence enfin à livrer ses secrets

30 TERRE

La Grande Barrière perd tout son corail; la chasse au frelon asiatique est ouverte, etc.

38 ON TENAIT À VOUS DIRE

C'est la science qu'on condamne à crier au loup!

40 FOCUS

Plancton : son infime diversité se révèle

42 MÉDECINE

Il y a un lien entre flore intestinale et diabète; ils ont réussi à reconstituer une thyroïde, etc.

48 LES CLÉS POUR COMPRENDRE

Cancer du sein : pourquoi son dépistage ne fait pas l'unanimité

50 TECHNO

La fusion nucléaire franchit un nouveau cap; des trous ont pu dévier les ondes sismiques, etc.

54 IDÉE NEUVE

"Je compte faire transpirer les immeubles pour les climatiser"

LE MÉDICAMENT QUI PROTÈGE DE TOUT

ÉVITER LE CANCER,
L'INFARCTUS,
ALZHEIMER ?

Prendre chaque jour une petite pilule pour voir s'éloigner le spectre du cancer, de l'Alzheimer ou de l'infarctus ? Voici que des médicaments relèvent le défi : les prendre quotidiennement préviendrait contre les maladies qui, avec le temps, nous menacent tous ! Dossier spécial sur trois "panacées" au potentiel révolutionnaire pour la médecine... et pour nos vies.

58

FONDAMENTAL

À LA UNE

**58 ÉVITER LE CANCER,
L'INFARCTUS, ALZHEIMER ?**

LE MÉDICAMENT QUI PROTÈGE DE TOUT !

76 DÉCOUVERTE

**SOLEIL : ON SAIT ENFIN
COMMENT IL EST NÉ**

82 PORTFOLIO

**CAMÉRAS ULTRA-RAPIDES :
LA VIOLENCE DU MONDE
PRISE SUR LE VIF**

RECYCLER SES LAMPES, TOUT LE MONDE S'Y MET.

**Vous aussi, déposez-les en supermarché,
magasin de bricolage ou déchèterie.**

Ce geste simple préserve les ressources naturelles et évite les risques de pollution. En effet, une fois collectées, les lampes sont intégralement traitées, puis recyclées.

Il n'y a aucune raison de ne pas vous y mettre !



www.malampe.org

EVENEMENT

Trois cours montreraient d'images : ces photos ont fait la une des journaux et des JT, faisant passer massivement le message que les OGM sont toxiques. Pourtant, l'étude par quoi le scoop est arrivé est pour le moins contestable. Retour sur un cas exemplaire d'embûchelement politique-médiaistique et de désinformation, mal fait surtout au tart à la science.

OGM L'INTOXICATION MÉDIATIQUE

Diffusion, diffusion... La phrase résonne dans les salles de conférence et dans les couloirs. «Tous les meilleurs auteurs sont des conférenciers», dit-on, pour une fois que l'adage n'est pas à l'envers. Mais il y a un autre type de diffusion qui peut être aussi importante pour la recherche et le développement : la diffusion des connaissances dans les établissements d'enseignement supérieur. C'est ce que je vais essayer de faire dans cet article en me concentrant sur deux types de transferts de connaissances : les transferts entre universités et entre universités et entreprises.

OGM: nos lecteurs protestent...

Notre article du mois dernier pointant les limites de l'étude toxicologique de Gilles-Eric Séralini sur la consommation d'un maïs OGM a suscité des réactions indignées de nombreux lecteurs. Qu'avons-nous dit ? Deux choses. Primo, que la communication orchestrée autour de cette étude a laissé penser que la toxicité des OGM était avérée. Secundo, que ses résultats ne permettaient pas, en réalité, de conclure à la toxicité de l'OGM sur la santé des rats. Nous l'avons dit avant bien d'autres et le confirmions ici après bien d'autres. Ce que nous reprochent certains de nos lecteurs ? Tout autre chose en vérité, et en particulier des choses sur lesquelles nous ne nous sommes pas exprimés dans cet article. Florilège et mise au point.

“Comment pouvez-vous être si sûrs que les OGM ne présentent aucun risque pour la santé?”

Christian Lefèvre, Roubaix

SV Contrairement à ce que vous semblez croire, nous n'en sommes pas sûrs ! Et n'avons jamais prétendu l'être. Rappelons que, en théorie, deux hypothèses permettent d'envisager comment un OGM pourrait intoxiquer un organisme. Soit le gène introduit dans le génome

de la plante induit la production d'une protéine dont la consommation pourrait avoir des effets néfastes pour l'organisme; soit cette insertion a perturbé le génome de la plante au point de modifier sa composition et de rendre sa consommation néfaste. Pour se protéger de ces éventualités, deux types de tests sont menés sur chaque candidat OGM avant son entrée sur le marché européen. Le premier consiste à

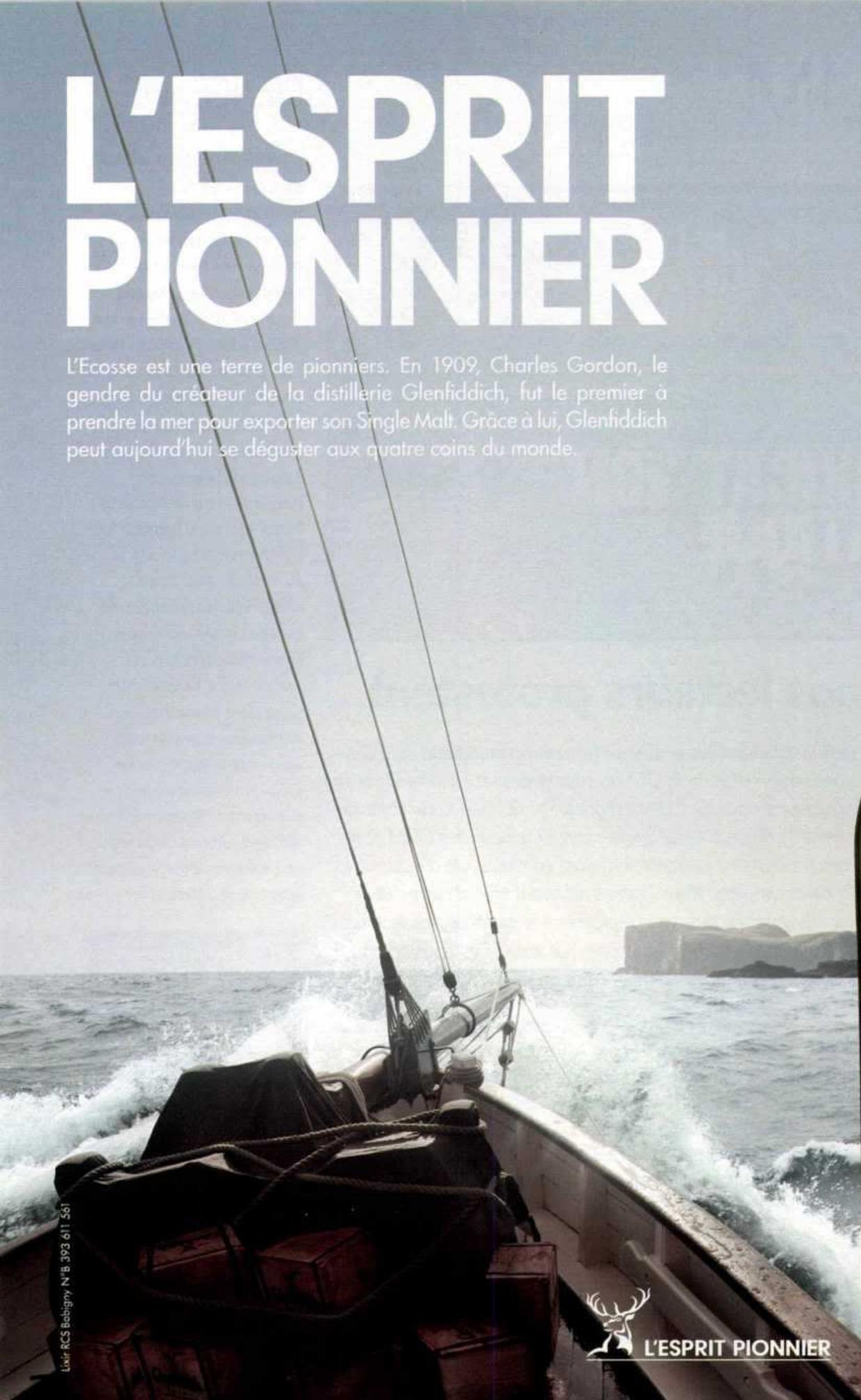
comparer son "équivalence en substance" avec celle de la même plante "non-OGM". C'est-à-dire à comparer leurs compositions moléculaires, afin de s'assurer qu'en dehors de la protéine produite par le gène ajouté, la plante OGM n'a pas subi d'autres modifications, de manière involontaire. Le second test s'assure de l'absence de toxicité de l'OGM, en comparant ses effets à ceux de son équivalent non-OGM, sur des animaux de

laboratoire qui en consom-
ment pendant plusieurs
semaines. De tels tests ont
évidemment leurs limites,
comme nous l'expliquions
dans le n° 1140 de septembre
2012 où nous détaillions "les
trois principes défaillants de la
toxicologie". Notamment, des
différences subtiles entre les
deux plantes peuvent passer
à travers le filtre du test
d'équivalence en substance.
Et, comme nous l'expliquions
d'ailleurs dans notre article
du mois dernier, tous les
effets néfastes potentiels ne
sont pas observables avec
des tests de consomma-
tion de moins de trois mois.
Cependant, la combinaison
de ces deux types de tests
permet de limiter le risque
qu'un effet néfaste échappe
aux agences de sécurité des
aliments. Un avis largement
partagé dans la communauté
scientifique. Même si le →

**La boutique
SCIENCE VIE**
NOUVEAU!
WWW.
laboutiquescienceetvie.com

L'ESPRIT PIONNIER

L'Ecosse est une terre de pionniers. En 1909, Charles Gordon, le gendre du créateur de la distillerie Glenfiddich, fut le premier à prendre la mer pour exporter son Single Malt. Grâce à lui, Glenfiddich peut aujourd'hui se déguster aux quatre coins du monde.



L'ESPRIT PIONNIER



FORUM

→ risque sanitaire ne saurait être nul, il apparaît donc beaucoup moins préoccupant que ceux liés aux pesticides, aux perturbateurs endocriniens ou aux nanomatériaux, à propos desquels S&V alerte régulièrement ses lecteurs ("La France malade de ses pesticides" en janvier 2007; "Enquête sur ce qui dérègle nos hormones" en décembre 2008; "Perturbateurs endocriniens: pourquoi ils sont de nouveaux accusés", en août 2011; "Les nanoparticules sont-elles dangereuses pour la santé" dans le hors-série de décembre 2010...).

"Comment faire confiance aux agences de tout poil décrédibilisées par les conflits d'intérêt de leurs experts?"

Daniel Bradis
(La Celle-Saint-Cloud)

S&V Nous ne l'avons jamais caché: les doutes sont, en la matière, permis car l'évaluation est entachée de conflits d'intérêt. Tout d'abord, les études sur lesquelles se basent les décisions d'autorisation sont réalisées par les producteurs d'OGM eux-mêmes. Or, notre article soulignait l'influence des sources de financement des études sur leurs conclusions. Ensuite, la validité de ces dernières est contrôlée par l'agence européenne de sécurité des aliments qui reçoit l'intégralité des données réunies par les producteurs d'OGM. Or, les experts



qui y travaillent ne sont pas non plus tous exempts de conflits d'intérêt. Pourtant, il existe un outil de contrôle qui permettrait de s'assurer de la validité de ces études: rendre publique l'intégralité des données réunies au cours de ces tests, afin que toute la communauté scientifique, et pas seulement les comités sélectionnés par les agences, puisse juger de leur validité. Comme nos lecteurs, nous regrettons que cela ne soit pas fait, officiellement pour des raisons de secret industriel.

"Pourquoi un tel engagement de la rédaction pour nier les dangers des OGM?"

Eric Duquenne, Internet

S&V "Nier les dangers des OGM?"... C'est vous qui le dites. Non seulement parce que des dangers, il y en a d'avérés (d'ordres environnementaux, agronomiques et économiques) et, loin de les cacher, nous les avons même déjà longuement évoqués, en particulier dans notre dossier

qui, en novembre 2007, fit la une de notre magazine et intitulé "Les OGM sont-ils dangereux?" (S&V n° 1082, p. 54). Petit retour sur ce que nous disions alors. A savoir que l'impact des OGM sur l'environnement procède avant tout par la contamination des plantes alentour. Un sujet très étudié car pour une plante comme le maïs, très sujette à la pollinisation croisée, il est particulièrement difficile de garantir que les gènes des OGM ne contaminent pas les maïs conventionnels qui poussent à proximité et, dans certaines régions du monde, contaminent les plantes sauvages apparentées. Lorsque l'OGM est résistant aux herbicides, la dissémination de ce caractère à des plantes sauvages est aussi évidemment un problème. Ce phénomène a notamment été observé au Canada entre le colza et la navette. De la même façon, les OGM conçus pour produire un pesticide dirigé contre un ravageur peuvent nuire à d'autres insectes de la même famille. Ou faire apparaître chez eux une résistance.

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

SCIENCE & VIE

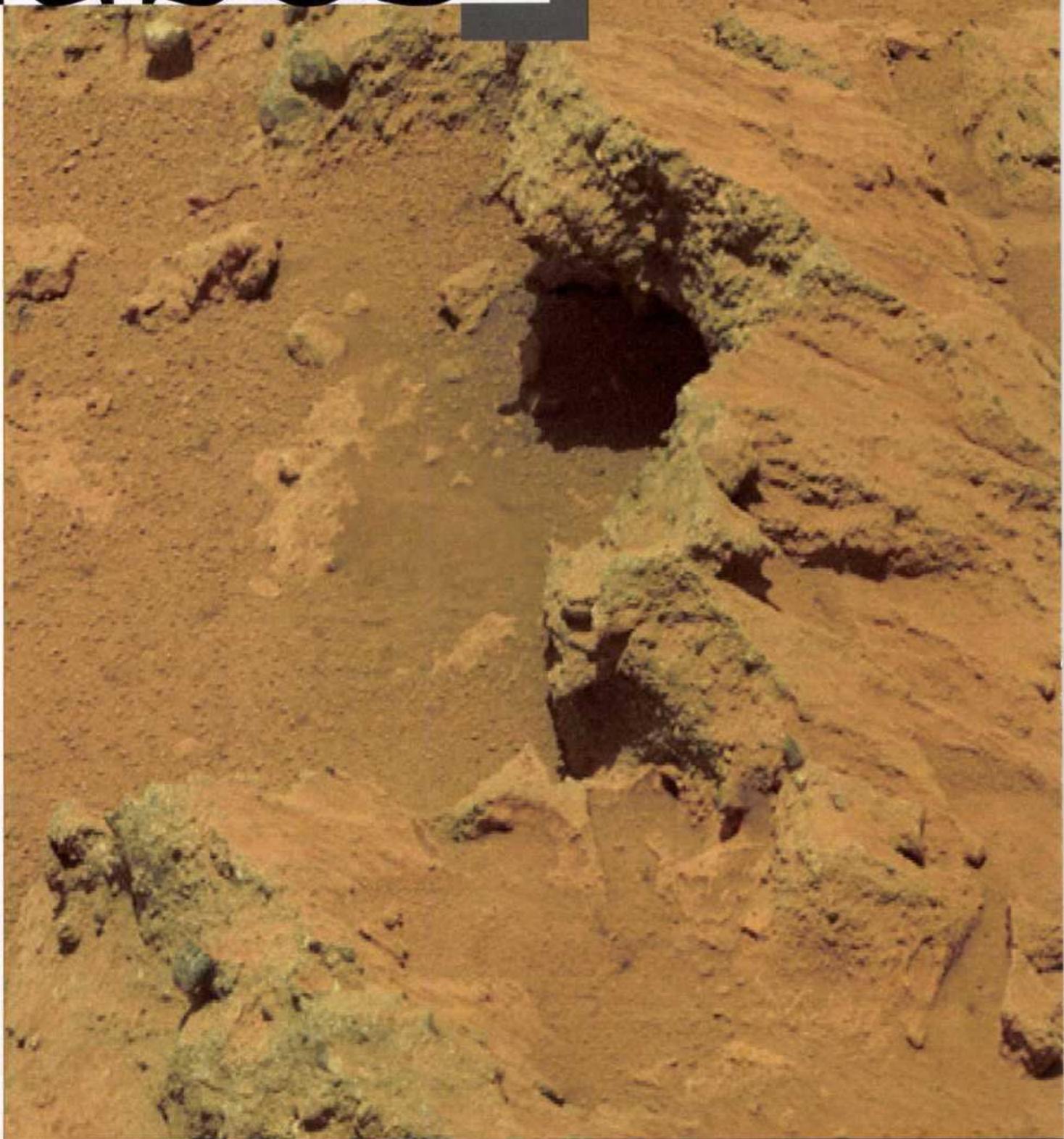
Cela s'est vu l'an dernier aux Etats-Unis.

On ne saurait lister les problèmes que posent les OGM sans évoquer l'impact qu'ils ont sur l'agroéconomie. Tout particulièrement parce qu'ils renforcent la dépendance des agriculteurs à l'égard des semenciers. Et cela pas uniquement dans les pays en développement, car, pour certaines cultures des pays plus riches (notamment le blé et le colza), ce sont tout de même quelque 40 % des semences qui sont réutilisées d'une année sur l'autre. Un dernier point: lorsqu'un OGM s'avère économiquement profitable, les surfaces qui lui sont consacrées augmentent au détriment de la biodiversité des plantes cultivées. Bref, en l'état actuel des connaissances, les problèmes les plus patents des OGM ne concernent pas la santé (et les problèmes les plus patents sur la santé ne sont pas les OGM).

Autant de questions qu'il faudra éclaircir avant de pouvoir présenter les OGM comme une solution viable et durable pour l'agriculture.



actus labos





Le petit robot de la Nasa, en mission sur Mars, a photographié cette zone couverte de gravillons arrondis, signe qu'un torrent s'écoulait autrefois ici.

PLANÉTOLOGIE

CURIOSITY PROUVE QU'IL Y A BIEN EU DE L'EAU SUR MARS

"Il y a eu des dizaines d'articles scientifiques sur les rivières martiennes... mais aujourd'hui, on passe de la spéculation à l'observation directe. Pour la première fois, nous les voyons réellement!", se félicite William Dietrich, de l'université de Californie, membre de la mission Curiosity. Le petit robot de la Nasa, qui évolue depuis début août sur la pla-

nète rouge, a fait sa première grande découverte fin septembre. Ses caméras ont immortalisé une zone couverte de gravillons arrondis : le lit d'une rivière. *"Il n'y a pas de doute : un courant d'eau a sculpté ces cailloux,* assure William Dietrich. *Leur forme nous indique en effet qu'ils ont été érodés par un fluide, et ils sont trop gros – certains font jusqu'à 4 cm*

de longueur – pour avoir été transportés par le vent martien." Ainsi, les chercheurs estiment qu'il y a plusieurs millions d'années, à l'endroit où se trouve actuellement Curiosity, l'eau s'écoulait à une vitesse de 3 à 4 km/h et que sa profondeur variait de quelques dizaines de centimètres à 1 mètre. Il s'agit donc d'un torrent plutôt que d'une rivière. Un tor-

rent qui, d'après les images prises en orbite, faisait partie d'un grand delta fluvial. Le ruissellement devait y être trop violent pour que des traces de vie aient pu perdurer dans les roches – les dépôts sédimentaires du cratère Gale demeurent donc l'objectif prioritaire de Curiosity. Mais, déjà, la preuve en est : l'eau a coulé à flots sur Mars.

M.F.

NASA/JPL-CALTECH/AMSSS

ASTROPHYSIQUE

CETTE GALAXIE A QUASIMENT L'ÂGE DU BIG BANG !

Elle brillait il y a 13,2 milliards d'années. Soit "à peine" 500 millions d'années après le big bang. Cette galaxie, la plus ancienne jamais observée, se serait même formée 200 millions d'années seulement après la naissance de l'Univers. En théorie, les télescopes ne permettent pas de voir des objets aussi anciens. Mais la gravité au voisinage de certains amas de galaxies est tellement puissante qu'elle fait dévier la lumière, offrant la possibilité de zoomer sur les zones du ciel situées derrière ces amas, à la manière d'une loupe déformante. C'est cet effet dit de "lentille gravitationnelle" qu'a utilisé

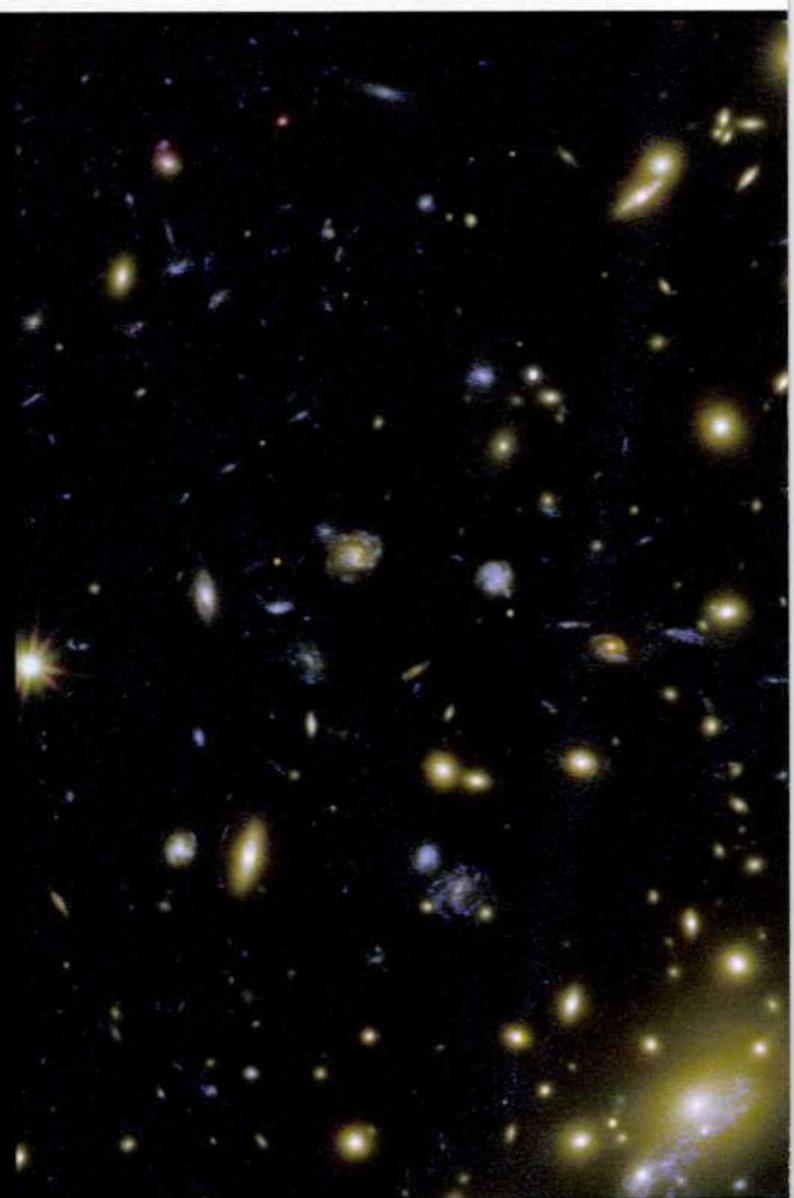
l'équipe internationale ayant dirigé les recherches, avec l'aide des télescopes spatiaux *Hubble* et *Spitzer*. Selon les astrophysiciens, la découverte de cette galaxie indique que le taux de formation d'étoiles devait, dès les premières centaines de millions d'années qui ont suivi le big bang, être à son maximum. C'est le rayonnement ultraviolet émis par ces premières étoiles qui expliquerait l'"ionisation" du gaz intergalactique: autrement dit, le fait que le gaz dans lequel baignait l'Univers juste après le big bang – neutre, formé d'atomes d'hélium et d'hydrogène – se soit chargé électriquement.

A.D.

275

C'est le nombre minimum de molécules d'eau nécessaires pour former de la glace. En étudiant la lumière absorbée par des échantillons contenant de 80 à 500 molécules d'eau, une équipe de l'université allemande de Göttingen a observé qu'en deçà de 275, les molécules sont trop peu pour dessiner les motifs d'un réseau cristallin, même si la température les y oblige.

M.F.



ANTHROPOLOGIE

Homo sapiens sillonnait déjà l'Asie il y a 60 000 ans

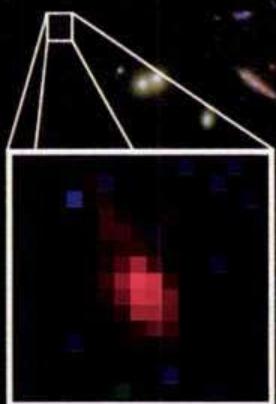
La colonisation de l'Asie du Sud par notre espèce vient d'être éclairée par Fabrice Demeter, du Muséum d'histoire naturelle. Dans la grotte de Tam Pa Ling (Laos), à 1170 m d'altitude, il a exhumé le crâne d'un *Homo sapiens* de 60 000 ans (photo) – le plus ancien homme moderne retrouvé dans la région. La présence de ce possible ancêtre des premiers Australiens rend crédible l'existence d'autres voies de migration, qui n'auraient pas longé les côtes.

E.R.

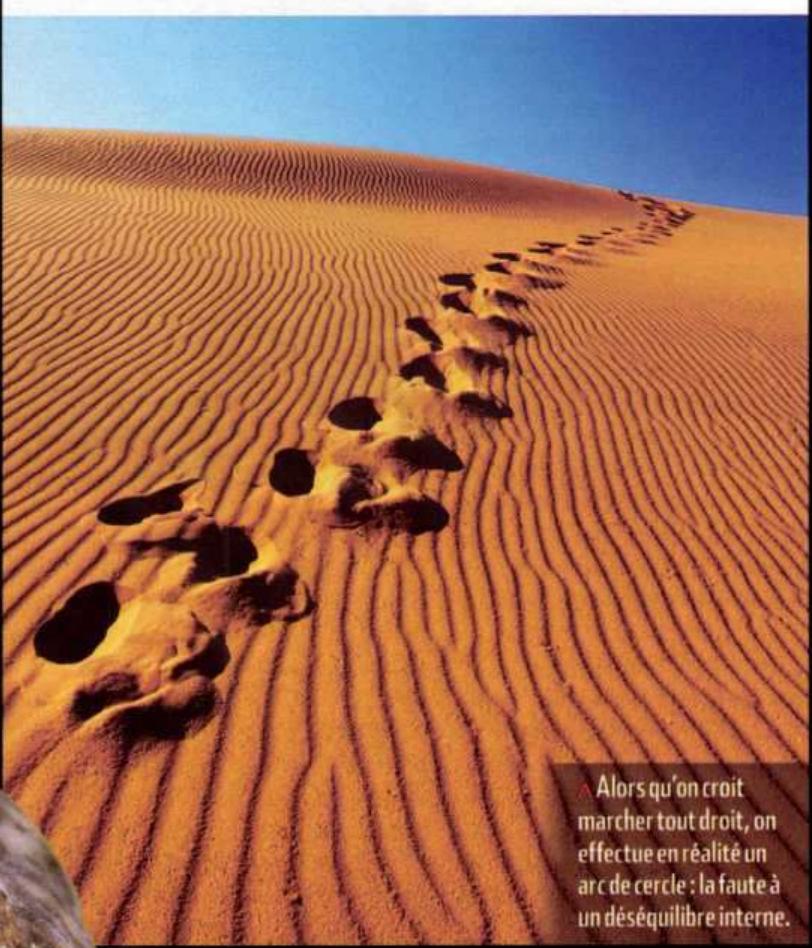
NEUROSCIENCES

PERDU DANS LE DÉSERT, ON EST BIEN VOUE À TOURNER EN ROND

Si l'on tourne en rond quand on marche sans repères, dans le désert ou dans la forêt par exemple, c'est à cause d'une légère asymétrie dans le traitement des informations sensorielles issues de l'oreille interne, responsable de l'équilibre. Voici ce qui ressort d'une étude menée à l'Institut de neurosciences cognitives et intégratives d'Aquitaine. Equipés de masques et de casques antibruit, 15 volontaires devaient marcher tout droit sur 140 mètres dans un vaste espace clos. Résultat: dans 89 % des tentatives, les participants effectuaient en réalité des arcs de cercle. Comme ils déviaient tout autant vers la gauche que vers la droite, les neurophysiologistes ont écarté la piste d'asymétries dans les muscles, la longueur des pas ou des jambes. Surprise: la tendance à tourner en rond serait en fait liée à un décalage du centre de gravité. Dans le noir et le silence, le sens de l'équilibre est en effet mis à contribution. "La capacité à suivre une trajectoire rectiligne se limite à notre représentation de la verticalité, explique Jean-René Cazalets, coauteur de l'étude. Or, celle-ci est instable sur de longues distances." Marcher tout droit avec l'oreille interne comme seul guide relève donc du défi sensoriel! J.G.



▲ Repérée par *Hubble* et *Spitzer*, cette galaxie aurait commencé à briller 200 millions d'années seulement après la naissance de l'Univers.



▲ Alors qu'on croit marcher tout droit, on effectue en réalité un arc de cercle : la faute à un déséquilibre interne.





SCIENCE & VIE

N°1136
MAI 2012

Une boule de feu, une étoile filante éblouissante, un bolide... Nous annoncions en mai dernier que de petits astéroïdes ne cessent d'être captés par l'attraction de la Terre et donc, que statistiquement, il y a toujours une deuxième lune en orbite. La preuve: il se pourrait qu'on ait vu tomber le 21 septembre celle gravitant en ce moment autour de notre planète!

LES FORUMS EN ÉBULLITION

A 22 h 55, heure locale, un météore d'une brillance exceptionnelle a en effet illuminé le ciel anglais. Les forums d'astronomes amateurs n'ont pas tardé à être submergés de messages: "J'étais assise dans mon salon quand je l'ai vue: une longue queue du rouge au blanc", raconte Jacqueline Purdie, à Edimbourg. "Je n'en suis toujours pas revenu!", relate Jacob Spencer, à Birmingham. Il était orange, jaune... et il est resté visible plus de 20 secondes." "J'étais dans une voiture quand je l'ai vu, relate Rudi Theunissen à Neerpelt, en Belgique. Il était incroyablement brillant. Nous avons pensé qu'il allait tomber sur Terre, quand tout à coup, il a disparu!"

Les observatoires ont été alertés et les spécialistes ont rapidement compris que l'objet était atypique: "Sa vitesse de 8 km/s était trop faible pour

A-T-ON VU TOMBER LA DEUXIÈME LUNE DE LA TERRE?

Le mystérieux objet qui a illuminé le ciel de l'Angleterre le 21 septembre serait la deuxième lune que nous évoquions en mai dernier: l'enquête n'est pas terminée, mais l'hypothèse de la chute du petit astéroïde est très probable...



un astéroïde ordinaire pénétrant l'atmosphère, détaille Jérémie Vaubaillon de l'Institut de mécanique céleste et de calcul des éphémérides. Et il est très peu probable qu'il s'agisse d'un satellite artificiel, car il se déplaçait d'est en ouest – les satellites artificiels tournent majoritairement dans le sens de la rotation de la Terre." Mais surtout, une heure et demie plus tard, un météore similaire était observé au Canada et dans le nord-est des Etats-Unis. Les astronomes collectent encore les clichés des amateurs pour retracer précisément la trajectoire des mystérieux objets...

▲ L'objet céleste a été vu par de nombreux témoins en Grande-Bretagne. Il se serait disloqué au contact de l'atmosphère avant de chuter au-dessus du Canada.

mais déjà, ils en sont convaincus, il doit s'agir du même objet: un petit astéroïde qui se serait disloqué en frôlant l'atmosphère au-dessus de l'Angleterre avant de poursuivre sa course en orbite et de chuter au-dessus du Canada.

Bref, une petite lune de la Terre se serait brûlé les ailes à trop s'approcher d'elle. "C'est la meilleure explication, assure Jérémie Vaubaillon. Et si c'est le cas, c'est fantastique! Cela veut dire que pour la première fois, on a assisté à la chute d'un satellite temporaire de la Terre!" Pour la première fois, il se pourrait qu'on ait vu tomber une lune! M.F. ☒

Samsung GALAXY Note II



Be creative*



Avec Air View, pré-visualisez le contenu de vos albums photos, e-mails, vidéos, agendas en passant simplement le S Pen au-dessus de l'écran. Un moyen pratique de trouver tout ce que vous cherchez instantanément.

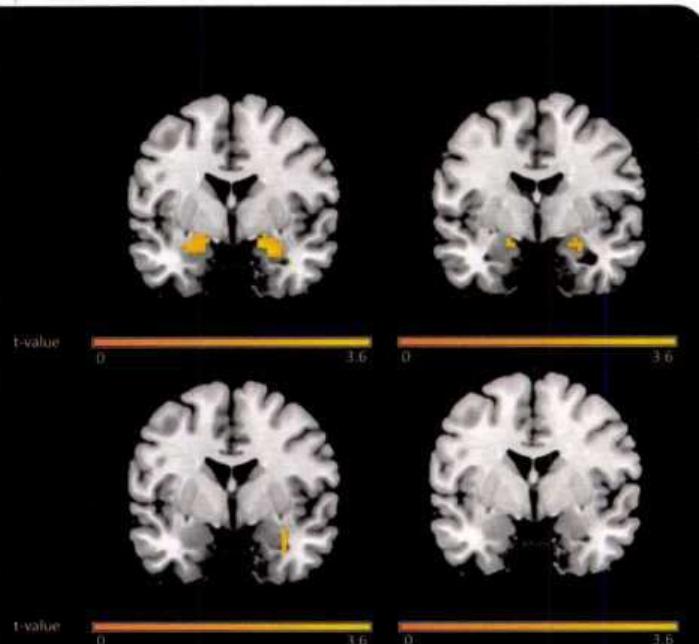
Samsung Galaxy Note II, votre nouvelle source d'inspiration.

Écran 5.5" HD AMOLED | Processeur Quad Core 1,6 GHz | S Pen intégré

*Nouvelle source d'inspiration.

SAMSUNG

DAS = 0,369 W/kg. Le DAS (détat d'absorption spécifique des téléphones mobiles) quantifie le niveau d'exposition maximal de l'utilisateur aux ondes électromagnétiques, pour une utilisation à l'oreille. La réglementation française impose que le DAS ne dépasse pas 2 W/kg. © 2012 Samsung Electronics France, 270 avenue du Président Wilson, 93456 La Plaine Saint Denis Cedex. RCS Bobigny 334 367 407. SAS au capital de 27 000 000 €. Images d'écran simulées. Visuals non contractuels. Images d'écran simulées illustrant la prévisualisation des photos d'un album.



▲ A gauche, les neurones de l'amygdale associés à un souvenir traumatisant sont réactivés (en jaune) ; à droite, pas de réaction, le souvenir a été effacé.

PSYCHOLOGIE

UN MAUVAIS SOUVENIR PEUT ÊTRE EFFACÉ

Empêcher un souvenir associé à la peur de s'implanter durablement dans le cerveau humain, jusqu'à effacer sa trace. C'est le tour de force qu'ont accompli Thomas Agren et son équipe de l'université d'Uppsala, en Suède, en intervenant sur le processus de consolidation des souvenirs traumatisants. En pratique, ils ont d'abord conditionné une vingtaine de personnes à avoir peur, en associant l'apparition d'une image à un choc électrique. Puis, ils ont formé deux groupes. Le premier a été de nouveau exposé à l'image six heures après, sans choc, ce qui a provoqué une réaction de peur se traduisant par une activité neuronale dans

l'amygdale (à g. sur la photo), une région du cerveau chargée de "donner l'alerte" en cas de menace. En six heures, le souvenir avait été consolidé. A l'inverse, le second groupe a été exposé, de manière répétée et dix minutes seulement après les chocs électriques, à la même image, mais cette fois sans choc. La consolidation du souvenir traumatisant – un choc associé à une image – a ainsi été perturbée. Résultat : l'imagerie cérébrale a révélé pour ce groupe l'absence d'activité dans l'amygdale (à dr.), prouvant que la peur s'était bien effacée de leur mémoire. Reste à tester cette méthode sur des peurs plus anciennes et déjà consolidées. P.-Y.B.

ON SAIT OÙ JULES CÉSAR FUT ASSASSINÉ

Le 15 mars 44 av. J.-C., Jules César s'effondrait, poignardé à mort. On savait par les textes antiques que le meurtre avait eu lieu dans la Curie de Pompée, lors d'une séance du Sénat. Des archéologues ont pointé le lieu exact en trouvant la structure de béton édifiée pour condamner la zone. E.R.

DE L'ADN MÂLE TROUVÉ DANS DES CERVEAUX DE FEMMES

L'autopsie de 59 cerveaux de femmes a révélé de l'ADN masculin dans 37 d'entre eux. Cet ADN étranger proviendrait d'un fœtus, dont les cellules peuvent traverser le placenta. Certaines d'entre elles, ou leur ADN, se seraient fixées dans le cerveau de la mère. V.E.

L'AMBRE RÉVÈLE SES PLUS ANCIENS FOSSILES

Deux acariens et un mouche-ron ont été découverts piégés dans des gouttelettes d'ambre depuis 230 millions d'années. C'est 100 millions d'années de plus que les plus anciens fossiles d'arthropodes retrouvés dans de l'ambre jusqu'ici. F.G.

PHYSIOLOGIE

LES VRILLES DU CONCOMBRE ONT LIVRÉ LEUR SECRET

Elle pousse en ligne droite vers la lumière, se hisse jusqu'à un support puis, une fois ancrée, se contracte en formant des hélices semblables à celles d'un cordon de téléphone. Mais par quel procédé la tige du concombre (photo) se vrille-t-elle ? Sharon Gerbode et Joshua Puzey (université Harvard), ont enfin désigné les coupables : un cordon de petites cellules présentes uniquement sur la face intérieure de la vrille. Signe particulier : elles sont chargées de lignine, une molécule qui confère sa rigidité au bois et qui n'aime pas l'eau. Les biologistes pensent qu'en se remplissant de lignine, les cellules expulsent leur eau et rétrécissent. C'est la différence de taille entre ces cellules et celles de la face externe qui provoque une contraction et imprime à la tige sa courbure. E.H.





TOUT LE MONDE PEUT JOUER AUX COURSES



1/ RAPIDE

Tout est automatique, 10 secondes suffisent pour parier.

2/ FACILE

La machine choisit les chevaux pour vous.

3/ MALIN

Vos chevaux ne sont pas sélectionnés au hasard,
mais en fonction des paris des autres joueurs.



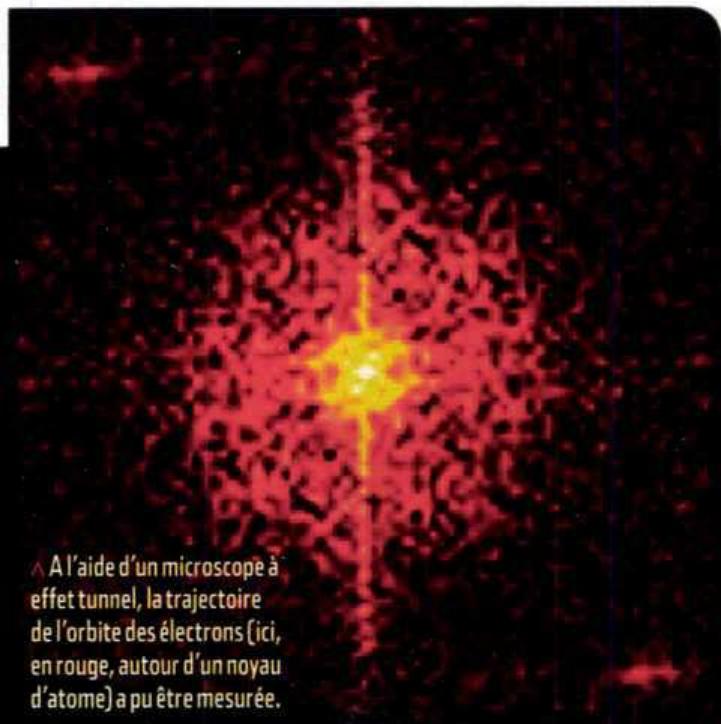
Jusqu'à
20 fois plus de chances de gagner
qu'en jouant au hasard.*



On parie que vous allez gagner

*Ratio constaté en 2011 entre les statistiques de gain sur un Quinté+ spOt ordre par rapport à une sélection aléatoire des chevaux par le parieur pour un Quinté+ ordre.

JOUER COMPORE DES RISQUES : ENDETTEMENT, DÉPENDANCE... APPElez LE 09 74 75 13 13 (APPEL NON SURTAXÉ).



À l'aide d'un microscope à effet tunnel, la trajectoire de l'orbite des électrons (ici, en rouge, autour d'un noyau d'atome) a pu être mesurée.

PHYSIQUE

LE BALLET DES ÉLECTRONS A ÉTÉ PHOTOGRAPHIÉ

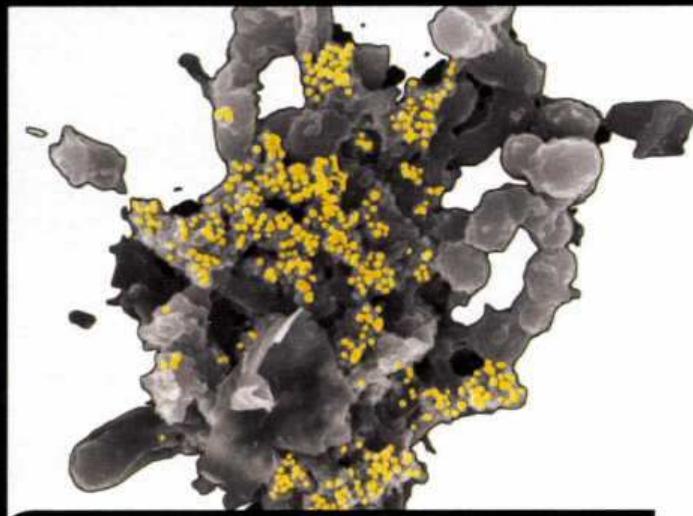
Pour la première fois, les circonvolutions des électrons ont été mesurées. À l'aide d'un microscope à effet tunnel, une équipe nippo-franco-allemande a réussi à photographier les orbites d'électrons plongés dans un fort champ magnétique ; à les mesurer avec une précision inférieure au nanomètre... et à vérifier qu'elles étaient en accord avec la théorie. "Jusqu'ici, on avait réussi à voir les atomes, les électrons eux-mêmes, et à quantifier leur énergie cinétique, relate Thierry Champel, qui a participé aux recherches à l'université de Grenoble. Mais le centre de leur orbite bougeait tellement qu'on ne parvenait pas à mesurer leur

trajectoire." Pour réussir ce tour de force, les chercheurs ont confiné un gaz d'électrons à la surface d'un solide, formant un échantillon en deux dimensions idéal pour le microscope à effet tunnel. Puis, ils ont développé toute une nouvelle théorie pour désenchevêtrer le mouvement des électrons de celui du centre de l'orbite. Enfin, ils ont pu s'apercevoir que les électrons se cantonnent très précisément aux orbites autorisées par les lois de la mécanique quantique. "C'est tout à fait remarquable, s'exclame Thierry Champel. Une fois de plus, l'accord est parfait avec la théorie mise au point... au début du xx^e siècle." M.F.

BIOLOGIE MOLÉCULAIRE

L'ADN n'est pas éternel

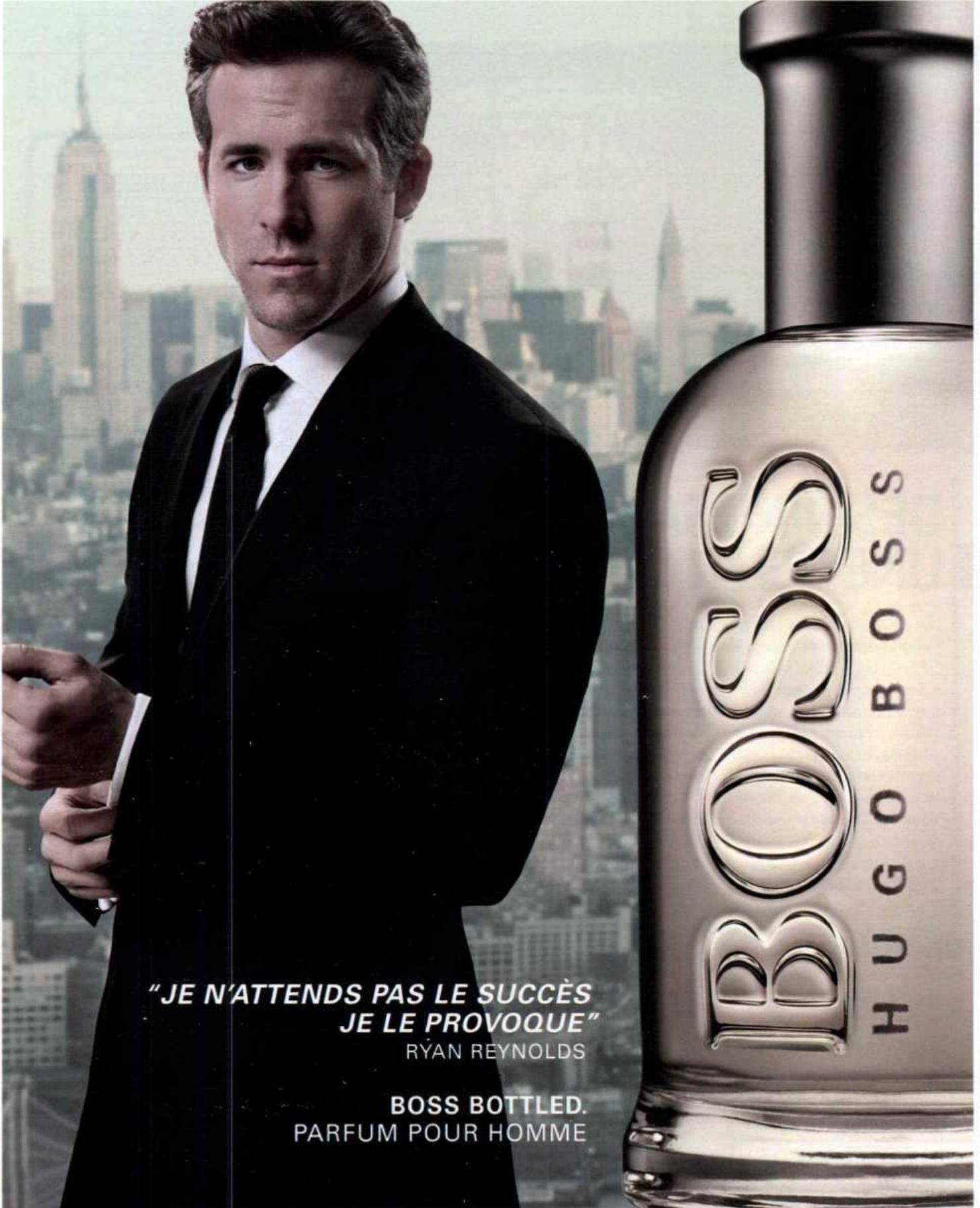
S'il est conservé à une température de 25 °C, il suffit de 521 ans pour que la moitié des liaisons entre les nucléotides qui forment l'ADN soient rompues. C'est ce qu'a calculé Morten Allentoft (université Murdoch, Australie) à partir de l'analyse d'os d'un oiseau géant aujourd'hui éteint. En abaissant la température, la dégradation est nettement ralentie. Toutefois, même à -5 °C, l'ADN serait totalement détruit au bout de 6,8 millions d'années. Il est donc peu probable qu'on clone un jour les dinosaures, éteints depuis 65 millions d'années... L.C.



BACTÉRIOLOGIE

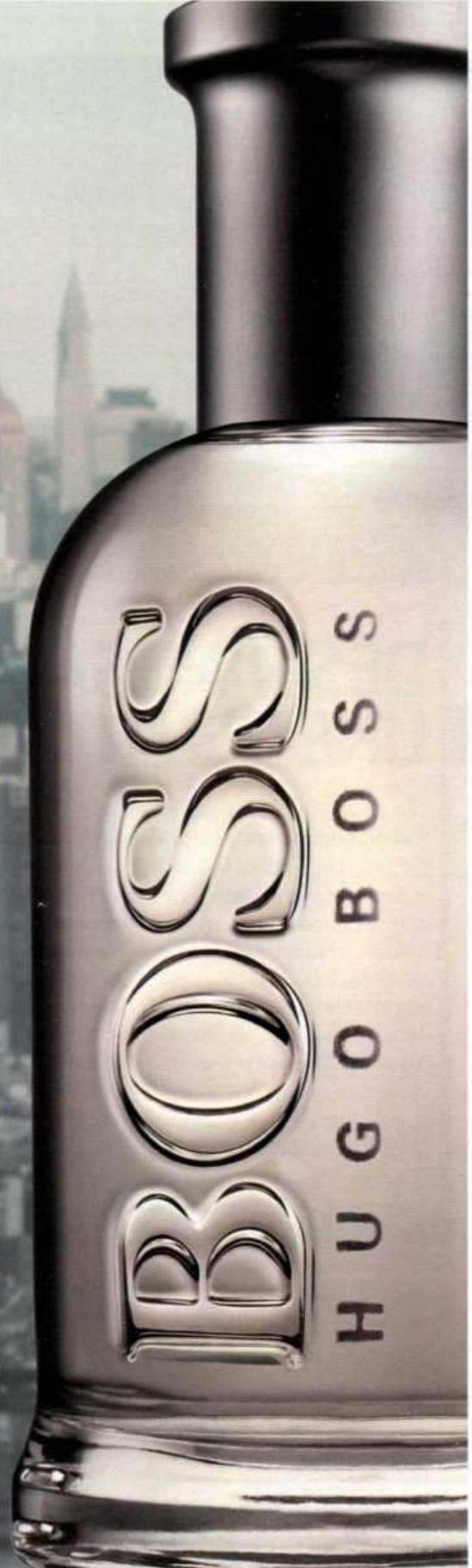
UNE BACTÉRIE EXCRÈTE DES PARTICULES D'OR PUR

De l'or 24 carats, c'est-à-dire pur à 99,99 % : voilà ce qu'ont obtenu Adam Brown et Kazem Kashefi, de l'université du Michigan, en plongeant la bactérie *Cupriavidus metallidurans* (photo) dans un bain toxique de chlorure d'or. En moins d'une semaine, cette bactérie, connue pour vivre dans des environnements pollués par des métaux lourds, a fait précipiter des nanoparticules d'or (en jaune). Elle s'est montrée 25 fois plus résistante que prévu à ces conditions délétères. Bien que cette méthode soit trop coûteuse pour produire de l'or en grande quantité, il est probable que, dans la nature, des pépites se soient formées grâce à ces bactéries "philosophales". L.C.

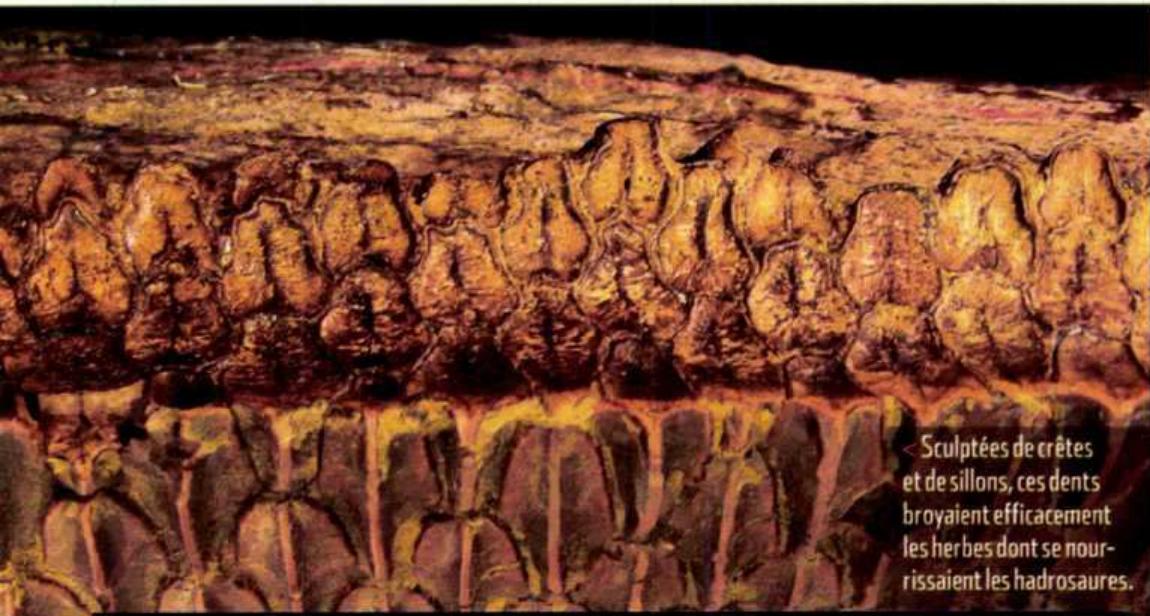


**"JE N'ATTENDS PAS LE SUCCÈS
JE LE PROVOQUE"**
RYAN REYNOLDS

BOSS BOTTLED.
PARFUM POUR HOMME



BOSS
HUGO BOSS



▶ Sculptées de crêtes et de sillons, ces dents broyaient efficacement les herbes dont se nourrissaient les hadrosaures.

PALÉONTOLOGIE

DES DINOSAURES AVAIENT UNE DENTITION COMPLEXE

Les dents des hadrosaures étaient composées non pas de deux constituants (émail et ivoire) comme celles des autres reptiles, ni même de quatre, comme celles des mammifères herbivores apparus bien après, mais bien de six tissus de dureté variable ! Telle est la conclusion d'une analyse minutieuse menée par Gregory Erickson, de l'université de l'Etat de Floride, aux Etats-

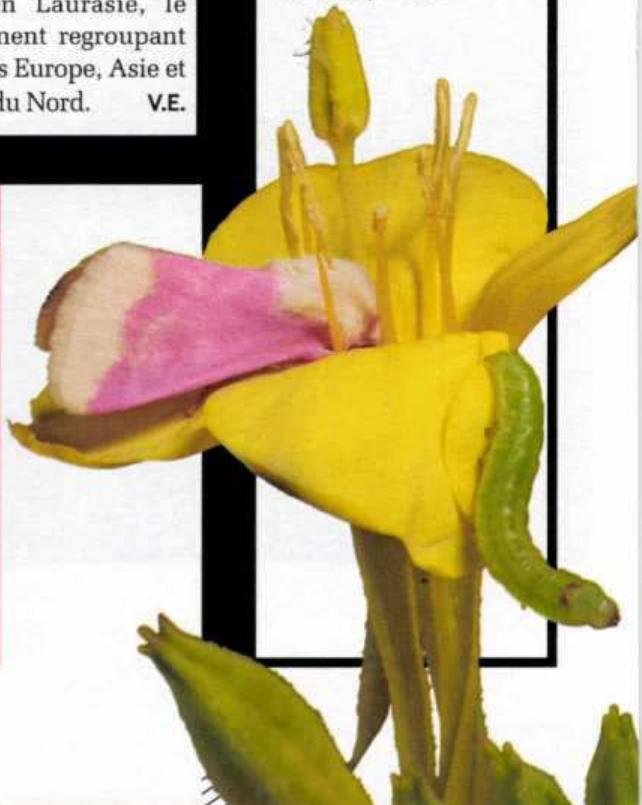
Unis. D'après le paléobiologue, ces "dinosaures à bec de canard" possédaient une batterie constamment renouvelée de plus de mille dents. Disposées en plusieurs rangées sur chaque mâchoire, les dents migraient d'avant en arrière en s'usant, avant de tomber. Comme la disposition des six tissus n'était pas uniforme à l'intérieur d'une dent, l'action abrasive des végétaux masti-

qués sculptait des crêtes et des sillons, formant des surfaces de broyage encore plus efficaces pour pulvériser les prêles, fougères et conifères coriacés que broutaient les hadrosaures. De quoi expliquer leur succès : en effet, ils ont été pendant 35 millions d'années les herbivores dominants en Laurasie, le supercontinent regroupant les actuelles Europe, Asie et Amérique du Nord. V.E.

ÉCOLOGIE

LES INSECTES FONT BEL ET BIEN ÉVOLUER LES PLANTES

Mises à l'abri des insectes, les plantes voient leurs défenses contre ces prédateurs décliner en seulement trois à quatre générations. C'est ce qu'a démontré Anurag Agrawal (université Cornell, Etats-Unis) en comparant le développement pendant cinq ans de plantes herbacées, en présence ou en l'absence d'insectes. Sans herbivores, les plantes ont fleuri plus tôt, réduit leur production de toxines défensives, et accru leur compétitivité. Ce qui prouve bien le rôle majeur des insectes dans l'évolution des plantes. S.F.



BIOLOGIE

Les eunuques vivaient plus vieux

Avec une espérance de vie de 70 ans en moyenne, les eunuques de la cour impériale de Corée vivaient jusqu'à dix-neuf années de plus que les hommes non castrés du même rang social. Dévoilé par l'analyse d'anciens registres, cet impressionnant écart "soutient l'idée que les hormones sexuelles mâles réduisent la longévité des hommes", notent les auteurs de l'étude. Cela pourrait s'expliquer par des effets négatifs de la testostérone sur le système immunitaire et cardio-vasculaire. Observé chez l'animal, l'impact de la castration sur la durée de vie demeure controversé chez l'homme. E.A.



Hyundai Motor France RCS Paris B 411 394 893

Live brilliant

Avec Hyundai, vivez chaque jour comme un grand jour.

brilliant.hyundai.com/fr

New Thinking. New Possibilities : Nouvelles idées. Nouvelles possibilités.

Modèle présenté : Hyundai i40 Sport Wagon Pack Premium Limited 1.7 CRDI 136. Consommations mixtes gamme i40 (l/100) : de 4,3 à 6,4. Emissions de CO₂ (g/km) : de 113 à 159. TRIPLE GARANTIE 5 ANS HYUNDAI : 5 ans de garantie kilométrage illimité - 5 ans d'assistance gratuite - 5 ans de contrôle annuel gratuit.


HYUNDAI | NEW THINKING.
NEW POSSIBILITIES.



MICROBIOLOGIE

CE MICROBE SE SOUVIENT DES LIEUX DÉJÀ PARCOURUS

Ce n'est pas parce qu'un organisme est unicellulaire, et n'a donc pas de cervelle, qu'il n'a pas de mémoire ! Voilà la conclusion de l'équipe menée par Chris Reid (université de Sydney, Australie) et Audrey Dussutour (université Toulouse-iii CNRS) après avoir étudié de près *Physarum polycephalum*, un étonnant cousin des amibes à cheval entre les animaux, les plantes et les champignons. Constitué d'une seule et gigantesque cellule, *P. polyce-*

phalum peut, pour se nourrir, se déplacer et "tâter" le terrain autour de lui en formant de longs "bras", qui laissent une fois rétractés des traces visqueuses. Surtout, les biologistes ont découvert que cette substance gluante lui sert d'"aide-mémoire" pour "se souvenir" des zones déjà parcourues. Placé dans une boîte de Petri avec de la nourriture mais séparé d'elle par un obstacle, l'unicellulaire teste son chemin vers elle avec ses tentacules, tout en

évitant les zones marquées par la substance visqueuse, ce qui lui permet de ne pas perdre son temps en réessayant des chemins déjà testés. S'il est cerné par la substance, *Physarum* relance une seconde exploration, qui sera alors moins précise et le mènera à la nourriture avec un taux de succès plus faible. Le mécanisme utilisé est donc une vraie stratégie, qui témoigne d'une des premières formes de mémorisation de l'environnement. E.R.

Ce protiste constitué d'une seule et gigantesque cellule possède les prémisses d'une mémoire spatiale.

ASTROPHYSIQUE

ON SAIT QUAND LA MATIÈRE TOMBE DANS UN TROU NOIR

S'approcher à moins de 56 millions de kilomètres du trou noir supermassif de la galaxie M87, c'est être assuré de finir happé par le monstre. Voilà ce qu'a calculé Sheperd Doeleman, du Massachusetts Institute of Technology, à l'aide de l'Event Horizon Telescope. Des modèles avaient déjà prédit qu'en deçà de cette distance, toute la matière était aspirée par le trou noir, mais c'est la première fois qu'elle est mesurée. Prochaine étape : s'approcher au plus près de l'horizon du trou noir, au-delà duquel même la lumière ne peut plus s'échapper. A.D.

ÉTHOLOGIE

Même adulte, l'orque mâle dépend de sa mère

Passé l'âge de 30 ans, les orques mâles ont un risque 8 fois plus grand de mourir dans l'année si leur mère disparaît. C'est ce qu'a découvert Emma Foster (université d'Exeter) en étudiant l'impressionnante longévité des orques femelles. Ces dernières peuvent vivre près d'un siècle, alors qu'elles ne sont plus capables de se reproduire passé 40 ans. Si ce n'est pas pour transmettre leurs gènes, pourquoi l'évolution a-t-elle favorisé leur survie ? On sait désormais que c'est pour seconder leur descendance mâle au quotidien. E.A.



- ENVIRONNEMENT
- SOCIÉTÉ ET ÉCONOMIE
- VIE HUMAINE

**AXA soutient
la recherche sur
les risques qui nous
concernent tous.**



Fonds AXA
pour la Recherche
Chercher pour protéger

Prévenir les risques, c'est aussi mieux les connaître. Avec le Fonds AXA pour la Recherche, AXA soutient plus de 300 équipes de chercheurs. Ce qui représente 92 millions d'euros alloués en 5 ans, en France et dans 25 autres pays.

Etude des risques liés au climat, au vieillissement ou aux réseaux sociaux...

Découvrez les projets soutenus sur axafrance.fr/fonds-recherche

réinventons / notre métier



"LA LUNE"

L'ÉPAVE MYTHIQUE COMMENCE ENFIN À LIVRER SES SECRETS

Gisant au large de Toulon par 90 m de fond, le vaisseau amiral de Louis XIV, "La Lune", restait jusqu'ici inaccessible. D'inédites techniques permettent enfin de l'explorer. Révélant ses trésors.

"Ce que nous sommes en train de fouiller ici, c'est un véritable Pompéi sous-marin!", s'enthousiasme Michel L'Hour, directeur du Département des recherches archéologiques subaquatiques et sous-marines (Drassm). Assiette, tuile, vase, chaudron... alors que les premiers objets viennent tout juste de sortir de l'eau, étonnamment conservés, le chercheur imagine déjà les prochaines fouilles : *"Au fond, à 90 m de profondeur, il reste encore une trentaine de canons et des milliers, voire des centaines de milliers d'éléments de vaisseille et de mobilier. On devrait aussi retrouver les ossements d'un millier d'hommes."*

INTACTE ET JAMAIS PILLÉE !

Si ces objets suscitent tant d'attention, c'est qu'ils proviennent d'un navire mythique : *La Lune*. Vaisseau amiral de la flotte de Louis XIV, ce trois-mâts de 40 mètres de long revenait d'une expédition militaire (ratée) en Afrique du Nord avec

1 000 hommes à bord lorsqu'il coula subitement le 6 novembre 1664, dans des conditions restées très mystérieuses. Il était alors à seulement 8 km des côtes de Toulon ! A l'époque, l'affaire fut soigneusement étouffée pour ne pas porter ombrage au roi, qui était encore un jeune souverain.

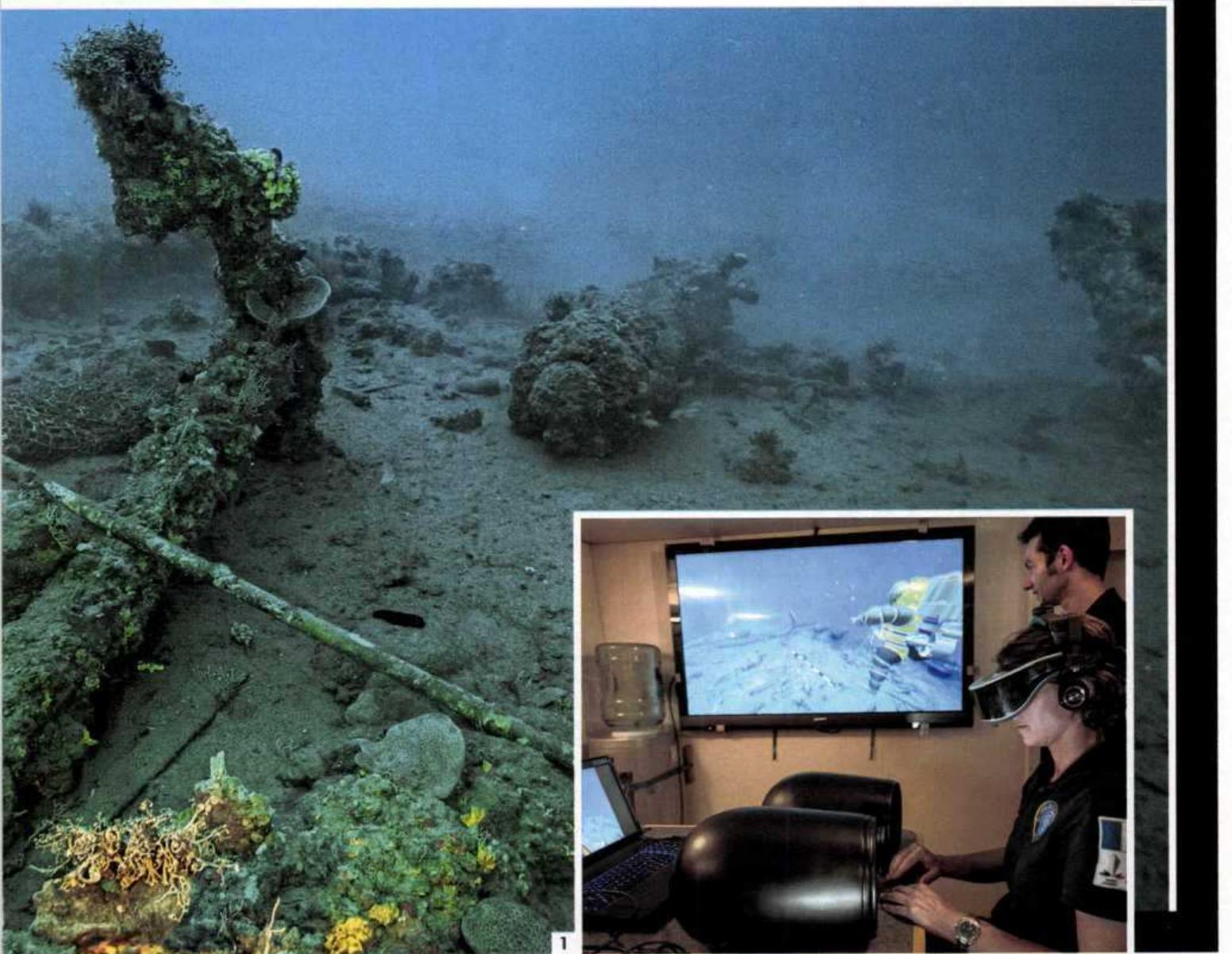
L'épave ne sera retrouvée que 329 ans plus tard, en 1993, par Paul-Henry Nargeolet, un spécialiste des fonds marins, grâce à un sous-marin de l'Ifremer qui effectuait des tests dans cette zone. Immédiatement, cette découverte fortuite fait grand bruit car dans le monde de l'archéologie, chacun s'interroge sur l'histoire de cette vieille *Lune* disparue. Pourtant, aucune fouille ne démarre dans la foulée. *"A cette profondeur, on ne disposait pas, à l'époque, de technologies assez poussées pour pouvoir remonter les pièces, sans les endommager"*,



commente le spécialiste qui a travaillé depuis sur le *Titanic* et apporte désormais son expertise sur *La Lune*. Vingt ans plus tard, les technologies sont enfin prêtes (voir encadré) et, le 10 octobre dernier, les fouilles ont pu commencer. A la barre : une équipe d'une trentaine de personnes pilotées par le Drassm et aidées par la Marine nationale. Et en aplomb de l'épave, un bateau ultramoderne, l'*André Malraux*, qui sert de plate-forme de plongée et de recherche. Equipé de treuils et d'instruments de fouille dernier cri (notamment un ventilateur qui chasse les sé-

1 L'exploration de l'épave a commencé le 10 octobre dernier...

2 ...et, entre l'ancre et les canons, ces deux pots, typiques de l'époque de Louis XIV, ont déjà pu être dégagés et remontés.



diments), ce navire sert à héberger les plongeurs, les robots, et tout le matériel de suivi vidéo de l'expédition. Il permet aussi d'entreposer les premiers objets remontés de *La Lune* et nettoyés tout de suite sur place.

“Ce bateau est l'une des plus belles épaves au monde car il a sombré en restant quasiment intact, explique Michel L'Hour. *En plus, à cette profondeur, les pilleurs amateurs n'ont pas pu y accéder et les sédiments l'ont incroyablement protégé.* Regardez ces premiers vases... Pour les historiens, c'est un trésor et un témoin extraordinaire du xvii^e siècle.”

M.V.

FAITS & CHIFFRES

Le 6 novembre 1664, le navire de **40 m** de long arrive au large de **Toulon**, surchargé d'hommes et en piteux état. Soupçonné d'apporter la peste, il est repoussé et coule près de l'île de **Porquerolles**, avec un **millier de personnes**. Seule une vingtaine de personnes réussit à survivre.



UN EXPLOIT PLACÉ SOUS LE SIGNE DE LA HIGH-TECH

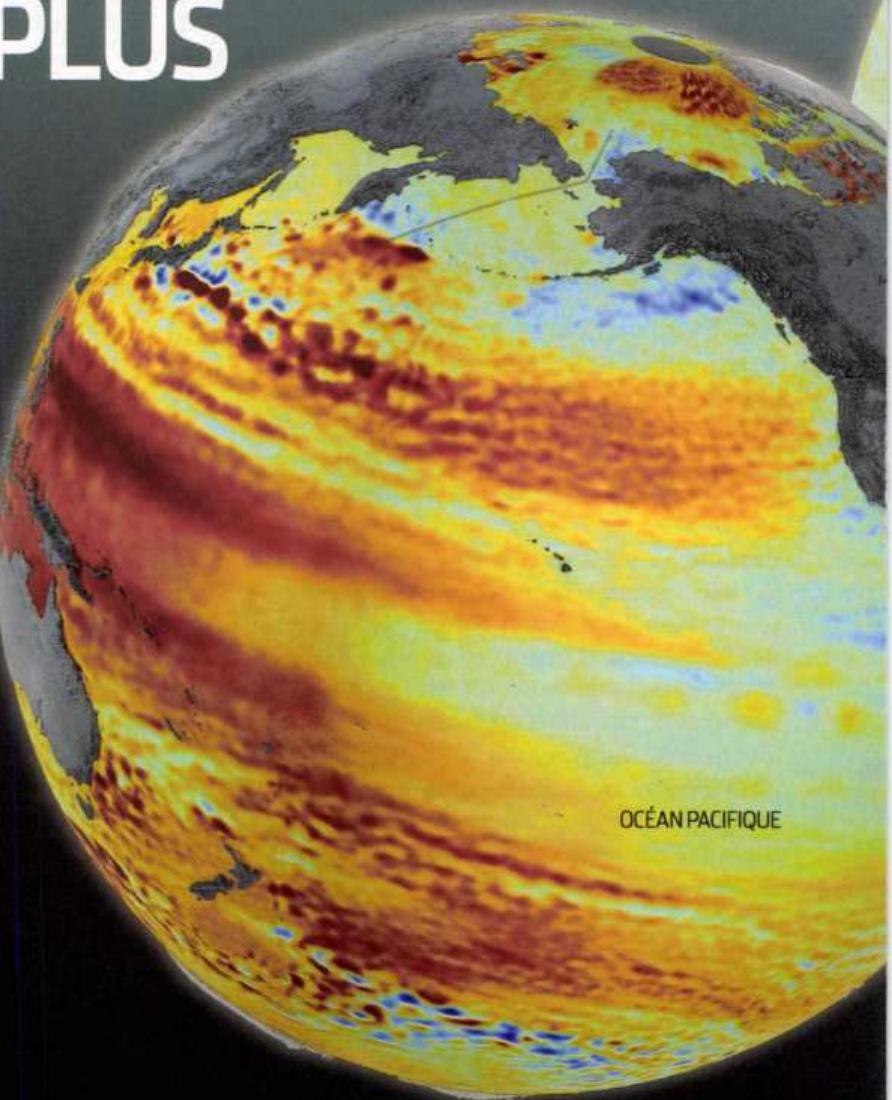
Pour explorer cette épave, les chercheurs se sont appuyés sur des technologies de fouille inédites. Ils ont notamment eu recours à un scaphandre de 200 kg, baptisé “Newtsuit”, qui permet de descendre jusqu'à 300 m pendant 6 à 8 heures (contre 10 min, sans scaphandre). Trois robots, pilotés depuis la surface, lui ont prêté main-forte en filmant et en transportant les objets lourds. En outre, une modélisation en 3D, réalisée par Dassault Systèmes, à partir de clichés pris par les robots, a permis au plongeur de s'entraîner, à l'aide d'un casque de réalité virtuelle et de bras et pédales simulant le scaphandre. Toutes ces technologies ont été déployées sur le bateau de recherche entré en service en janvier dernier.

actus terre

OCEANOGRAPHIE

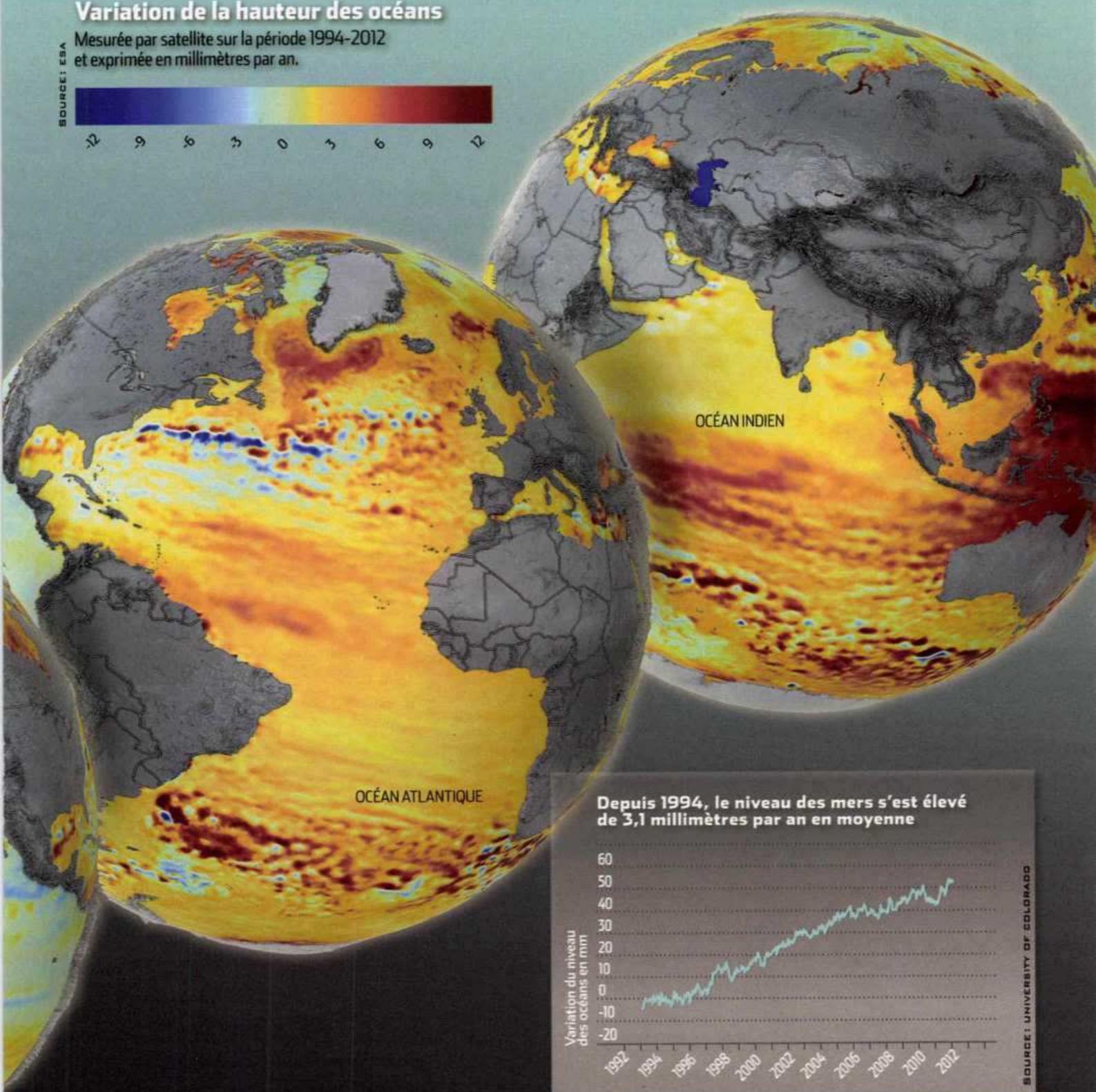
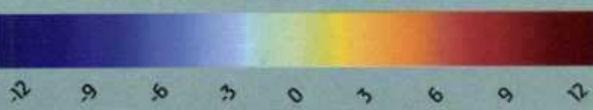
ON SAIT OÙ LE NIVEAU DES MERS S'ÉLÈVE LE PLUS

L'élevation du niveau des mers est très loin d'être uniforme à la surface du globe. Voici ce qui ressort de la carte publiée par l'Agence spatiale européenne fin septembre, et sur laquelle apparaissent les variations du niveau marin enregistrées depuis dix-huit ans par les satellites. Si la mer monte en moyenne de 3 mm par an sous l'effet conjoint de la dilatation thermique de l'eau et de la fonte des glaciers et calottes polaires, ce chiffre cache en réalité de fortes disparités régionales. Ainsi, le niveau des mers s'est élevé de 12 mm/an dans la mer des Philippines, le sud de l'océan Indien et au large du Groenland, alors qu'il s'est abaissé d'autant au large du Japon et des côtes californiennes ! Une hétérogénéité qui s'explique par des variations dans le stockage de chaleur par les eaux de surface, et le renforcement ou la diminution des courants marins à l'échelle décennale. "Les évolutions les plus fortes, positives ou négatives, sont localisées dans les régions de fort courant océanique, comme le Gulf Stream dans l'Atlantique ou le Kuroshio dans le Pacifique", constate Paolo Cipollini, du Centre national d'océanographie de Southampton (Royaume-Uni). E.H.

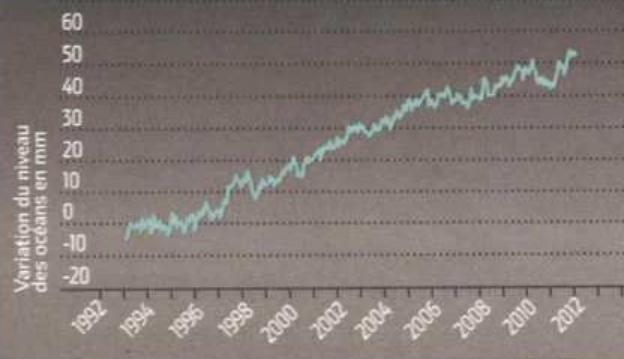


Variation de la hauteur des océans

Mesurée par satellite sur la période 1994-2012 et exprimée en millimètres par an.



Depuis 1994, le niveau des mers s'est élevé de 3,1 millimètres par an en moyenne



0,5 mm, c'est la précision de la carte de la surface des océans.

95 % des océans sont cartographiés tous les dix jours par le satellite Jason 2.

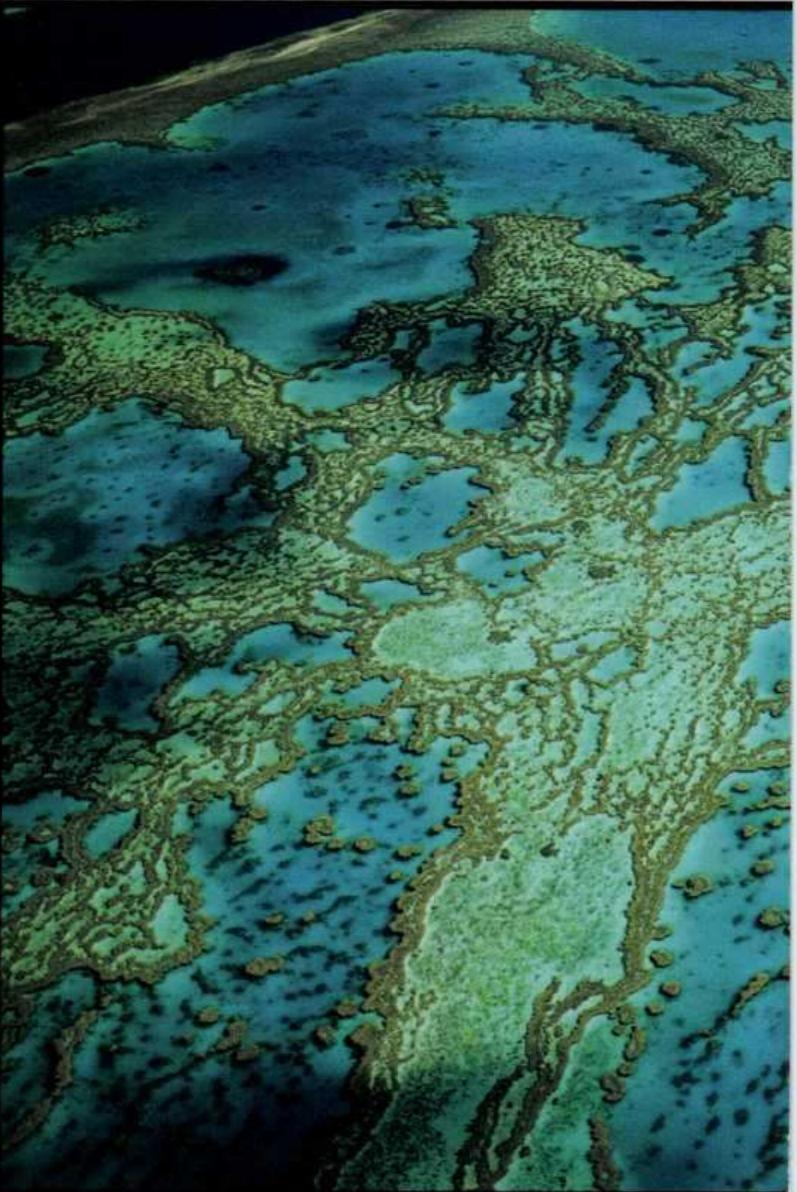
20 ans de surveillance continue du niveau des océans, depuis le lancement de l'ERS-1 en 1991 jusqu'au satellite Jason 2.

BIODIVERSITÉ

LA GRANDE BARRIÈRE PERD TOUT SON CORAIL

La Grande Barrière de corail pourrait bientôt devoir être rebaptisée. Entre 1985 et 2012, le plus vaste récif corallien du monde a en effet perdu la moitié de ses coraux, d'après Glenn De'ath, de l'Institut australien des sciences marines. L'océanographe a identifié les causes de cet effondrement. Près de la moitié des destructions sont ainsi imputables aux cyclones tropicaux, et 10 % au phénomène de blanchiment provoqué par le réchauffement des eaux. Plus surprenant: 42 % des pertes sont le fait d'une étoile de mer, *Acanthaster planci* (aussi appelée "couronne d'épines"), qui se nourrit de corail. Au cours de la décennie passée, cette

espèce a envahi le récif à la faveur, notamment, du rejet en mer de nitrates, qui accélèrent la prolifération du plancton nécessaire à l'alimentation de ses larves. Sans cette prédatrice, la surface occupée par les coraux progresserait en fait d'une année sur l'autre, malgré les tempêtes et le blanchiment. Améliorer la qualité de l'eau afin de limiter le développement d'*Acanthaster* est donc une priorité pour Glenn De'ath. D'autant que la situation empire: la disparition des coraux de la Grande Barrière s'est intensifiée depuis 2006. A ce rythme, la couverture corallienne pourrait encore être divisée par deux ces dix prochaines années. Pa.G.



+2,7%

C'est la hausse enregistrée pour l'utilisation de pesticides à usage agricole en France entre 2010 et 2011. Une évolution qui laisse perplexe quant à la réalisation des objectifs du plan Ecophyto, fruit du Grenelle de l'environnement. Ce plan ambitionne en effet de diviser par deux la consommation de produits phytosanitaires en France d'ici à 2018. B.B.

ÉCOLOGIE

La chasse au frelon asiatique est ouverte

Destructeur de colonies d'abeilles, le frelon asiatique devrait être classé "espèce exotique envahissante et nuisible" d'ici à la fin de l'année en France. Suivra un plan de surveillance et de lutte obligatoire, avec pose de pièges et destruction des nids. Réclamée par les apiculteurs, cette décision est critiquée par les écologues, inquiets d'un impact négatif de ces mesures pour des espèces non ciblées. P.L.

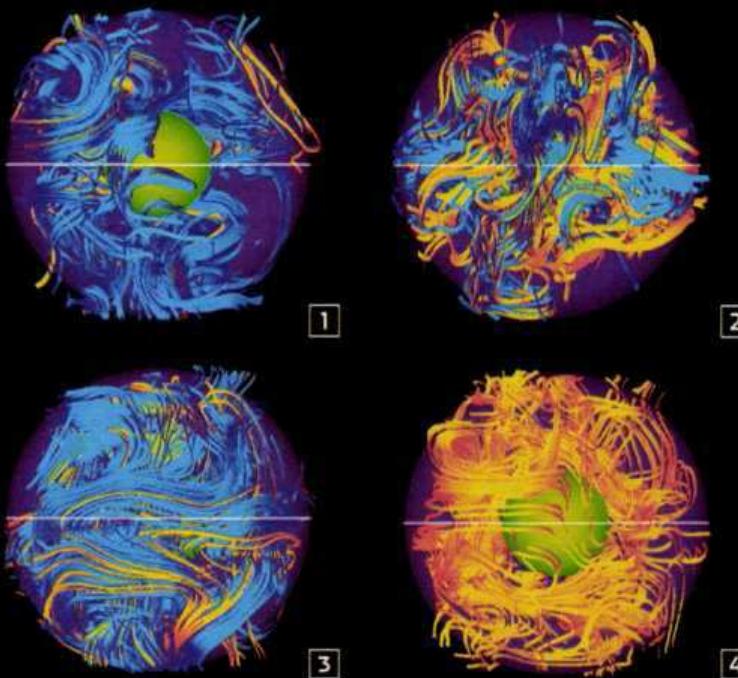


GÉOPHYSIQUE

IL SUFFIT D'UN MILLIER D'ANNÉES POUR QUE S'INVERSE LE CHAMP MAGNÉTIQUE DE LA TERRE

Il commence par s'agiter. Puis il se calme, comme s'il hésitait. Enfin, il se retourne brutalement. Des géophysiciens de l'Institut de physique du globe de Paris ont détaillé le mécanisme d'inversion du champ magnétique terrestre, ce mystérieux renversement de la boussole de la Terre. "Jusque-là, pour évaluer ce phénomène, on analysait les dépôts sédimentaires, précise Jean-Pierre Valet, qui a dirigé les recherches. Mais ils ne gardent aucune trace des faibles variations du champ magnétique. Or, elles sont vitales pour en comprendre le mécanisme!" Les chercheurs se sont donc tournés vers des enregistrements plus fiables: ils ont compilé les analyses de coulées volcaniques sur près de 180 millions d'années et ont détecté huit inversions qui, toutes, suivent le même processus: les lignes qui forment le champ magnétique s'agitent avant de revenir à la normale; puis elles s'inversent brutalement; ensuite, elles s'agitent de nouveau dans un dernier sursaut, avant d'opter pour une inversion durable. Surtout, ils ont découvert que le retournement en lui-même ne dure qu'un millier d'années... "au lieu des dizaines de milliers d'années, voire de la centaine comme on le pensait", précise Jean-Pierre Valet. De quoi faire le tri entre les simulations qui décrivent le phénomène et peut-être, un jour, le comprendre assez bien pour prévoir la prochaine inversion! M.F.

▲ Le plus vaste récif corallien du monde a vu sa population diminuer de moitié en moins de trente ans, décimée par une redoutable étoile de mer.



▲ Certaines simulations prédisaient déjà que les lignes du champ magnétique terrestre (1) peuvent s'agiter (2) puis revenir à la normale (3) avant de s'inverser brutalement (4). (En bleu : champ normal ; en jaune : champ inversé.)





Contrairement à d'autres gaz, le xénon n'a pas été piégé quand la Terre, dans son état primitif, n'était qu'une boule de magma.

GÉOCHIMIE

ILS ONT RÉSOLU LE MYSTÈRE DU XÉNON MANQUANT

Voilà des décennies que les scientifiques remuent ciel et terre pour découvrir où se cache le xénon, l'un des gaz les plus rares de la planète, présent seulement à l'état de traces dans notre atmosphère. L'énigme est en passe d'être élucidée. Hans Keppler et Svyatoslav Shcheka, de l'université de Bayreuth (Allemagne), suggèrent en effet que le xénon a été précocement perdu dans l'Univers lors de la formation de la Terre. Or, jusqu'à présent, tous les spécialistes le recherchaient à la surface terrestre. Puisque les météorites qui ont donné naissance à la Terre contiennent bien plus de xénon que notre atmosphère, le xénon "manquant"

devait être piégé à la surface ou à l'intérieur du globe terrestre. Mais aucune trace, ni dans les glaciers, ni dans les roches. Pour savoir si les gaz rares avaient été incorporés plus profondément, dans le manteau terrestre, les deux géochimistes ont testé la solubilité de plusieurs éléments dans la pérovskite, un minéral constitutif du manteau. Résultat : les gaz les moins abondants dans l'atmosphère, comme le xénon, sont aussi ceux qui se dissolvent le moins dans ce minéral. Le xénon n'aurait donc pas pu être retenu dans les entrailles de la Terre primitive avant le dégazage qui a donné naissance à l'atmosphère. Elémentaire, non ? E.B.-V.

EN EAUX PLUS CHAUDES, LES POISSONS MAIGRISSENT

D'ici à 2050, les poissons pourraient perdre un quart de leur poids actuel. En cause : la hausse des températures, qui s'accompagnera d'une baisse de la teneur en oxygène dissous dans l'eau. Ce qui aura pour conséquence physiologique de réduire la croissance des poissons. Pa.G.

LES GRANDS SINGES SONT À L'ÉTROIT

Depuis 1995, les grands singes d'Afrique ont vu leur habitat naturel rogné drastiquement, en raison de la déforestation et d'une pression humaine accrue. Selon un bilan international, les gorilles ont perdu plus de la moitié de leur espace vital ; celui des chimpanzés a été réduit de 11 %. Pa.G.

LA CRISE NE RALENTIT PAS TROP LE CO₂

Les émissions de CO₂ augmentent presque deux fois plus vite en période de croissance économique qu'elles ne baissent lors des crises. C'est parce que les biens de consommation et les infrastructures produits en période de croissance continuent, même en temps de crise, à contribuer aux émissions de gaz carbonique. B.B.

ÉCOLOGIE

UN PRÉDATEUR PEUT NE PLUS ÊTRE ALLÉCHÉ PAR L'ODEUR

Inciter un prédateur à ignorer sa proie : voilà le tour que Catherine Price (université de Sydney, Australie) a joué à des rats en les exposant à l'odeur d'œufs de cailles, en l'absence de ceux-ci. En introduisant des œufs sept jours plus tard, elle a noté que leur survie était augmentée de 62 % par rapport à une situation "naturelle", où proie et odeur sont introduites en même temps.

"Si, en suivant l'odeur d'une proie, un prédateur échoue systématiquement à trouver de la nourriture, il apprendra à ignorer cet indice", explique la chercheuse. Cette approche préventive pourrait être utilisée pour faciliter la réintroduction d'espèces menacées.

V.E.

Si l'odeur ne conduit plus à sa proie, le rat finit par la négliger.



A vous de voir les choses différemment

Le nouveau Canon EOS 650D ouvre un champ inexploré de possibilités créatives. A vous de jouer avec les durées d'exposition pour saisir et restituer la beauté de la lumière et du mouvement.



EOS 650D

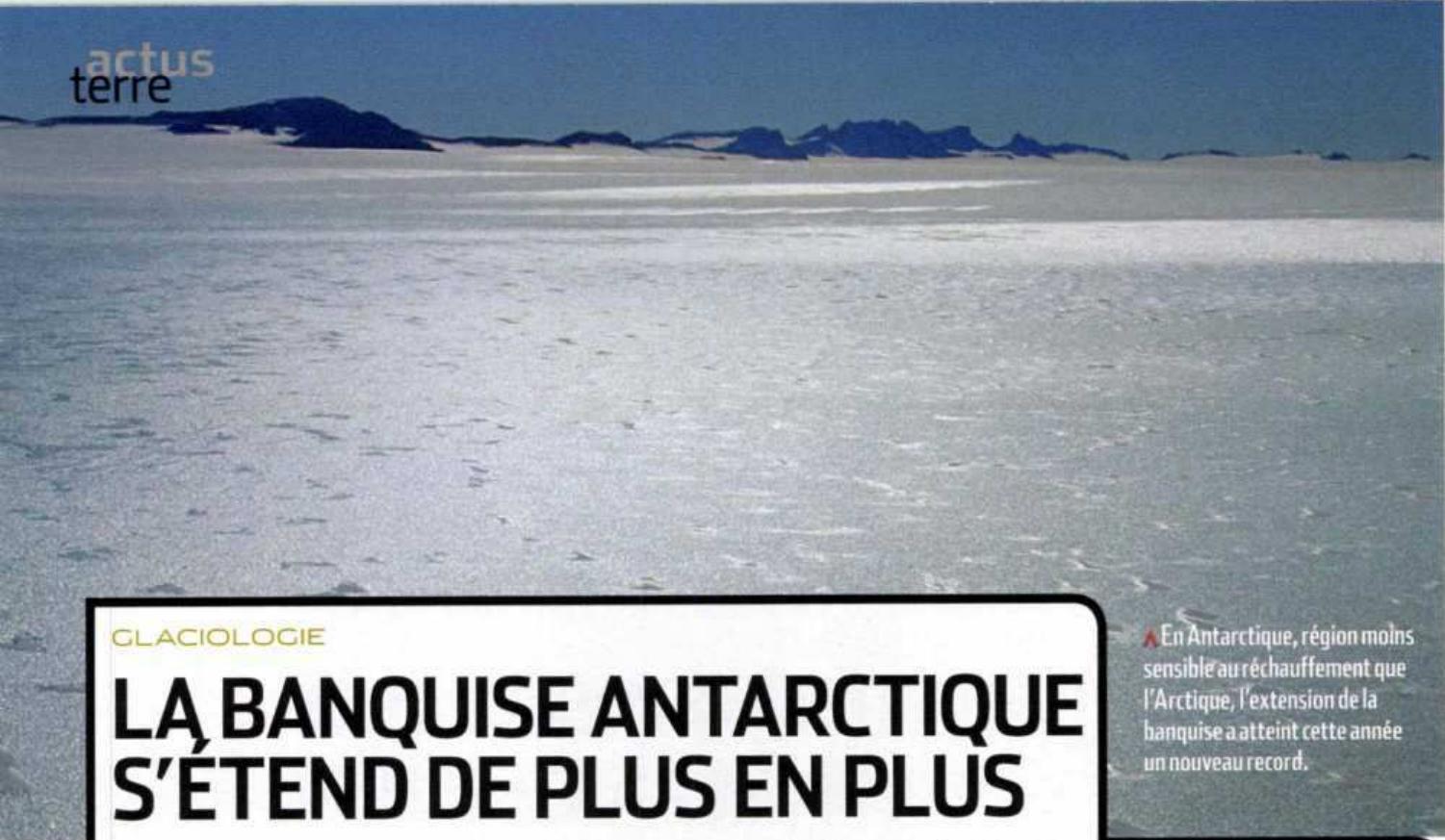
you can*



canon.fr/AventureEOS

Canon

Bien sûr, vous pouvez



GLACIOLOGIE

LA BANQUISE ANTARCTIQUE S'ÉTEND DE PLUS EN PLUS

Pas moins de 19,44 millions de km², soit deux fois la superficie de l'Europe. Telle est la surface qu'occupait la glace de mer autour du continent antarctique au 26 septembre 2012. Une étendue jamais enregistrée depuis le début des observations par satellite en 1979, et qui détrône de peu le précédent record de 2006. Cette extension de la banquise serait notamment due aux puissants vents circumpolaires, qui poussent la glace de mer au large du continent, augmentant la

superficie recouverte. Ces vents seraient renforcés par la hausse des températures et par le trou dans la couche d'ozone au-dessus du pôle Sud. Ces trente dernières années, la banquise antarctique, à la sortie de l'hiver austral, a ainsi vu sa superficie augmenter très légèrement : 0,9 % par décennie, selon les relevés du Centre national américain de la neige et de la glace (NSIDC). Ce qui s'explique par le rôle majeur joué par les vents et les courants océaniques dans le climat

local, qui rendent la région moins sensible à la hausse globale des températures de l'air et des eaux de surface. Une situation qui contraste avec celle de l'Arctique, où le réchauffement climatique se fait ressentir bien plus qu'ailleurs. En septembre, la banquise arctique a ainsi atteint son niveau le plus bas. Reste que la banquise antarctique s'accroît bien moins vite que la banquise arctique ne recule : 16 000 km² par an de plus contre 92 000 km² par an de moins. **S.F.**

En Antarctique, région moins sensible au réchauffement que l'Arctique, l'extension de la banquise a atteint cette année un nouveau record.

RISQUES NATURELS

68 RÉACTEURS SONT MENACES DE TSUNAMI

Fukushima n'est pas un cas isolé : dans le monde, pas moins de 68 réacteurs nucléaires – en activité ou en construction – seraient concernés par le risque de tsunami ! Cet inventaire inédit a été réalisé par Joaquin Rodriguez-Vidal, de l'université de Huelva (Espagne), à partir de données géologiques et historiques. Une zone géographique concentre l'essentiel du danger : l'Asie du Sud-Est, à la fois propice aux séismes sous-marins et en plein développement de l'énergie nucléaire. Dix-neuf réacteurs chinois en chantier seraient ainsi menacés de raz-de-marée. **V.N.**

C.WILTSIE/NAT. GEO. SOC./CORBIS - J.QUADE

GÉOLOGIE

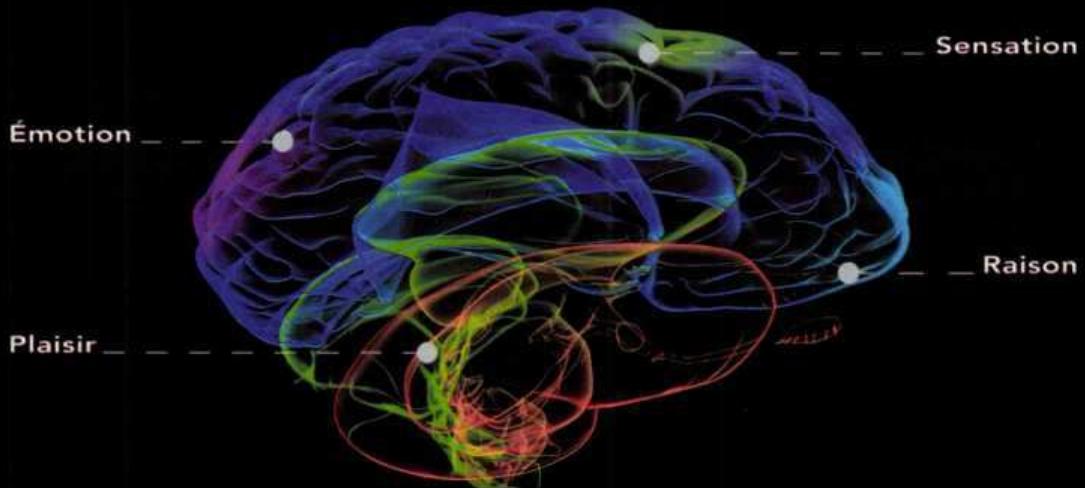
Dans le désert d'Atacama, les rochers sont polis par les séismes

Des blocs de pierre de plusieurs tonnes s'entrechoquent au rythme des secousses telluriques. Voilà l'étrange ballet auquel a assisté Jay Quade (université d'Arizona) dans le désert chilien d'Atacama. De quoi expliquer, en l'absence d'eau, principal agent érosif, les marques de polissage sur les flancs des rochers. Les séismes étant fréquents dans ce désert, c'est à des dizaines de milliers d'heures de frottement que les rochers auraient été soumis au cours du dernier million d'années. **B.B.**

Ces marques de polissage sont dues au frottement des blocs de pierre secoués par les tremblements de terre.



POUR CEUX QUI SAVENT



CEUX QUI SAVENT VOUS LE CONFIRMERONT, CHOISIR SUBARU, C'EST CONJUGUER ÉMOTION, PLAISIR ET RAISON. DÉCOUVREZ SANS PLUS ATTENDRE LES NOUVELLES SENSATIONS PROCURÉES PAR LA TECHNOLOGIE D'UN SYSTÈME 4 ROUES MOTRICES PERMANENTES ASSOCIÉ À LA PIUSSANCE D'UN MOTEUR BOXER ESSENCE OU DIESEL.

NOUVEAU CROSSOVER **SUBARU XV**



NOUVELLE SUBARU XV À PARTIR DE 24 900 €⁽¹⁾. MODÈLE PRÉSENTÉ : SUBARU XV 1.6i, 25 400 €⁽¹⁾ (PM INCLUSE). CONSOMMATIONS ET ÉMISSIONS DE CO₂ (SUR PARCOURS MIXTE) DE LA GAMME SUBARU XV : DE 5,6 À 6,9 L/100 KM ET DE 146 À 160 G/KM. (1) TARIF SUBARU PUBLIC AU 01/09/2012.



www.subaru.fr



PROCÈS DU SÉISME DE L'AQUILA...

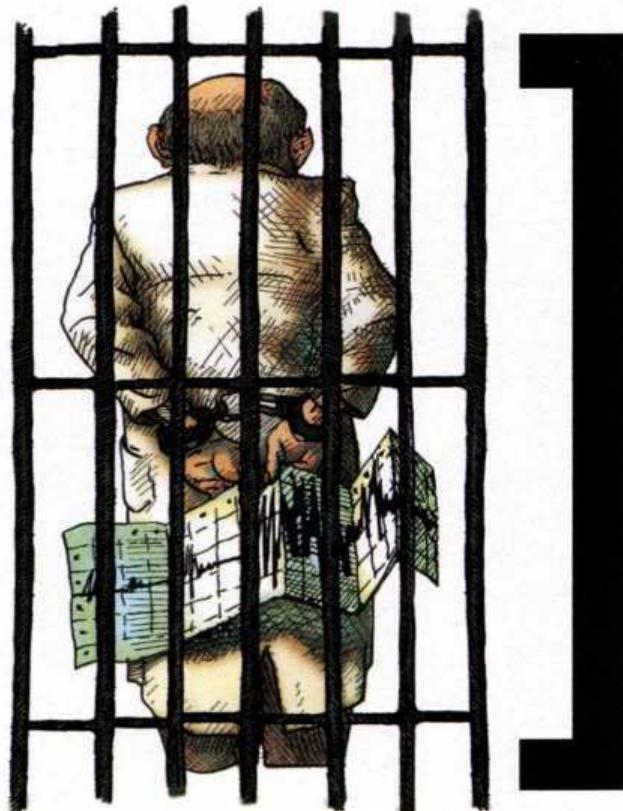
C'EST LA SCIENCE QU'ON CONDAMNE À CRIER AU LOUP !

Par Boris Bellanger

Six ans de prison. De prison ferme ! Dans le procès inédit qui a suivi le tremblement de terre de L'Aquila en avril 2009 (voir *S&V* n° 1131, p. 32), c'est un verdict historique que vient de rendre la justice italienne. Un verdict qui pourrait modifier en profondeur le rôle tenu par les scientifiques dans l'évaluation des risques naturels, industriels, ou sanitaires. Car ce verdict reconnaît les sept membres de la Commission nationale pour la prévision et la prévention des grands risques coupables d'"*homicide par imprudence*". Une première !

Composée de six scientifiques et d'un responsable de la Protection civile, la commission s'était réunie une semaine avant la catastrophe pour débattre justement du risque que se produise un séisme majeur dans la région. Il faut dire qu'en ce printemps 2009, la terre gronde à bas bruit depuis plusieurs mois dans les Abruzzes. Et la panique est montée d'un cran depuis qu'un amateur a prophétisé l'imminence d'un séisme dévastateur. Chargés de dénouer le vrai du faux, des experts sont convoqués à la hâte. Lors des discussions, ils conviennent que l'activité sismique des derniers mois a augmenté le risque, mais qu'un séisme majeur reste très peu probable. Interrogé par la presse, le directeur-adjoint de la Protection civile affirmera seulement que la situation est rassurante... Considérant que ces propos avaient incité les victimes à rester chez elles, leurs familles intentèrent un procès. L'issue en est désormais mondialement connue.

Sitôt annoncé, le verdict a suscité la stupeur et l'incompréhension de la communauté scientifique. Comment justifier de punir des hommes pour n'avoir pas prévu un phénomène imprévisible ? Pour le procureur, c'est un mauvais procès fait au procès que de le réduire à une attaque contre la science. Ce qui est en jeu, c'est bien plutôt une erreur dans la communication du risque. Dont acte. Mais avec un tel précédent, nul doute que les scientifiques y réfléchiront à deux fois avant de donner leur avis. "Si le jugement est confirmé en ap-



pel, il est vrai que tout expert sismologue risque soit de faire défaut dans ces comités d'évaluation des risques – qui disparaîtront alors –, soit de prendre en compte ses propres intérêts – échapper à des poursuites judiciaires – dans son jugement d'expert", entrevoit Pascal Bernard, de l'Institut de physique du globe de Paris. Les experts pourraient ainsi être tentés de fausser leur calcul et de surestimer le risque, biaisant ainsi la réponse des décideurs qui s'appuie sur cette expertise.

Si tel était le cas, il faudrait s'attendre à connaître des évacuations à répétition, aux moindres frémissements de la Terre. Or, le propre des séismes dévastateurs est d'être rare. Les géologues estiment ainsi que dans 99 % des cas, l'observation d'un essaim sismique, tel que celui qui a précédé le séisme de L'Aquila, n'est pas suivie d'un tremblement de terre majeur. Les fausses alertes seraient donc légion ! Jusqu'au jour où, saisie par la population excédée, la justice condamnera les experts pour fausses alarmes à répétition, avec des millions d'euros de compensation pour les pertes économiques engendrées. Sans compter les accidentés et morts qui pourraient survenir lors de mouvements de panique...

"S'il persiste à siéger en commission, l'expert devra donc prendre en compte, en sus de l'aléa naturel qui concerne les populations, l'aléa de sa propre condamnation pour fausse alarme, tout autant que l'aléa de sa condamnation pour non-prédition", poursuit Pascal Bernard. Une situation ubuesque ! Qui n'apportera aucun bénéfice pour les populations des zones à risques. En particulier, tout le monde sait que les fausses alarmes, répétées à l'envi, ne font plus réagir personne. On connaît la fable d'Esope du garçon qui crieait au loup... ■

POUR ÉVITER UN PROCÈS, LES EXPERTS VONT-ILS FORCÉMENT PRÉDIRE LE PIRE ?



DECOUVREZ LE PREMIER MOTEUR DE RECOMMANDATION EDUCATIF

Choisissez votre niveau scolaire, la matière de votre choix, et **CAMPUS** sélectionne les programmes des chaînes CANALSAT qui vous aident à réviser.

CAMPUS, un service exclusif créé par CANALSAT et inclus dans votre abonnement.*

CANALSAT
CAMPUS

EN PARTENARIAT AVEC **l'étudiant.fr** | RENDEZ-VOUS SUR CAMPUS.CANALSAT.FR

* Service accessible sous réserve de disposer du matériel compatible et d'une connexion Internet haut débit. Fonctionnalités du service pouvant être différentes selon votre opérateur et votre box. Sélection de programmes en fonction de la formule d'abonnement choisie. Sous réserve de disponibilité des programmes dans l'offre. Voir modalités détaillées sur lexperience.canalsat.fr



PLANCTON SON INFINIE DIVERSITÉ SE RÉVÈLE

La goélette *Tara* est revenue de son tour du monde en mars dernier (1) avec, dans ses cales, 27 882 échantillons constituant le premier recensement global du plancton. Les premiers résultats dessinent déjà de grandes tendances. Côté quantitatif, "les analyses

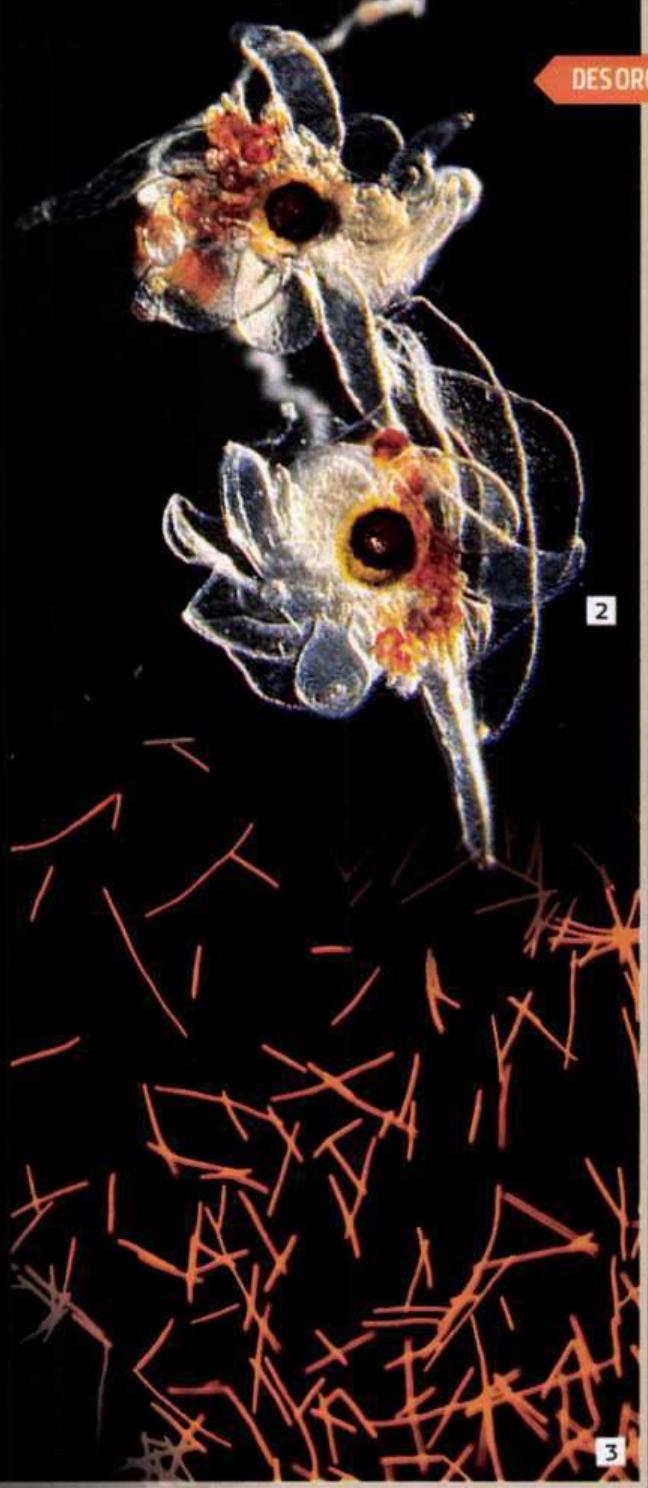
ADN laissent deviner une diversité énorme : plus d'un million d'espèces, indique Chris Bowler, coordinateur scientifique et biologiste à l'ENS-CNRS. On parlait jusque-là d'une centaine de milliers. Voilà qui souligne notre ignorance de ces écosystèmes". Côté qualitatif,

ce portrait rapide fait ressortir certaines espèces se distinguant par leur originalité (morphologie, mode de vie, etc.) ou par leur omniprésence. Il permet aussi "d'identifier les zones pauvres et riches en diversité, note Chris Bowler, et les populations présentes.

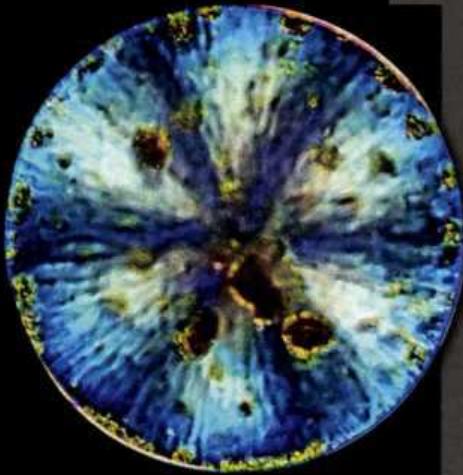
Ce qui est important pour évaluer la sensibilité des écosystèmes à la pollution et au changement climatique..." Rencontre avec quelques représentants de ce monde méconnu. E.R.

(1) Voir S&V n° 1132, p. 96, et Tara Oceans, d'Eric Kasenti et Dino Di Meo, Actes Sud, 2012.

DES ORGANISMES ÉTONNANTS...



Le plancton regroupe des organismes très différents : les bactéries *P. ubique* (3), omniprésentes, ont le plus petit génome connu. Les siphonophores (2), les plus longs animaux au monde (50 m !), sont l'association de "zoïdes" – unités spécialisées dans la reproduction, la nutrition, etc. Les phronimes (1), elles, transforment leurs proies gélatinées en abri moelleux dont elles changent en grandissant.



... AURÔLE FONDAMENTAL POUR L'ÉCOSYSTÈME...

Le groupe des diatomées assure près de la moitié de la photosynthèse de l'océan et piége le carbone. Réparties en 20 000 espèces, elles sont particulièrement diversifiées puisqu'il peut y avoir autant de différences entre elles qu'entre l'homme et les poissons !

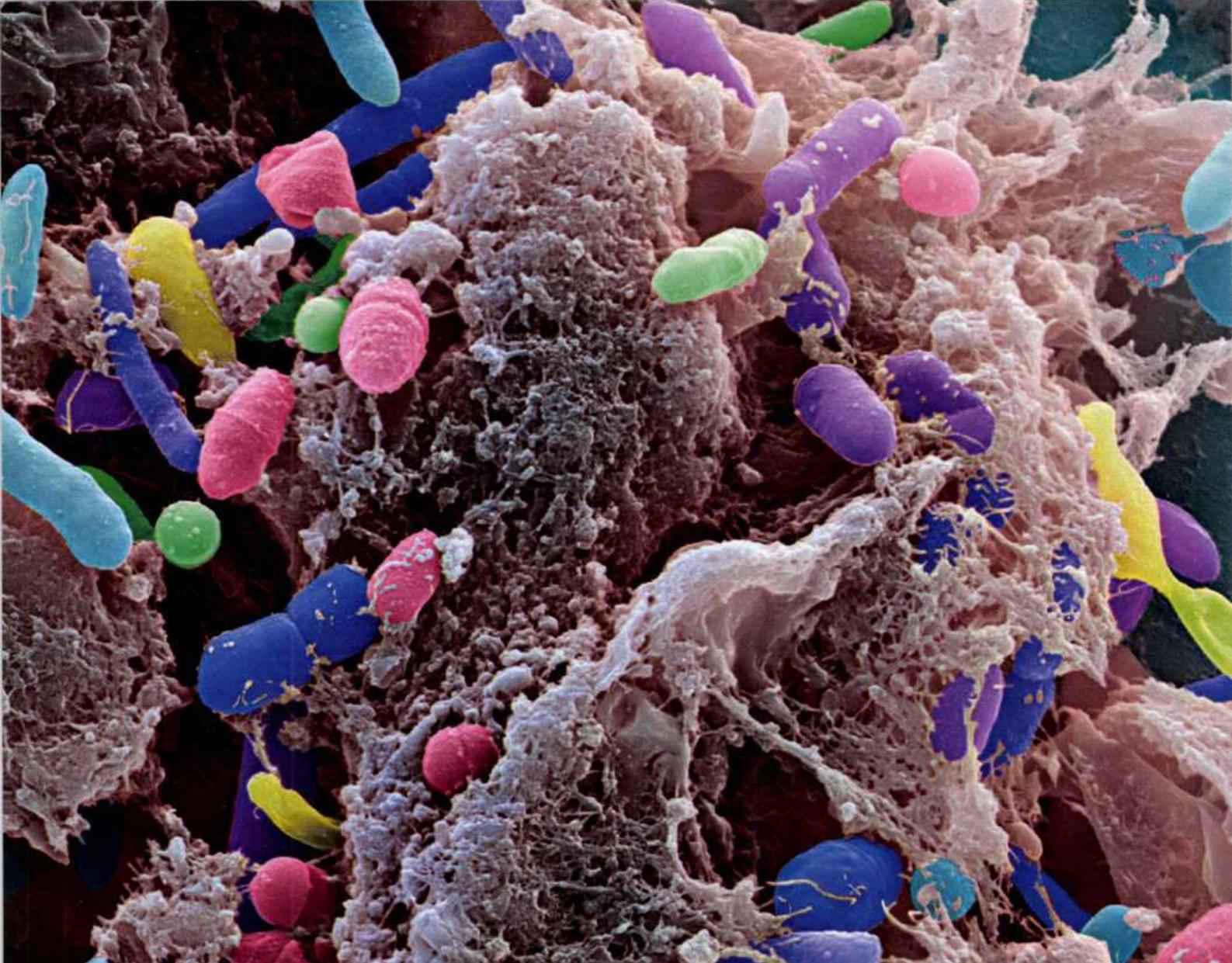
... MAIS PARFOIS MENACÉS

La pollution a des répercussions jusqu'en Antarctique. Le plastique fournit des supports aux micro-organismes (en bleu) : il leur permet de profiter davantage de la lumière et favorise la photosynthèse, mais il déstabilise leur répartition traditionnelle.

actus médecine



▲ En analysant les bactéries (notamment les pathogènes *Salmonella enterica* et *Escherichia coli*) récoltées dans les selles de 345 patients atteints de diabète, les gènes de la maladie ont pu être identifiés.



ENDOCRINOLOGIE

IL Y A UN LIEN ENTRE FLORE INTESTINALE ET DIABÈTE

L'âge, la génétique et l'obésité sont considérés comme les principaux facteurs de risque de diabète de type 2, maladie hormonale la plus répandue dans le monde. Et voici que des chercheurs français de l'Institut national de la recherche agronomique et de l'Institut de génomique de Pékin viennent d'établir un lien surprenant entre ce diabète et des bacté-

ries de la flore intestinale. Ils ont analysé le "microbiote" (ensemble des bactéries) intestinal de 345 patients atteints de diabète. L'analyse de l'ADN des bactéries récoltées dans les selles a porté sur 60 000 gènes. Ils permettent d'établir des groupes bactériens dont la présence ou l'absence indique un lien entre déséquilibre de la flore intestinale et

diabète. Pour Dusko Ehrlich, directeur de recherche, cette étude est "*une démonstration de principe de la possibilité d'utiliser ce déséquilibre bactérien comme indicateur de santé*". La prochaine étape sera de déterminer qui est l'œuf et qui est la poule: le déséquilibre bactérien est-il à l'origine de la pathologie ou est-ce la maladie qui modifie la flore

intestinale? Si le premier cas est validé, le microbiote mériterait d'être exploré comme cause pour d'autres maladies. On pourrait envisager d'agir directement sur la flore en la modifiant pour prévenir l'apparition d'une pathologie. Les bactéries des intestins deviendraient alors les outils diagnostiques, pronostiques et thérapeutiques de demain.

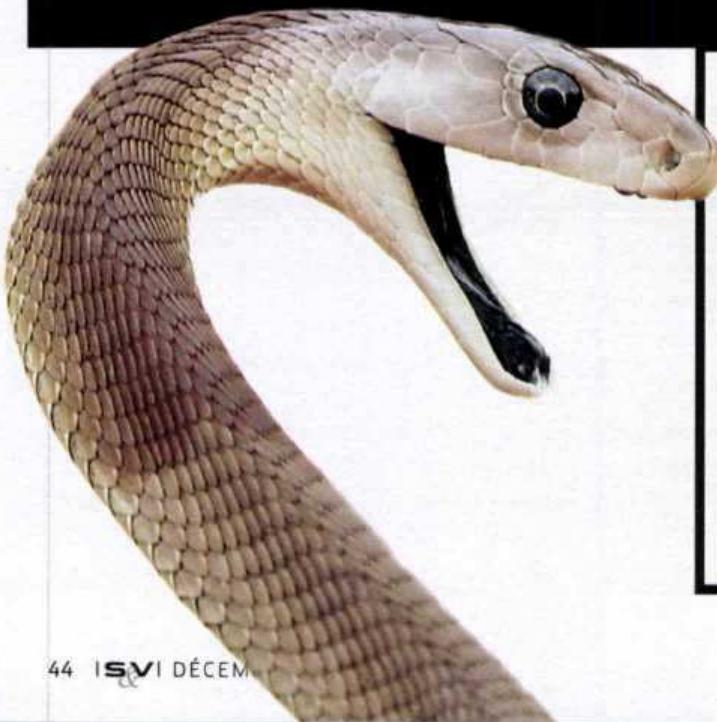
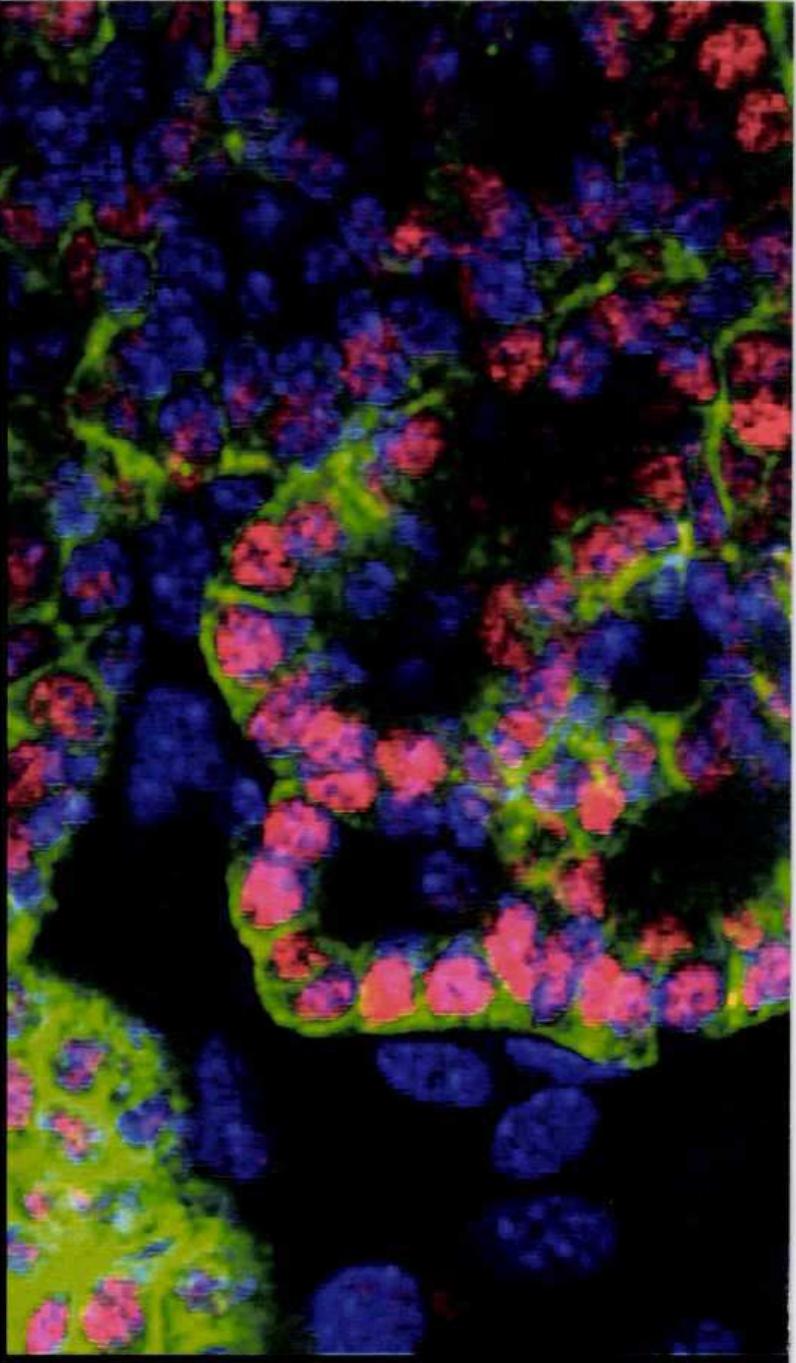
A.L.

ENDOCRINOLOGIE

ILS ONT RÉUSSI À RECONSTITUER UNE THYROÏDE

Une première mondiale : des chercheurs de Bruxelles sont parvenus à fabriquer une thyroïde de remplacement à partir de cellules souches embryonnaires non différencierées de souris et à la greffer à des souris sans glande. "En forçant l'expression d'une combinaison définie de gènes, explique Sabine Costagliola, coauteur de l'étude, on a pu différencier *in vitro* des cellules embryonnaires en cellules de la thyroïde." Après vingt-deux jours de culture dans des boîtes de Petri, le tissu thyroïdien a été greffé sur des souris et s'est révélé fonctionnel. Les chercheurs souhaitent maintenant re-

produire ces résultats chez l'homme. "Notre idée est d'utiliser la méthode des cellules souches dérivées de cellules de la peau humaine adulte, celle qui a été récompensée par le prix Nobel de médecine cette année", précise Sabine Costagliola. Cette expérience permettra à terme une meilleure compréhension des mécanismes moléculaires liés au développement thyroïdien... A ce jour, un enfant sur 3000 naît avec une anomalie de la glande, entraînant de nombreuses séquelles, car celle-ci fabrique des hormones impliquées dans le développement d'organes comme le cœur ou le cerveau... A.L.



PHARMACOLOGIE

SON VENIN FAIT ESPÉRER UN SUPER ANTIDOULEUR

En analysant le venin du mamba noir, une équipe de chercheurs coordonnée par l'université de Nice-Sophia Antipolis vient de découvrir les mambalgines, de petits fragments de protéine dont les propriétés antidouleur égalent celles de la morphine. Elles bloquent l'ouverture de certains canaux présents à la surface des neurones spécialisés dans la perception de la douleur. Ainsi, elles empêchent l'activation du neurone et donc la sensation douloureuse. De plus, les mambalgines, testées sur des souris, ne provoquent pas de détresse respiratoire et très peu d'accoutumance, contrairement à la morphine. E.D.

LE BOTOX AGIT SUR LA VESSIE

La toxine botulique détend les muscles du visage... mais pas seulement. Elle agit aussi sur les muscles de la vessie, ce qui permet de réduire l'incontinence urinaire "d'urgence". Une injection serait aussi efficace que six mois de traitement par le médicament de référence. O.C.

LE CANCER TUERA MOINS EN 2030

Bonne nouvelle, le taux de mortalité par cancer devrait reculer de 17 % d'ici à 2030 aux Etats-Unis et en Europe, selon une étude britannique. Ce chiffre global cache cependant une grande disparité selon les cancers, puisque le taux de mortalité de certains (bouche et pharynx) devrait augmenter. E.D.

IRRIGATION DU SANG : UN ESPRIT CONTRE LE DIABÈTE

Une équipe française a réussi à stimuler la régénération de vaisseaux sanguins chez la souris. Un espoir pour les diabétiques, qui souffrent de troubles de l'irrigation sanguine. La solution ? Une autogreffe de cellules sanguines après stimulation *in vitro*. O.C.

Des cellules souches de souris ont permis de reconstituer un tissu thyroïdien et de le greffer à une souris sans glande.

50 %

C'est l'augmentation du risque de dépendance après 68 ans pour qui commence à prendre à cet âge une benzodiazépine (pour l'insomnie, la dépression ou l'anxiété). La relation de cause à effet n'est pas démontrée, mais c'est un signal fort, surtout visible en cas de traitement long. O.C.

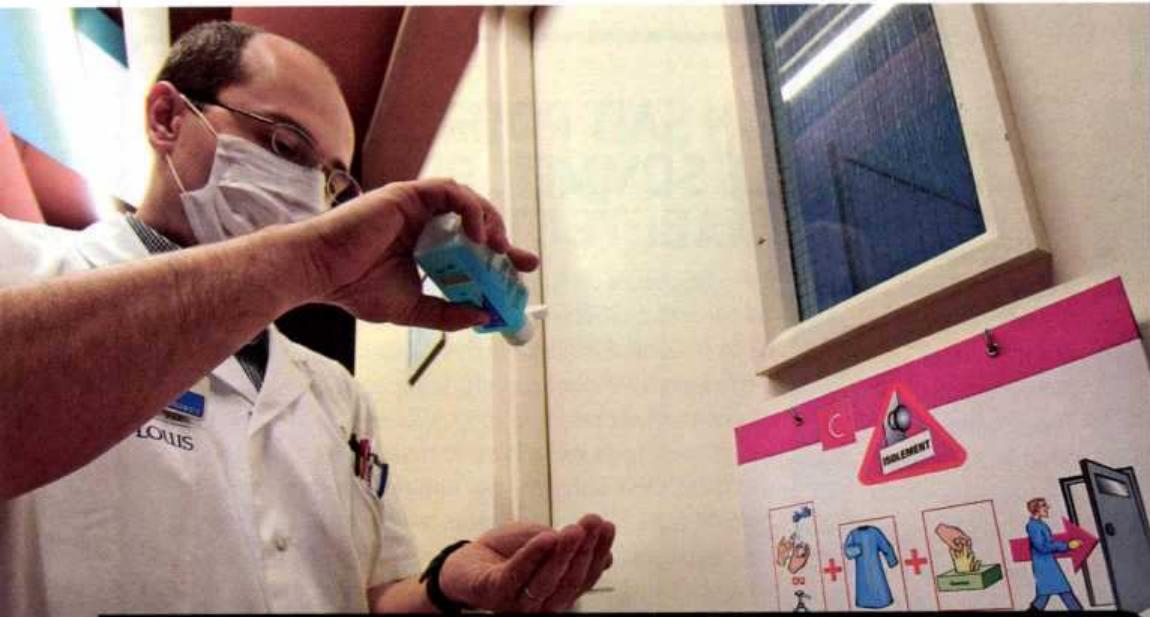
PHYSIOLOGIE**ON SAIT POURQUOI LE SOMMEIL PROTEGE DU DIABÈTE ET DE L'OBÉSITÉ**

Des chercheurs de l'université de Chicago ont soumis des volontaires à différents rythmes de sommeil, puis ont étudié la sensibilité à l'insuline des cellules de leur organisme. Cette sensibilité correspond à la capacité à absorber le glucose circulant dans le sang pour en tirer de l'énergie ou le stocker. Moins les cellules sont sensibles, plus le taux de glucose s'élève dans le sang, entraînant un risque de diabète de type 2. Les volontaires ont dormi plus de huit heures par nuit pendant quatre nuits et, un mois plus tard, environ quatre heures pendant quatre autres nuits. A l'issue de la restriction de sommeil, les auteurs ont constaté une baisse de 16 % de la sensibilité à l'insuline de l'ensemble des cellules, cette diminution s'élargissant à 30 % pour les adipocytes, les cellules de la graisse. "Cette baisse accroît le risque de diabète et augmente par ailleurs celui d'obésité", avance Matthew Brady, coauteur des travaux, car elle entraîne en parallèle une réduction de la production de leptine, une hormone impliquée dans le contrôle de la satiété. Depuis quarante ans, la moyenne de sommeil a baissé d'une heure par nuit environ dans la population générale. Alors attention, car le cerveau mais également les adipocytes ont besoin de sommeil."

A.R.



GETTY - NATURE - V.VERMEIL/TEMPS MACHINE/PICTURE TANK



INFECTIOLOGIE

UN TEST AUX BACTÉRIES RÉSISTANTES A VU LE JOUR

Une équipe de l'Institut national de la santé et de la recherche médicale (Inserm) vient de mettre au point deux tests diagnostiques bientôt disponibles. Le but: détecter en moins de deux heures les personnes infectées par les bactéries les plus résistantes. La cible: les entérobactéries (bactéries des mains sales). Ces pathogènes ont développé une résistance aux antibiotiques dits

de dernier recours et continuent de se propager sur la planète. "Contrairement à ce que les gens croient, explique Patrice Nordmann, coauteur de l'étude, le problème n'est pas la virulence de la bactérie, mais le fait que l'on dispose de trop peu d'antibiotiques efficaces pour lutter contre ces pathogènes." Ces nouveaux tests sont "simples et utiles", souligne-t-il: ils ne nécessitent qu'un échan-

tilloin d'urine et quelques manipulations. Plus sensible et moins chère que les anciens tests, cette méthode va permettre d'isoler plus rapidement les malades et d'éviter ainsi les épidémies hospitalières. Et de pouvoir décider de recourir éventuellement à un antibiotique encore efficace contre les bactéries ultra-résistantes, la colimycine, principalement réservée aux animaux. A.L.

NANOTECHNOLOGIES

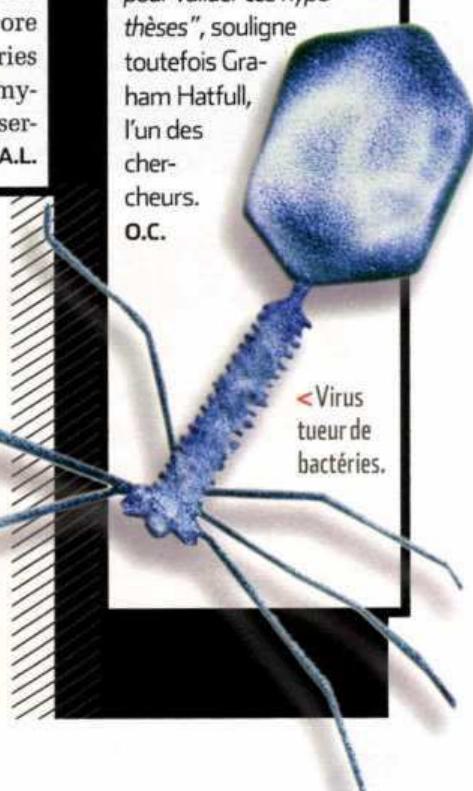
Des particules ciblent le cancer du côlon

Déclencher la mort de cellules cancéreuses du côlon grâce à des nanoparticules activées par un champ magnétique, c'est l'exploit réalisé par des chercheurs de Séoul. Ces particules couplées à un anticorps qui se fixent sur des récepteurs des cellules tumorales provoquent la mort de ces dernières, sous réserve que ces récepteurs s'agrègent entre eux. Pour ce faire, un champ magnétique très ciblé regroupe les particules et leur anticorps, forçant l'agrégation des récepteurs. Efficace chez le poisson zèbre, le procédé sera testé sur d'autres animaux, puis chez l'homme. "Elle trouvera des applications contre d'autres cancers et dans divers domaines médicaux", espère Jeon-Soo Shin, coauteur des travaux. A.R.

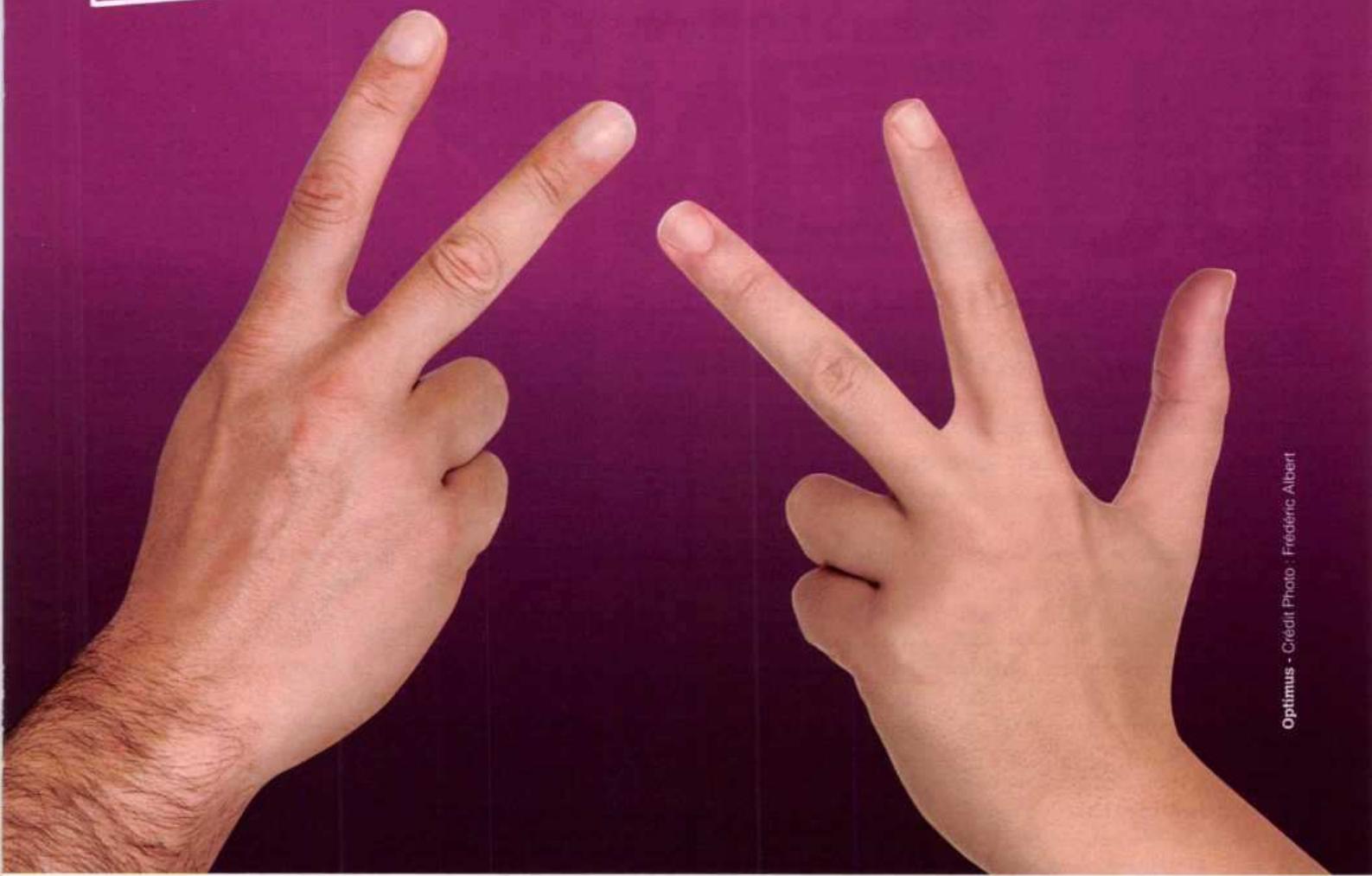
DERMATOLOGIE

DES VIRUS VAINCRAIENT L'ACNÉ

Utiliser des virus tueurs de bactéries contre *Propionibacterium acnes*, la bactérie responsable de l'acné: c'est l'idée de chercheurs de l'université de Pittsburgh (Etats-Unis). Ils ont étudié onze virus isolés des comédons de divers donneurs. La plupart d'entre eux sont capables de tuer *P. acnes* lorsqu'ils sont concentrés *in vitro*. N'étant pas dangereux pour l'homme, ils pourraient ainsi traiter l'acné. Et il semble possible d'exploiter à des fins thérapeutiques certains de leurs composants actifs. "Nous devons mener des études cliniques pour valider ces hypothèses", souligne toutefois Graham Hatfull, l'un des chercheurs. O.C.



GUÉRIR 2 CANCERS SUR 3 NOUS, ON Y CROIT



Pas sans la recherche et pas sans vous.

En 20 ans, les progrès de la recherche ont permis de guérir 1 cancer sur 2. Aujourd'hui, guérir 2 cancers sur 3 est à notre portée. Mais pas sans la recherche et pas sans vous. Pour atteindre cet objectif d'ici 2025 et sauver encore plus de vies, la Fondation ARC, 1^{ère} fondation française exclusivement dédiée à la recherche sur le cancer, s'engage à identifier, sélectionner et mettre en œuvre les programmes les plus prometteurs.



Faites un don à la Fondation ARC.
Rejoignez-nous sur :
www.guerir2cancerssur3.org

FONDATION ARC
POUR LA **RECHERCHE**
SUR LE **CANCER**



Reconnue d'utilité publique

CANCER DU SEIN

POURQUOI SON DÉPISTAGE NE FAIT PAS L'UNANIMITÉ

Véritable enjeu de santé publique, le dépistage du cancer du sein fait pourtant débat : ses effets sur la mortalité sont peu évidents et le risque de surdiagnostic existe. Explications.

Comme chaque année, la campagne Octobre rose a promu le dépistage organisé du cancer du sein pour les femmes de 50 à 74 ans. Plus de 2,4 millions de femmes ont accepté en 2011 cet examen gratuit, consistant en une mammographie. Le cancer du sein est le plus fréquent et le plus meurtrier chez la femme. Selon les promoteurs de l'examen, le dépistage précoce augmente les chances de guérison et réduit l'agressivité des traitements. Ce que tend à confirmer l'Institut de veille sanitaire (Invs). "Grâce à la mammographie, on peut déceler de petits cancers", explique Emmanuelle Salines, coordinatrice de l'évaluation des programmes de dépistage organisé des cancers. Autre atout, la mise en place d'un système d'assurance qualité (formation des radiologues, contrôle des appareils...). "Les indicateurs de qualité per-

mettent de vérifier que les actes sont bien réalisés dans les règles de l'art, de façon homogène sur le territoire", souligne-t-elle. Tout irait donc pour le mieux...

Pourtant, le dépistage est loin de faire l'unanimité comme le montre le débat lancé par le centre danois de la Collaboration Cochrane (réseau mondial indépendant d'évaluation des interventions de santé). Fer de lance d'une coalition anti-dépistage internationale, il demande un réexamen des données scientifiques fondant le dépistage organisé et a soulevé deux questions importantes.

SELON LA MÉTHODOLOGIE...

D'une part, on attendait une réduction de la mortalité de 30 %. Or, la baisse semble plus faible, voire inexiste. "Ce débat d'experts est très complexe, les chiffres étant très différents selon la méthodologie des études



considérées, estime Emmanuelle Salines. Seule certitude : la mortalité a beaucoup baissé du fait des progrès des traitements."

REPÈRES

52 588 nouveaux cas de cancer du sein (en 2010),

11 605 décès

(2008). Coût total du cancer du sein :

3,2 milliards d'euros

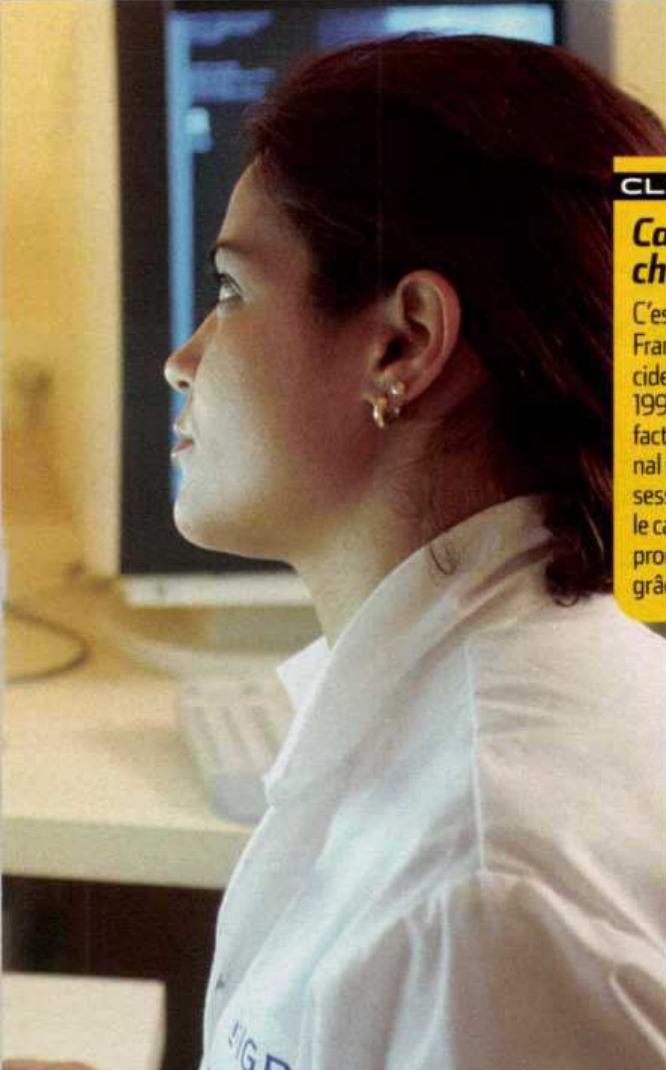
(2004). Coût total du dépistage organisé :

216,3 millions d'euros en 2008 (plus de 300 millions en

2010 selon l'UFC-Que Choisir). Taux de participation au dépistage organisé : 52,3 % ;

dépistage individuel : environ 10 % (objectif global de dépistage : 70 %).

En second lieu : le risque de surdiagnostic imposerait angoisses et traitements inutiles à des femmes aux tumeurs peu ou non évolutives. Ce risque est inhérent au dépistage puisqu'il détecte des tumeurs à un stade où leur impact est encore imprévisible. Estimer son poids dans la balance bénéfices/risques est d'autant plus délicat qu'il est très variable selon les études, et qu'il pourrait être majoré par la mammographie numérique, autorisée depuis 2008... La découverte de marqueurs pronostiques permettant d'orienter les choix thérapeutiques selon le potentiel évolutif des tumeurs pourrait à terme constituer une réponse au surdiagnostic. En attendant, l'impact du dépistage mériterait d'être mieux évalué... M.M.

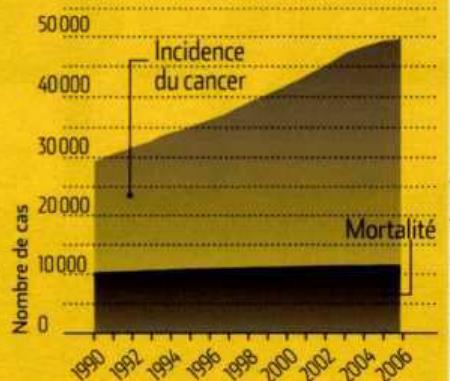


CLÉ N° 1

Cancer le plus meurtrier chez la femme...

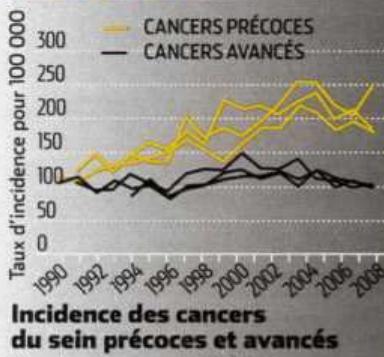
C'est le second cancer le plus fréquent en France après celui de la prostate. Son incidence, en considérable hausse depuis 1990, serait liée aux modifications de facteurs hormonaux (traitement hormonal substitutif, âge de première grossesse...), à l'alcool et à l'obésité. S'il reste le cancer féminin le plus meurtrier, son pronostic est aujourd'hui bien meilleur grâce à l'amélioration des traitements.

Depuis 1990, l'incidence du cancer du sein est en hausse



SOURCE : BULLETIN ÉPIDÉMIQUE HEBDOMADAIRE, INVS

CLÉ N° 2



Incidence des cancers du sein précoce et avancés

Chez les femmes de 50 à 74 ans.

... il est mieux repéré au stade précoce

Differentes études (ici, sur 3 départements) donnent des résultats concordants : on dépiste davantage de cancers à un stade précoce, alors que le nombre de cancers de stade avancé au diagnostic tend à diminuer. Une évolution qui serait liée au dépistage et aux avancées du diagnostic et à la réduction de certains facteurs de risque.

Le dépistage repose sur une mammographie tous les deux ans. La détection des tumeurs est fiable (double lecture des clichés, bilan diagnostique) mais ne dit rien de leur évolution.

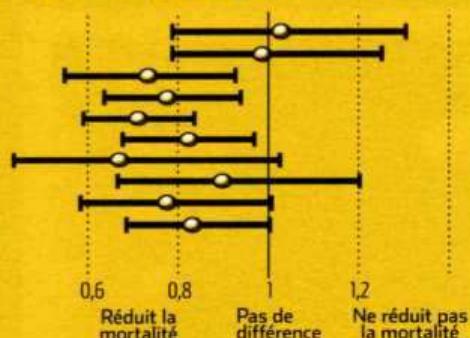
CLÉ N° 3

Mais l'impact de son dépistage sur la mortalité est difficile à évaluer...

Une dizaine d'essais ont évalué l'effet de l'invitation au dépistage sur la mortalité par cancer du sein. Deux essais canadiens (en haut) n'ont relevé aucun impact (risque relatif autour de 1), les autres enregistrant une baisse variable de la mortalité. En combinant ces résultats, la réduction relative de la mortalité est estimée à 21 %. Mais il est difficile d'établir la part relevant des progrès des traitements. En outre, les protocoles des essais sont très variables (âge cible, taux de participation effective, qualité du dépistage...), ce qui rend l'analyse statistique difficile.

Effets de l'invitation au dépistage sur la mortalité

L'analyse a porté sur huit études européennes et deux études canadiennes.



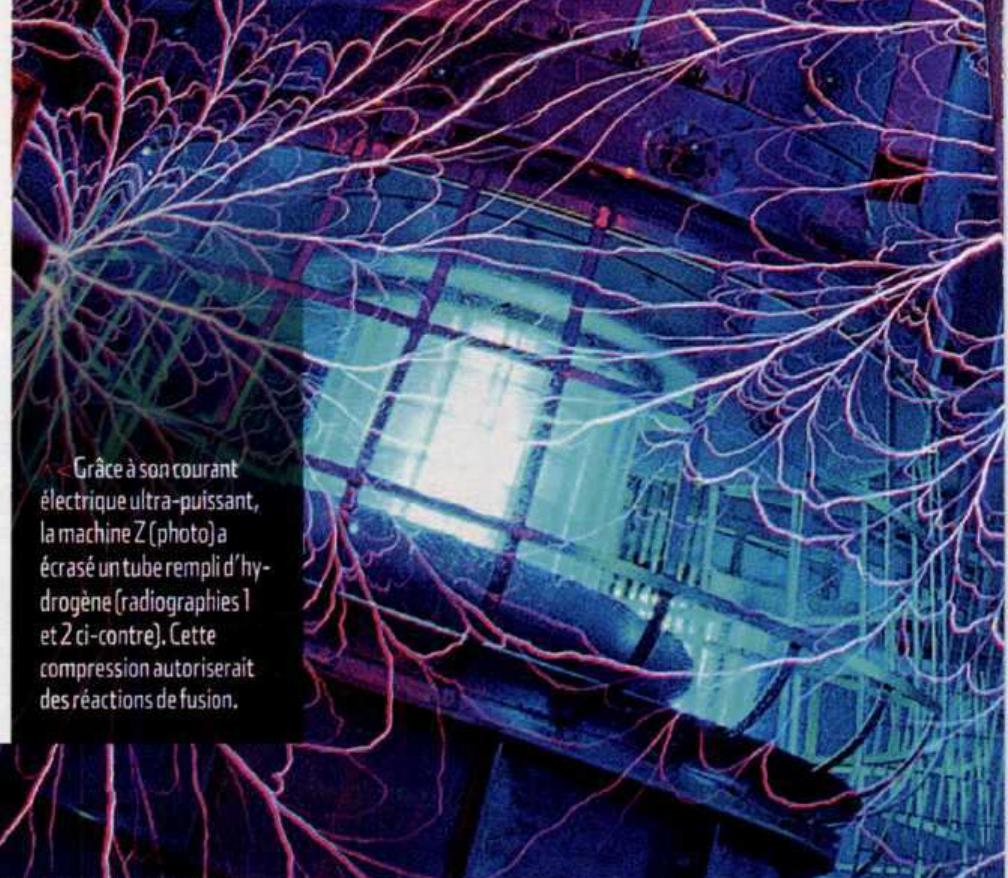
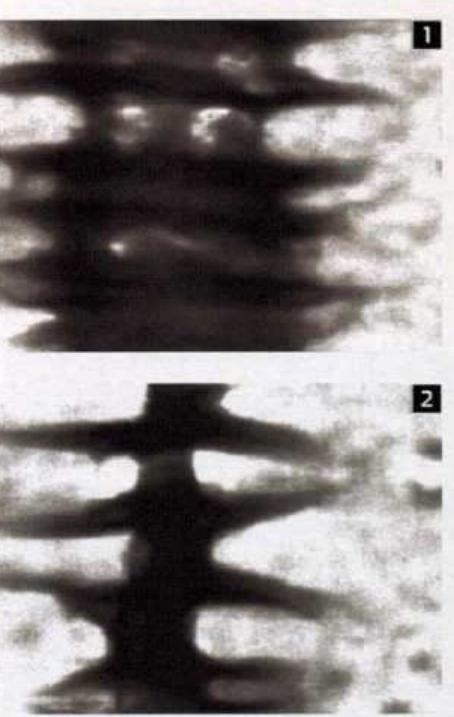
actus technos

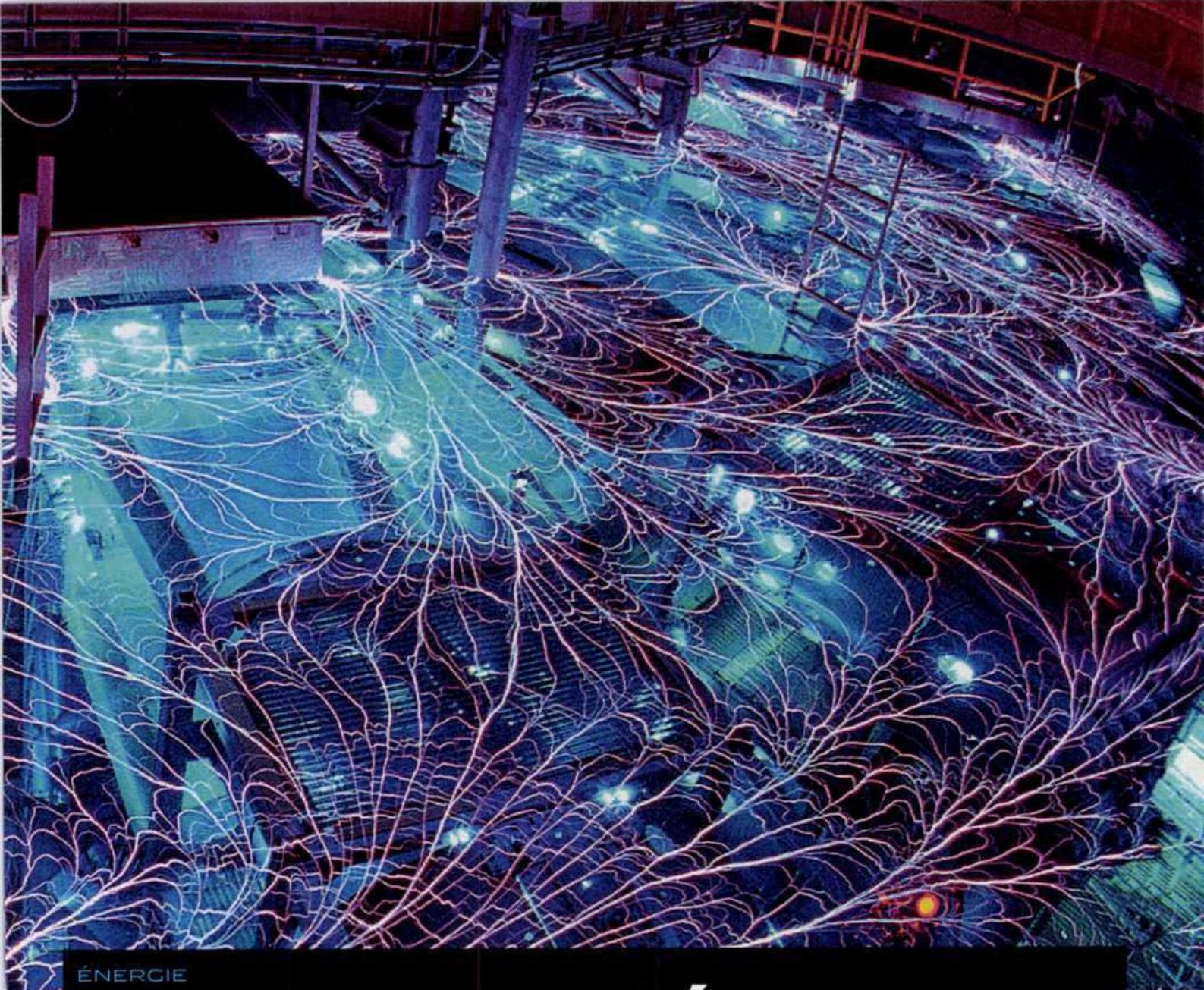
SANDIA NATIONAL LABORATORY

1

2

Grâce à son courant électrique ultra-puissant, la machine Z (photo) a écrasé un tube rempli d'hydrogène (radiographies 1 et 2 ci-contre). Cette compression autoriserait des réactions de fusion.





ÉNERGIE

LA FUSION NUCLÉAIRE FRANCHIT UN NOUVEAU CAP

Les chercheurs des laboratoires Sandia, au Nouveau-Mexique, ont réussi à déclencher une première implosion permettant une fusion nucléaire (voir ci-contre). Dans la longue quête vers la maîtrise de cette réaction, les physiciens américains ont donc franchi un pas important, grâce à leur époustouflante machine Z. Rappel : pour produire de l'énergie

en grande quantité, la fusion consiste à amalgamer deux noyaux atomiques d'hydrogène, suivant le même principe que celui qui fait briller les étoiles. Mais cette réaction exige des conditions de température (plusieurs millions de degrés) et de densité dantesques... difficiles à réunir sur Terre. Le champ électrique ultra-puissant de cette machine – 25 millions

d'ampères – permettrait de comprimer brutalement une cartouche de combustible (un mélange de deux isotopes d'hydrogène) préalablement chauffé. C'est cette phase de compression, extraordinairement subtile et précise, qui vient d'être testée avec succès. Reste que *"la fusion n'interviendrait ici que durant quelques nanosecondes!"*, souligne

Xavier Garbet, physicien au Commissariat à l'énergie atomique (CEA). Alors que la chambre expérimentale Iter, en cours de construction en France, vise à stabiliser la fusion durant huit minutes environ... mais au détriment de la puissance. Entre ces machines concurrentes, la compétition à l'énergie propre et inépuisable est donc lancée.

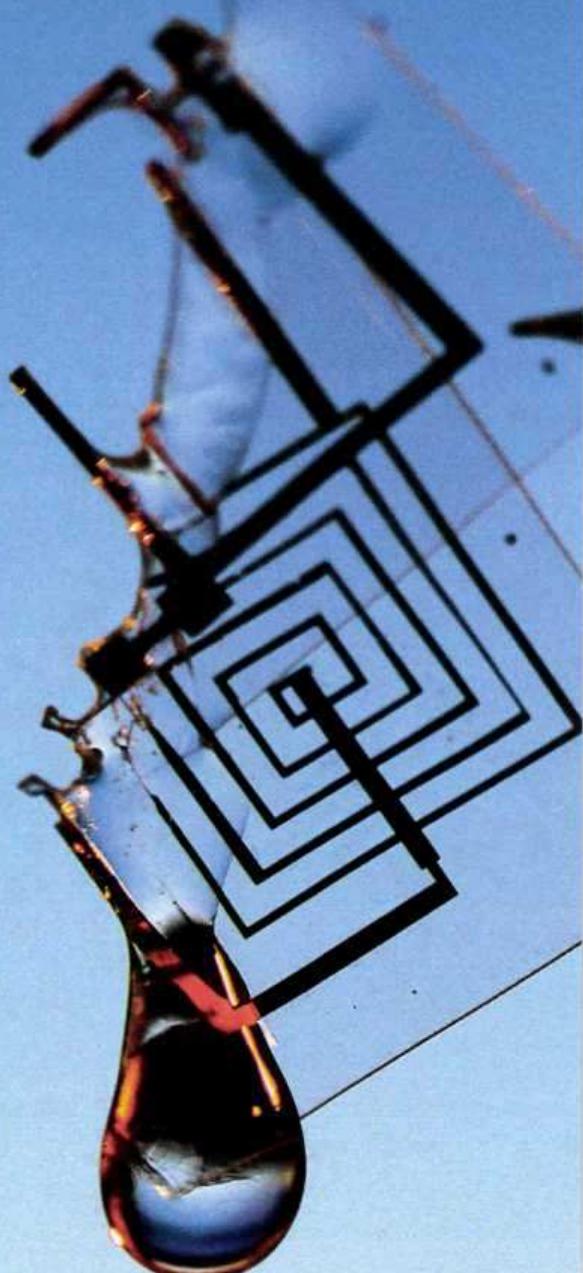
V.N.

ÉLECTRONIQUE

LE CIRCUIT IMPRIMÉ SOLUBLE DANS L'EAU EST NÉ

Et si le recyclage des déchets électroniques ne constituait plus un problème? Des scientifiques américains, sud-coréens et chinois des universités de l'Illinois et Tufts ont inventé un circuit imprimé capable de se dissoudre intégralement dans l'eau. Ultra-mince (son épaisseur mesure quelques dizaines de nanomètres), ce circuit est réalisé à partir de matériaux biodégradables: de fines feuilles de silicium poreux et des électrodes en magnésium. Le tout est encapsulé dans un support biocompatible en soie naturelle dont on peut contrôler le taux de

dégradation (c'est-à-dire la durée de vie) en modifiant sa structure cristalline. Ainsi, le circuit est utilisable de quelques minutes à quelques années, selon le traitement utilisé. Les chercheurs ont d'ores et déjà réussi à l'implanter chez un rat pour contrôler la délivrance d'un antibiotique. A l'avenir, il pourrait servir dans des applications médicales mais aussi industrielles (électronique...). Avec ce circuit, il sera en effet possible de prédire avec précision la mort des composants en fonction de multiples facteurs (pression, température, acidité, etc.). J.J.



ROBOTIQUE

IL S'APPELLE "BAXTER" ET EFFECTUE DES TÂCHES SIMPLES JUSTE PAR IMITATION

Ce prototype, conçu par l'un des pères de la robotique, Rodney Brooks, et la société californienne Rethink Robotics, travaille sans programmation. Il suffit de lui montrer les mouvements qu'il doit réaliser pour que ses capteurs de mouvements les enregistrent et que Baxter

– c'est son nom – les reproduise à l'aide de ses deux bras articulés. Il peut ainsi effectuer des tâches simples et répétitives: porter, coller, assembler... et en changer rapidement. Pour s'insérer sur n'importe quelle chaîne de montage industrielle, Baxter a également été équipé d'un

sonar à 360°, d'une caméra frontale et d'un écran affichant deux grands yeux animés. Ces derniers indiquent la tâche que Baxter s'apprête à effectuer, permettant ainsi d'anticiper ses mouvements et d'éviter tout risque d'accident, en cas de travail à proximité d'humains. E.T-A.



Ultra-mince, ce circuit est constitué de matériaux biodégradables : silicium, magnésium et soie naturelle.

10 cm³

C'est le volume du dernier satellite conçu par la Nasa. *Phonesat* fonctionne avec un simple smartphone qui assure, seul, le rôle du processeur, des capteurs et de la caméra. Testé prochainement, l'engin ouvre la voie à des outils d'observation spatiale très bon marché. M.V.

CHALEUR ET ELECTRICITÉ

Avec de 15 à 20 % de chaleur convertie en électricité, le matériau thermoélectrique conçu par l'université américaine Northwestern surpassé tous les autres (qui avoisinent les 5 %). Basé sur du tellure de plomb et de strontium, il fonctionne à 600 °C et pourrait servir à réutiliser la chaleur des pots d'échappement. L.B.

LE SON EN 3D

Grâce à 339 haut-parleurs répartis régulièrement dans une salle, des chercheurs français de l'Institut de recherche et coordination acoustique/musique ont restitué un son identique, sans distorsion, en tout point de cet endroit. Ces travaux pourraient être déployés dans des salles de concert ou mis au service de la réalité virtuelle. M.V.

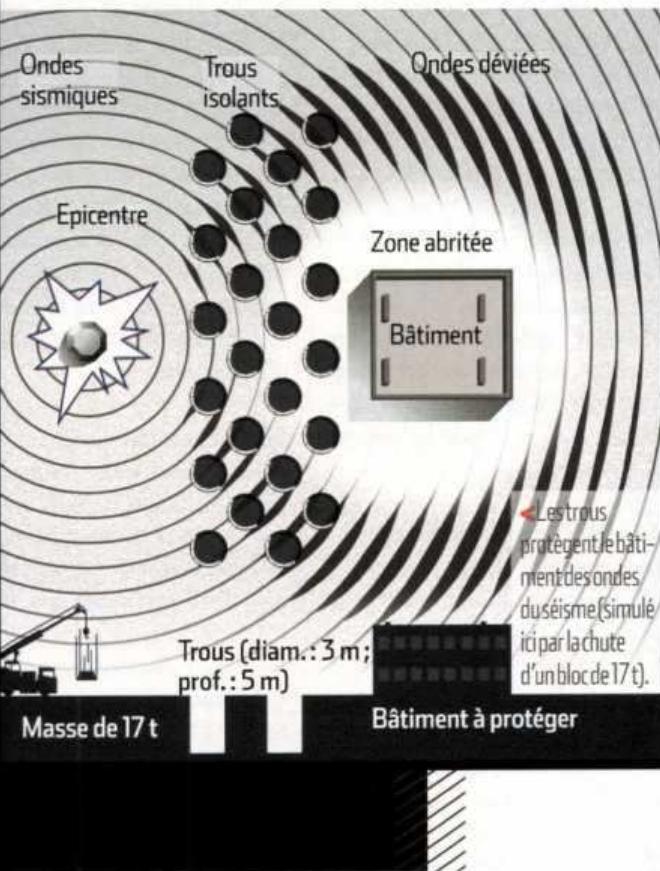
UN LASER POUR VACCINER

Des chercheurs de l'université de Séoul (Corée du Sud) viennent de tester des impulsions laser permettant d'injecter facilement un liquide sous la peau. Le jet pénètre à 30 m/seconde, sans provoquer de douleur. Peut-être un futur remplaçant des aiguilles utilisées dans les vaccins. M.V.

SÉISME

DES TROUS ONT PU DÉVIER LES ONDES SISMIQUES

Pour que les sites sensibles, comme les centrales nucléaires, résistent aux tremblements de terre, les chercheurs de l'institut Fresnel de Marseille ont trouvé un moyen inédit : dévier les ondes sismiques. Un premier test grandeur nature vient d'être réalisé avec succès près de Lyon. Sur place, la société Ménard (filiale de Vinci) a foré dans le sol une vingtaine de trous cylindriques de 3 m de diamètre et 5 m de profondeur. En les disposant comme sur un échiquier géant, ces trous ont formé une "lentille" antiseisme capable de dévier les ondes, tout autour de la zone définie. Lors d'un séisme de magnitude 4 (mimé ici par la chute d'un bloc de 17 tonnes sur le sol), plus de 30 % des ondes de surface ont ainsi contourné la zone centrale. Tout bâtiment construit à cet endroit aurait donc été en partie épargné. Pour mettre au point ce dispositif, les scientifiques se sont inspirés du principe de la cape d'invisibilité, utilisée en optique pour rendre des objets invisibles. "Toutes les ondes, qu'elles soient lumineuses ou mécaniques, répondent aux mêmes équations mathématiques", explique Sébastien Guenneau, à l'origine des recherches. Reste à affiner le dispositif pour augmenter la part d'ondes déviées. Un prochain test, simulant cette fois un séisme de magnitude 7, est prévu en 2013. L.B.



JE COMpte FAIRE TRANSPiRER LES IMMEUBLES POUR LES CLIMATiSER

ALINE ROTZETTER, doctorante au laboratoire des matériaux fonctionnels, Institut fédéral suisse de technologie de Zurich.

S&V: D'où vient cette idée ?

Aline Rotzetter: C'est mon directeur de thèse, le bioingénieur Wendelin Stark, qui a ouvert la voie en étudiant l'énorme gaspillage énergétique lié à la climatisation. Il est toujours utile de se pencher sur les solutions de Dame Nature pour résoudre un problème. Or, le phénomène de transpiration n'est rien d'autre qu'un procédé de refroidissement par évaporation ! La sueur excrétée par la peau s'évapore progressivement, et cette phase d'évaporation extrait la chaleur du corps humain.

S&V: Mais comment un bâtiment pourrait-il transpirer ?

A.R.: En le recouvrant, en guise de peau, d'un polymère très particulier : le Poly (N-isopropylacrylamide), alias PNIPAm. Sa caractéristique est d'être "thermo-répondant", au sens où il change brutalement de propriétés à partir d'une certaine température. En l'oc-

currence, le PNIPAm passe de l'état hydrophile à hydrophobe aux alentours de 32 °C. Ainsi, au-dessous de cette température, le matériau accueille et stocke les eaux de pluie dans toute son épaisseur telle une éponge. Mais quand vient la canicule, il repousse cette eau vers la surface, lui permettant ainsi de s'évaporer : c'est ainsi que le bâtiment est refroidi. Le principe est le même que celui de la transpiration humaine, et il n'a pas besoin d'électricité.

S&V: Et ça marche ?

A.R.: Plutôt bien ! Nous avons testé le dispositif sur une maquette de maison miniature au toit recouvert de polymère. Soumis à un rayonnement intense (1 000 W/m²) simulant un soleil de plomb, le PNIPAm a permis d'abaisser la température de 60 °C à 35 °C ! Une couche de 3 à 5 mm d'épaisseur suffit... D'après nos calculs, un foyer verrait ainsi sa consommation d'énergie réduite de 60 %. Il

SON IDÉE

La transpiration, qui s'observe chez les humains et nombre de mammifères, s'avère un moyen particulièrement simple et efficace d'évacuer la chaleur corporelle. Un processus qui nous permet, entre autres, de survivre en milieu aride, sous plus de 40 °C à l'ombre. Dès lors, pourquoi ne pas s'en inspirer pour climatiser nos immeubles à moindre coût énergétique ?

nous reste à le tester en grandeur nature, de la maison individuelle au gratte-ciel.

S&V: Mais cette technologie s'accorde-t-elle à tous les types de climat ?

A.R.: Vous avez raison : notre idée est plutôt adaptée aux climats tropicaux, où il pleut quotidiennement. De fait, la transpiration des bâtiments réclame d'assez grandes quantités d'eau (3 l/m² pour répondre à un après-midi caniculaire). Mais, sous d'autres latitudes, il suffirait à la rigueur d'arroser tous les matins ce revêtement.

S&V: Quelles perspectives s'offrent à cette climatisation ?

A.R.: Nous n'avons pas breveté notre invention, ce qui permettra aux pays en voie de développement – là où la climatisation pose un véritable problème énergétique – de l'utiliser librement. D'autant que notre matériau s'annonce bon marché...

Propos recueillis par V.N.

T.DEMARTELIS



INFOS ZOOM

Actualités commerciales

1 SUZUKI Un style de vie

La **nouvelle Swift** symbolise le savoir-faire de Suzuki en matière de voiture compacte : elle allie élégance, performance et dynamisme, tout en privilégiant confort intérieur et qualités écologiques. Elle offre une tenue de route encore plus performante grâce à une nouvelle direction plus réactive et plus vive, une meilleure rigidité des suspensions à l'avant et à l'arrière, une nouvelle boîte de vitesses permettant des changements de rapports plus fluides (cinq rapports en manuel

et quatre rapports en automatique) et une nouvelle évolution de la coque, plus légère et plus rigide. La nouvelle Swift est assurément une des références des citadines compactes du marché.



Consulter notre site internet
www.suzuki.fr

2 NESPRESSO Une seconde vie pour les capsules de café

Si **Nespresso** a choisi l'aluminium pour ses capsules, c'est parce que seul ce matériau préserve la très haute qualité de ses Grands Crus de café, et également parce qu'il est 100% recyclable et à l'infini. Aussi l'entreprise déploie-t-elle depuis près de 4 ans son propre circuit de collecte et de valorisation de ses capsules usagées. Ainsi, les consommateurs sont invités à les déposer dans plus de 5 000 points répartis dans les boutiques Nespresso, les commerces de proximité, les déchetteries ou encore à les confier au coursier venu livrer leur commande dans une sélection de villes. L'ensemble des capsules usagées recueillies sont acheminées vers un centre de traitement adapté.



Consulter notre site internet
[http://www.nespresso.com/
ecolabouration/fr/fr/themes/9/0/capsules.html](http://www.nespresso.com/ecolabouration/fr/fr/themes/9/0/capsules.html)

3 FONDATION RONALD McDonald Aider à mieux vivre les séparations

La question des séparations et du lien se trouve souvent au cœur des problèmes familiaux. Qu'elles soient temporaires ou définitives, les séparations sont toujours un bouleversement et une épreuve pour la famille. Il est donc important de pouvoir les appréhender, les comprendre, les accepter. C'est pourquoi la Fondation Ronald McDonald a créé en 1998 le **Prix «Familles au Coeur»**, afin de récompenser et encourager les initiatives exemplaires qui visent à «aider les parents à être parents pour l'épanouissement de leurs enfants». Tous les deux ans, le **Prix «Familles au Coeur»**, présidé par le **Professeur Catherine Jousselme, pédopsychiatre et auteur**, récompense **cinq initiatives associatives exemplaires**. Celles-ci doivent notamment viser à **accompagner** le désir des parents de partager ensemble et avec d'autres des moments de jeux, de loisirs, de culture, **aider les parents à être les initiateurs** et les organisateurs de tels projets, **favoriser l'implication des parents**, des enfants et des adolescents dans la vie associative locale. Les actions présentées doivent être mises en œuvre depuis au moins 2 ans à la date de

la candidature et s'inscrire dans le long terme. La participation au Prix est ouverte aux associations à but non lucratif, intervenant en France métropolitaine. Le dossier de candidature est téléchargeable sur www.fondation-ronald-mcdonald.fr. La date limite d'envoi des dossiers est fixée au 31 décembre 2012 (à minuit, cachet de la Poste faisant foi). Inscrivez-vous !



Consulter notre site internet
www.fondation-ronald-mcdonald.fr

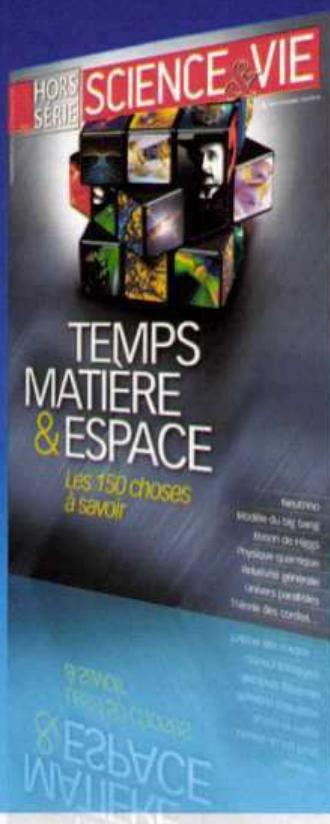
OFFREZ OU OFFREZ-VOUS UN A

55 €
seulement
au lieu
de 100,20 €*

1 an d'abonnement
+ 4 hors-séries

UNE
RÉDUCTION DE

45 %



Un mensuel pour tous, qui décrypte l'actualité scientifique de façon claire et accessible. Science & Vie est le journal de tous ceux qui veulent vivre en intelligence avec le monde.

ABONNEMENT À SCIENCE & VIE

+ [Recevez ce clavier flexible]



CLAVIER EN SILICONE QUI ALLIE PRATICITÉ, DURABILITÉ ET CONFORT.

- résiste à l'eau (et peut même être lavé)
- résiste à la poussière (environnements difficiles)
- s'emporte partout : il se glissera dans votre sac, besace...

BULLETIN D'ABONNEMENT

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

C1143

Oui, j'abonne la personne de mon choix ou je m'abonne à Science & Vie pour 1 an
(12 numéros + 4 hors-séries)
+ le clavier flexible pour seulement 55 € au lieu de 100,20 € soit plus de 45 % de réduction

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

Je commande uniquement le clavier flexible
au prix de 30 € et je joins à mon courrier le règlement total de ma commande

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

► Mes coordonnées :

Nom : _____ Prénom : _____

Adresse : _____

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

Code Postal : _____ Ville : _____

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

E-mail : _____

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

► Les coordonnées de la personne à abonner (si différentes de mes coordonnées) :

Nom : _____ Prénom : _____

Adresse : _____

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

Code Postal : _____ Ville : _____

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

E-mail : _____

► Mode de paiement : Chèque bancaire ou postal à l'ordre de Science & Vie

CB _____

Expire à fin _____ Code Crypto _____

Les 3 chiffres au dos de votre CB

Date et signature obligatoires

*Prix public et prix de vente en kiosque. Offre valable pour un 1^{er} abonnement livré en France métropolitaine jusqu'au 31/01/2013 et dans la limite des stocks disponibles. Je peux acquérir chacun des numéros mensuels de Science & Vie au prix de 4,20 €, chacun des hors-séries au prix de 4,95 €. Le clavier flexible vous sera adressée dans un délai de 4 à 6 semaines après réception de votre commande. Vous ne disposez pas du droit de rétractation pour l'abonnement au magazine. Vous disposez du droit de rétractation pour le clavier flexible. Conformément à la loi «information et liberté» du 6 janvier 1978, cette opération donne lieu à la collecte de données personnelles pour les besoins de l'opération ainsi qu'à des fins de marketing direct. Ces informations sont nécessaires pour le traitement de votre commande. Vous disposez d'un droit d'accès et de rectification des informations vous concernant ainsi que votre droit d'opposition, en écrivant à l'adresse ci-après. Vous êtes susceptible de recevoir des propositions commerciales de notre société pour des produits et services analogues à ceux objet de l'opération. Si vous ne le souhaitez pas, veuillez cocher la case ci-contre. Science & Vie Abonnements - B341 - 60643 Chantilly Cedex Mondadori Magazines SAS RCS 472 791 262 NANTERRE.

ÉVITER LE CANCER,
L'INFARCTUS,
ALZHEIMER ?

LE MÉDICAMENT QUI PROTEGE DE TOUT

Prendre chaque jour une petite pilule pour voir s'éloigner le spectre du cancer, de l'Alzheimer ou de l'infarctus ? Voici que des médicaments relèvent le défi : les prendre quotidiennement préviendrait contre les maladies qui, avec le temps, nous menacent tous ! Dossier spécial sur trois "panacées" au potentiel révolutionnaire pour la médecine... et pour nos vies.



PAR ELSA ABDOUN,
CORALIE HANCOK ET
CAROLINE TOURBE

Tenir entre ses mains une pilule capable à elle seule de maintenir l'organisme à l'abri des vicissitudes de l'âge et de son cortège de maladies chroniques. Une substance qui empêcherait le franchissement de la limite, souvent ténue, qui sépare le fonctionnement normal de l'organisme, des processus pathologiques qui lentement grippent la belle mécanique des organes, des tissus et des cellules qui le constituent. Une telle pilule du bien-être peut-elle réellement exister ? Comment ne pas voir au travers de cette quête l'espoir insensé d'un retour à un âge d'or mythologique, comme celui décrit par le Grec Hésiode, où

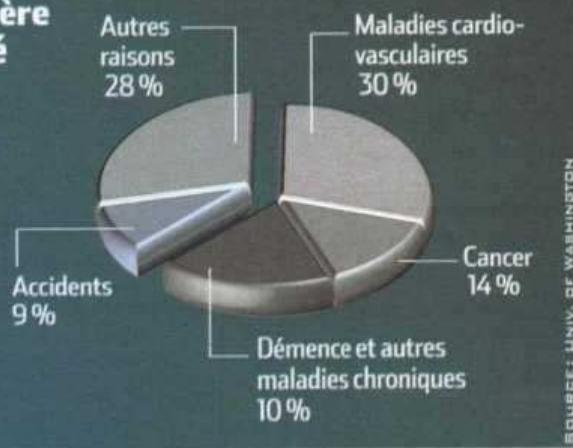
“la vieillesse importune n'existe pas. Les pieds, les mains conservaient toujours la même agilité [...] , on mourrait comme on s'endort quand on tombe de sommeil”? Un rêve inatteignable. Et pourtant...

Et pourtant, depuis quelques années, c'est bien cette incroyable perspective médicale qui se dessine... En ces temps troublés pour les médicaments, où les risques associés à leur consommation font l'objet de mises en garde répétées et argumentées, trois molécules ne cessent pourtant d'étonner les scientifiques par leur caractère “pléiotropique”, c'est-à-dire leur capacité à agir simultanément sur des →

Face à des maladies chroniques qui explosent, 3 médicaments laissent entrevoir des vertus "miraculeuses"

Les maladies chroniques, première cause de mortalité dans le monde

En 2008, sur 56 millions de décès dans le monde, 36 millions étaient dus à des maladies chroniques. Avec 63 % du total, elles sont désormais la première cause de mortalité, tous pays confondus, loin devant les maladies infectieuses.



→ processus biologiques très divers. Rien de moins que le cancer, les affections cardio-vasculaires et les maladies neurodégénératives, qui connaissent tous une expansion galopante (voir ci-dessus). C'est donc à un combat totalement inédit que pourraient se livrer trois panacées potentielles contre trois des principaux fléaux du XXI^e siècle... Si les expérimentations biologiques et les études épidémiologiques en cours valident cette potentielle révolution médicale. Et le plus étonnant est qu'il ne s'agit pas de fantastiques innovations surgies des laboratoires, aboutissements des progrès des biotechnologies triomphantes de ces dernières années... C'est même tout le contraire.

La piste la plus avancée porte en effet sur un des remèdes les plus utilisés, et même souvent sans contrôle. Une molécule si connue et depuis si longtemps que certains la considèrent davantage comme une sorte de produit de grande consommation que comme un médicament: l'aspirine. Oui, l'acide acétylsalicylique n'est jamais autant apparu sous les feux de la rampe. Son pouvoir protecteur du

système cardio-vasculaire, qui est déjà bien connu, ne cesse de se renforcer et, surtout, il est complété – avec un faisceau d'indices très concordants – par des vertus protectrices contre certains processus de cancérisation, et même, plus récemment, de déclin cognitif.

Infarctus, cancer, maladie d'Alzheimer... La liste des maux contre lesquels la deuxième molécule en lice

cardio-vasculaires, elles révèlent de très surprises facultés aux chercheurs qui s'évertuent, entre autres, à enrayer le processus de cancérisation.

Aspirine, metformine, statines... Même si ces trois molécules n'ont rien à voir entre elles, même si elles n'atteignent pas le même niveau de preuve (les statines ne sont encore qu'une piste intrigante), la metfor-

mine est déjà un candidat plein d'espoirs quand l'aspirine est un postulant bien installé), même si au-

cune n'a encore démontré assez clairement une efficacité susceptible de changer les pratiques médicales, chacune agite la même promesse: celle qu'une prise systématique et quotidienne savamment dosée permettrait de faire baisser considérablement le risque de maladies chroniques liées à la "*vieillesse importune*" d'Hésiode. Le rêve de la pilule de jouvence. Du médicament qui protège de tout. Comme un legs précieux venu du siècle dernier, ces trois molécules

Trois grands fléaux responsables

Les maladies cardio-vasculaires

Infarctus, accidents vasculaires cérébraux... Les décès à la suite d'un accident cardio-vasculaire représentent déjà la première cause de mortalité.

Les cancers

Le nombre de nouveaux cas diagnostiqués chaque année dans le monde est à la hausse, une situation liée en grande partie à l'augmentation de l'espérance de vie.

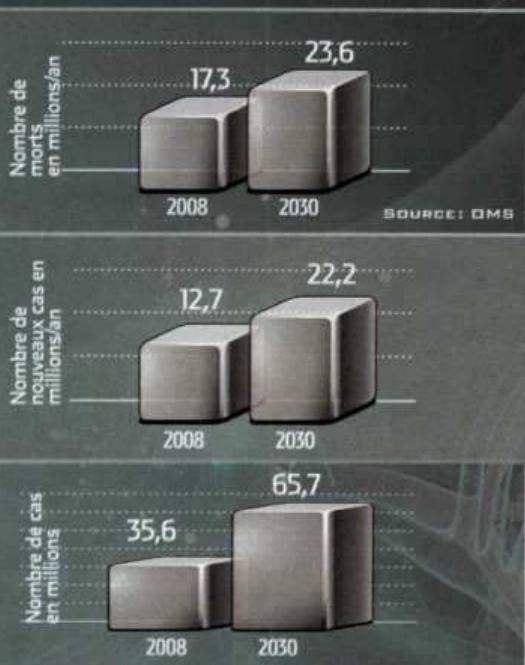
Les formes de neurodégénérescences

Les cas de démence devraient presque doubler d'ici à 2030 et l'Alzheimer pourrait représenter 60 % d'entre eux.

ET LE PLUS ÉTONNANT, C'EST QUE CES PANACÉES SONT DES MÉDICAMENTS BIEN CONNUS

pourrait former un rempart est aussi impressionnante. Son nom? La metformine. Celle-ci non plus n'est pas de prime jeunesse. Moins connue du grand public que l'aspirine, elle est l'un des plus anciens et plus prescrits des antidiabétiques, et le concurrent le plus sérieux de l'aspirine au titre de panacée. Enfin, il y a les statines, même si les études sont à leur sujet moins avancées et les espoirs plus nuancés: déjà largement prescrites – trop selon certains – en prévention des accidents

sables de millions de morts



Les preuves s'accumulent concernant les effets préventifs de trois médicaments

Ils n'ont rien en commun. Pourtant, ces trois médicaments pourraient monter au front pour prévenir certains des fléaux les plus inquiétants de ces prochaines décennies. Tous ne présentent pas le même niveau de preuve et ne sont pas aussi avancés sur la voie de la "panacée".

LEURS NIVEAUX DE PREUVE (DE 0 À 4)

	Contre les maladies cardio-vasculaires	Contre les cancers	Contre les maladies neurodégénératives
ASPIRINE	++++	+++	++
METFORMINE	+++	++	++
STATINES	++++	+	

abordent en panacées potentielles le prochain millénaire.

Attention ! Il est beaucoup trop tôt pour se précipiter à la pharmacie et se lancer seul dans une médication quotidienne. Il faudra beaucoup plus de certitudes pour imaginer donner pendant des années, voire des décennies, à des populations bien portantes ce qui reste avant tout un médicament. De fait, il s'agit là de substances actives qui peuvent avoir des effets bénéfiques, mais aussi des effets indésirables. C'est pourquoi personne n'imagine mettre demain ces médicaments dans les biberons, afin d'assurer aux enfants une vie sans maladie. Ni remplacer les célèbres "cinq fruits et légumes" par des campagnes vantant les vertus de "deux à trois cachets par jour". Et encore moins prôner leur consommation régulière aux dépens d'un mode de vie sain (voir ci-contre). Même si, dans le cas de l'aspirine, l'idée d'inciter des pans de la population (selon le seul critère de l'âge) à prendre quelques milligrammes quotidiens est déjà prônée par des médecins pionniers.

Au-delà de la nécessaire validation des bénéfices face aux risques, la promotion de tels traitements exige de savoir comment une molécule peut agir sur des fronts différents. Un caractère pléiotropique à rebours de ce que la recherche produit ces dernières décennies : des molécules ciblées agissant sur un rouage biologique spécifique. Avec leurs actions multiples et mystérieuses pour la plupart, ces vieilles molécules sont un véritable casse-tête pour les chercheurs. Les pouvoirs anti-

inflammatoires de l'aspirine ou des statines sont-ils vraiment à la base de leurs actions ? L'impact sur la production d'énergie des cellules peut-elle être à l'origine d'un effet bénéfique de la metformine comparable à celui d'une diète calorique drastique ? Beaucoup d'autres questions... et des pistes se dégagent. Autant de perspectives inattendues sur les rouages de notre corps laissant espérer que ceux de la maladie et les secrets de la vie en pleine santé s'éclairent d'une lumière inédite. C.T.

D'ABORD UN MODE DE VIE SAIN !

Dans la quête d'une pilule "miracle", il est un point sur lequel tous les médecins se retrouvent : le mode de vie d'un individu reste le plus puissant des leviers pour améliorer son état de santé. Les agences sanitaires sont unanimes : pour tenir à distance les maladies liées à l'âge, rien ne vaut d'arrêter de fumer, de ne pas consommer trop d'alcool, d'adopter un régime alimentaire équilibré, de lutter contre la séentarité. Autant d'objectifs qui, s'ils étaient visés par tous, permettraient de réduire drastiquement les risques de développer de nombreuses maladies chroniques.

ASPIRINE

Elle cacherait une véritable panacée

Le plus célèbre des anti-inflammatoires cumule les bienfaits cachés : contre les accidents vasculaires et le cancer, voire le déclin cognitif.

L'information commence à bruissier dans les couloirs des cabinets médicaux. Il existerait une simple molécule capable de réduire drastiquement les risques d'accidents vasculaires et de cancers, et peut-être même de ralentir le vieillissement du cerveau... Une panacée qui protège des trois plus grands fléaux du monde occidental ? "J'en prends régulièrement", confie de but en blanc Peter Rothwell. Ce neurologue de l'université d'Oxford (Royaume-Uni) n'a rien d'un farfelu, il est même l'un des spécialistes mondiaux du sujet. En France, à l'hôpital Avicenne de Bobigny (Seine-Saint-Denis), le gastro-entérologue Robert Benamouzig, très en pointe également, n'hésite pas, lui, à confier qu'il en a "déjà prescrit plusieurs fois cette année". Mais quelle est cette molécule miracle ? Le dernier-né de la recherche sur les nano-médicaments ? Une nouvelle biothérapie issue du génie génétique ? Rien de tout cela. Simplement... cette bonne vieille aspirine.

Quand le chimiste allemand Felix Hoffmann synthétisait en 1897 l'acide acétylsalicylique, il était loin de se douter qu'il était peut-être en train de découvrir ce qui pourrait devenir le remède miracle du XXI^e siècle... Le rôle de l'aspirine dans la prévention des maladies cardio-vasculaires, reconnu aujourd'hui, a en effet été

gulant. A émergé alors l'hypothèse, aujourd'hui définitivement confirmée, d'un rôle préventif de l'aspirine contre certains infarctus et accidents vasculaires cérébraux.

Mais la véritable surprise de ce début de siècle, c'est le rôle de cette molécule dans la prévention du cancer. Peter Rothwell, le chercheur d'Oxford,

défend cette hypothèse depuis des années. Et grâce à lui, elle est aujourd'hui plus forte que jamais. Il a en effet

SA PRISE QUOTIDIENNE POUR PRÉVENIR LES CANCERS OFFRE UN NIVEAU D'EFFICACITÉ RARE !

longtemps ignoré, car ce médicament fut d'abord développé pour lutter contre la fièvre, les rhumatismes et, plus généralement, les douleurs. C'est seulement en 1967, en cherchant à comprendre pourquoi la prise d'aspirine entraînait parfois des hémorragies, qui constituent d'ailleurs l'effet indésirable le plus redouté (voir ci-dessous), que des chercheurs américains ont découvert son effet anticoa-

publié en mai dernier une impressionnante analyse de la quasi-totalité des publications scientifiques des vingt dernières années sur le sujet, qui lui permet de conclure à l'efficacité de la molécule contre de nombreux cancers. "Et cela marche même à de très faibles doses !", s'enthousiasme Peter Rothwell. Soit moins de 300 milligrammes par jour.

Au départ, l'hypothèse a survécu tout à fait par hasard. En 1988, des chercheurs australiens tentaient de déterminer si certaines maladies ou traitements médicaux augmentaient le risque de développer un cancer du côlon. En étudiant l'histoire médicale de 1 500 personnes, dont la moitié atteinte de ce cancer, ils découvrent alors, à leur grande surprise, que le risque d'en développer un est 40 % plus faible chez les personnes prenant régulièrement de l'aspirine. Dans les années qui suivent, le postulat tend à se confirmer dans le cas de ce cancer, mais les résultats sont plus contra- →

REPÈRES

NOM : Acide acétylsalicylique (Aspirine)

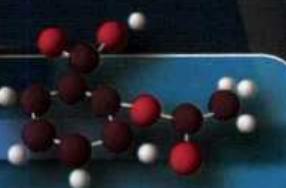
DATE DE COMMERCIALISATION : 1897

AUTORISÉ POUR :

Douleurs diverses, fièvres, rhumatismes, courbatures, prévention des maladies cardiovasculaires.

EFFECTS INDÉSIRABLES :

Douleurs abdominales, saignements du nez ou des gencives. Rare et grave : hémorragie du tube digestif. Accidents allergiques : urticaire, œdème, asthme.

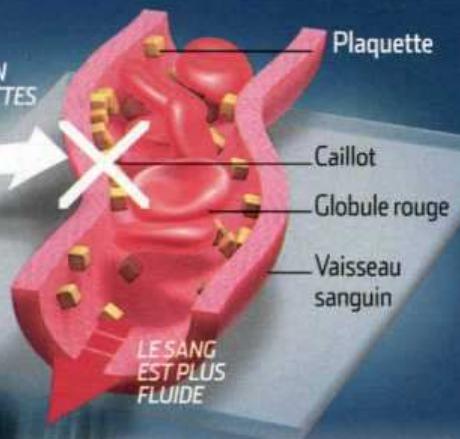


Les raisons d'y croire

Connue pour lutter contre la fièvre et les douleurs, l'aspirine révèle de nouvelles qualités. Son action anticoagulante a été très clairement identifiée dans la prévention des risques vasculaires. Les modes d'action contre les risques de cancers et de déclin cognitif gardent, eux, une bonne part de mystère.

L'AGRÉGATION DES PLAQUETTES EST RÉDUITE

Aspirine



L'aspirine optimise le flux sanguin et préserve le cerveau du vieillissement...

L'aspirine empêche les plaquettes sanguines de s'agrégner, ce qui facilite la circulation du sang. Le cerveau serait ainsi mieux irrigué et oxygéné, ce qui améliorerait son fonctionnement et ralentirait son vieillissement.

Aspirine

Aspirine

LA FORMATION DE CAILLOT EST ÉVITÉE

Aspirine

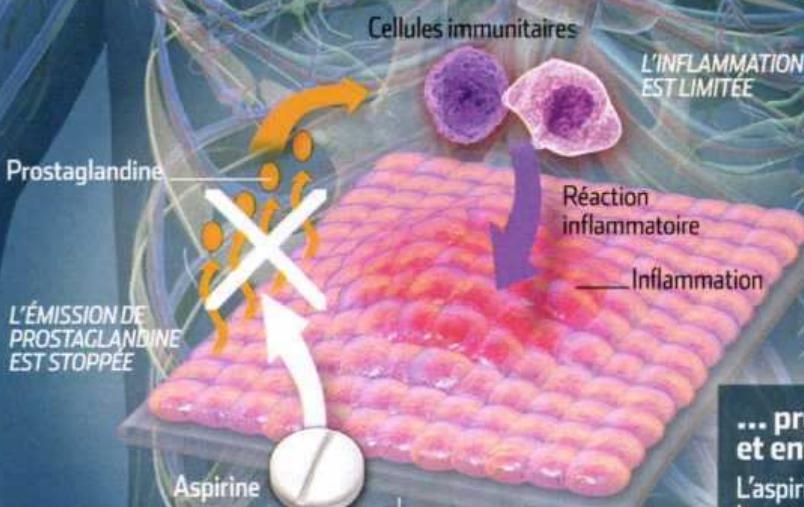
Plaquette

Globule rouge

Vaisseau sanguin

Caillot

Plaque d'athérome



... prévient la formation de caillot et les risques vasculaires

L'aspirine empêche les plaquettes sanguines de s'agrégner au niveau des plaques d'athérome (dépôts graisseux ou minéraux dans les artères), et d'y former des caillots qui risqueraient de provoquer des accidents vasculaires mortels.

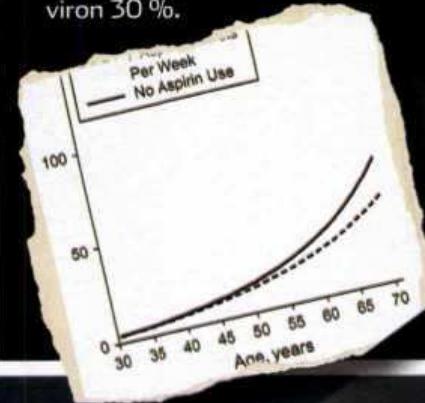
... protège les tissus de l'inflammation et entrave le développement tumoral

L'aspirine réduit les phénomènes d'inflammation qui, sur le long terme, peuvent abîmer les cellules, et y provoquer des mutations qui les rendent cancéreuses. Si la molécule est connue pour limiter l'inflammation en bloquant la libération de prostaglandines, des hormones qui favorisent l'inflammation, d'autres voies anti-inflammatoires pourraient intervenir.

LES MALADIES EN LIGNE DE MIRE

CONTRE LE CANCER

De très nombreuses études vont dans le sens d'un effet protecteur de la prise régulière d'aspirine sur le risque de développer une grande variété de cancers (ci-dessous: *Am J Epidemiol*, 2009). Les preuves les plus solides concernent le cancer du côlon, dont on estime que l'aspirine réduirait l'incidence d'environ 30 %.



PETER ROTHWELL

NEUROLOGUE, UNIVERSITÉ D'OXFORD (ROYAUME-UNI)

Même à très faible dose les effets contre le cancer se font sentir !

→ dictoires pour les autres. Puis, coup de tonnerre cette année, après avoir additionné toutes les données, pour la première fois, Peter Rothwell fait pencher définitivement la balance: l'aspirine démontre clairement son rôle préventif sur de nombreux cancers. Sa prise quotidienne, pendant plusieurs années, préviendrait notamment l'apparition des leucémies et de certains cancers gastriques, de l'œsophage et des voies biliaires. Ce que confirme le gastro-entérologue Robert Benamouzig: "On a un niveau de preuve d'efficacité qu'on retrouve pour très peu de produits au monde."

Comment une seule molécule peut-elle prévenir l'apparition de toute une variété de cancers? Les chercheurs n'ont pas encore de réponse ferme et définitive... mais plusieurs hypothèses. Longtemps, une seule a prévalu. La botte secrète de l'aspirine se trouverait dans son action

anti-inflammatoire. L'hypothèse est séduisante car l'inflammation chronique est connue pour être un des processus biologiques qui rongent lentement le corps vieillissant à l'origine de nombreux cancers. Mais cette piste est aujourd'hui remise en question. Il semblerait en effet qu'aux très

ON NE RETROUVERA PEUT-ÊTRE PAS UNE MOLÉCULE AUSSI "MIRACULEUSE" AVANT 50 ANS

faibles doses auxquelles elle produit son effet anticancéreux, l'aspirine n'ait pas d'action anti-inflammatoire directe. Plusieurs explications se concurrencent donc aujourd'hui, passant notamment par une action anti-inflammatoire indirecte aux mécanismes encore mal définis (voir infographie p. 63), ou par la capacité de l'aspirine à aider certaines cellules

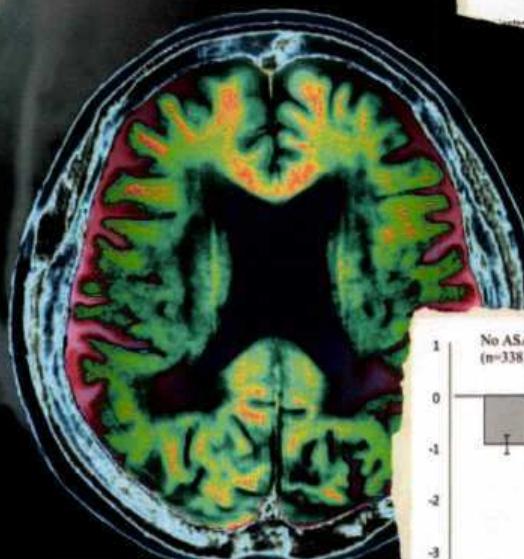
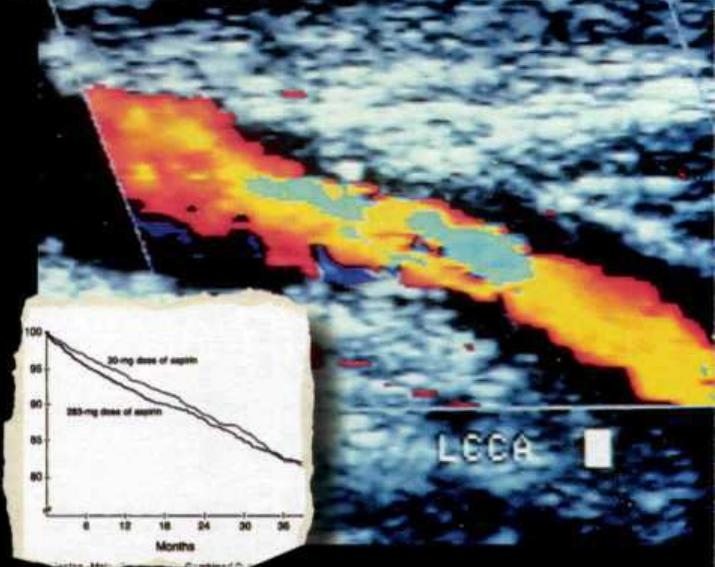
du corps, vieilles ou abîmées, à mourir avant qu'elles ne puissent devenir cancéreuses. "C'est compliqué, car l'aspirine agit sur de nombreuses voies différentes en même temps", admet Peter Rothwell. Et alors que les chercheurs sont déjà dépassés par la variété des actions biologiques

de l'aspirine, voilà qu'un autre rôle de la molécule se révèle: la prise régulière d'aspirine protégerait aussi des démences et du déclin cognitif liés au vieillissement.

Cette hypothèse a véritablement émergé en 1990, quand des chercheurs canadiens ont découvert que les personnes atteintes d'arthrite rhumatoïde, qui prenaient régulièrement des anti-inflammatoires, et notamment de l'aspirine, étaient jusqu'à douze fois moins atteintes de la ma-

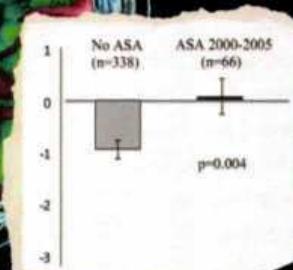
CONTRE LES ACCIDENTS VASCULAIRES

Le rôle de l'aspirine dans la prévention des accidents vasculaires n'est plus à démontrer. De nombreuses études, menées dans les années 1970 à 1990, ont prouvé que la prise d'aspirine diminuait le risque d'AVC et d'infarctus (ci-contre : NEJM, 1991).



CONTRE LE DÉCLIN COGNITIF

L'hypothèse d'un rôle contre le déclin cognitif et les démences liées à l'âge est encore fragile, car des données contradictoires ont été publiées sur le sujet ces vingt dernières années. La dernière étude (*BMJ Open*, 2012) renforce cependant cette hypothèse, en montrant un effet positif sur certaines facultés cognitives.



lade d'Alzheimer. Si des travaux contradictoires ont été menés depuis, une étude suédoise vient de démontrer, sur des femmes à risque élevé d'accident cardio-vasculaire, un effet protecteur de la prise d'aspirine sur le déclin cognitif. Selon les auteurs de l'étude, cet effet passerait par une augmentation du flux sanguin dans le cerveau (voir infographie). Silke Kern, chercheuse à l'université de Göteborg (Suède) et première auteur de l'étude, en est persuadée : « *La piste de l'aspirine pour protéger le cerveau du déclin cognitif et de la démence est sérieuse. Mais, reconnaît-elle, il est bien trop tôt pour recommander son usage dans ce but.* »

Des bénéfices démontrés sur les risques d'accidents vasculaires et le cancer, et un possible effet protecteur contre le vieillissement du cerveau... Il serait dommage de passer à côté! Pour s'en assurer, ne pourrait-on pas

imaginer d'autres molécules avec le même mécanisme d'action, mais sans les effets secondaires de l'aspirine?

VERS UNE PRESCRIPTION ÉLARGIE?

Pour Peter Rothwell, c'est une évidence, « *l'aspirine n'est qu'une première étape* ». Jusqu'à présent, cependant, toutes les tentatives de faire mieux se sont révélées infructueuses. Voire catastrophiques. Ainsi l'anti-inflammatoire Vioxx, développé dans ce but, a-t-il été retiré du marché il y a quelques années, après qu'on a découvert que sa prise régulière augmentait fortement le risque d'accidents cardiaques. C'est pourquoi, pour Robert Benamouzig, « *il n'est pas certain que l'on trouve d'autres molécules aussi efficaces avant une cinquantaine d'années* ». En effet, « *pour l'aspirine, on a un rare avantage: comme elle est utilisée massivement et depuis très*

longtemps, on possède énormément de données ». Quand pourra-t-on alors profiter des merveilleux effets de cette molécule? « *Aux Etats-Unis, l'aspirine est déjà prise quotidiennement par un grand nombre de personnes en bonne santé*, explique Peter Rothwell, *mais les médecins attendent, eux, pour pouvoir la prescrire plus largement, que les agences sanitaires leur donnent de nouvelles directives*. » En effet, pour l'instant, dans la plupart des pays, seules les personnes à forts risques d'accidents cardio-vasculaires peuvent se la faire prescrire. Mais le rôle de l'aspirine dans la prévention des cancers invite toutefois les autorités de santé à envisager un élargissement de sa prescription à une plus grande partie de la population. « *L'élaboration de nouvelles directives est en cours* », promet Peter Rothwell. Rendez-vous dans cinq à dix ans.

E.A.

METFORMINE

Elle aurait l'effet d'un élixir de jouvence

Ce banal antidiabétique très couramment prescrit reproduirait l'action d'un régime strict... au point de retarder l'usure du temps !

Certains chercheurs l'ont déjà rebaptisée "nouvel élixir de jouvence", en référence à la promesse emblématique d'une potion capable de mettre le corps à l'abri de l'usure du temps et de son cortège de maladies. Et pour cause: la metformine, ce médicament parmi les plus classiques et les mieux connus des médecins, déjà prescrite contre le diabète à plus de 120 millions de patients à travers le monde, permet également de réduire les risques de cancers ou de maladies cardio-vasculaires, voire l'apparition de maladies neurodégénératives... Des dizaines et des dizaines d'études menées sur des patients diabétiques ou non le suggèrent déjà: la metformine semble capable de reproduire sur l'organisme les effets de la restriction calorique, cette diète stricte dont il a été démontré sur l'animal qu'elle peut augmenter l'espérance de vie, mais aussi protéger des principales pathologies liées au vieillissement. Aussi incroyable que cela paraisse, il semble

donc que les bénéfices de la restriction calorique puissent être en partie "concentrés" dans une simple petite pilule ! Et même si son utilisation généralisée est très loin d'être envisagée, les recherches frénétiques autour de ses vertus potentielles s'amplifient.

Qui aurait pu prédire une telle destinée à ce médicament, dont les origines remontent au Moyen Age ? En effet, la metformine provient de la galéGINE,

une perte de sensibilité des cellules de l'organisme à l'insuline, suivie d'une augmentation du taux de sucre dans le sang. Près de cinquante ans plus tard, le médicament ne fait plus l'objet de brevets et le Glucophage, son nom commercial, est désormais décliné en de nombreuses formes génériques qui assurent un bon contrôle de la glycémie avec un minimum d'effets indésirables (voir ci-dessous)... Le monde

médical pense alors tout connaître de ses bénéfices. A tort.

Coup de théâtre en 2005. Un chercheur écossais bouleverse la

tranquille destinée de la metformine. Dario Alessi, biologiste à l'université de Dundee (Royaume-Uni), a montré au début des années 2000 que l'apparition de tumeurs peut être liée au mauvais fonctionnement d'un gène (LKB1) qui inactive une enzyme, l'AMPK. Or, des chercheurs découvrent justement que la metformine active cette enzyme AMPK. Dario Alessi a alors une intuition: "J'ai réalisé que, chez les patients sous metformine, il se passait peut-être l'inverse de ce qui se passe chez les patients cancéreux: les diabétiques traités à la metformine pouvaient donc avoir un risque atténué de cancer." Pour vérifier son hypothèse, il contacte Andrew Morris, médecin épidémiologiste dans la même université que lui. "Andrew a trouvé que ma requête était la plus folle qu'on lui ait jamais faite et ce n'est qu'après l'avoir rencontré trois ou quatre →

TOUS LES AVANTAGES D'UNE RESTRICTION CALORIQUE DANS UNE PETITE PILULE !

une molécule contenue dans le galéga officinal, une plante utilisée pour traiter des symptômes (soif intense, fréquente envie d'uriner...) que l'on attribuera plus tard au diabète. Dans les années 1950, la metformine a fait son entrée sous sa forme actuelle dans l'arsenal thérapeutique contre le diabète de type 2, celui qui se caractérise par

REPÈRES

NOM : Metformine (Glucophage...)

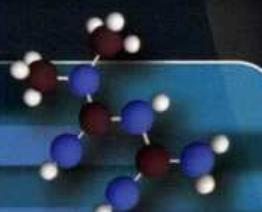
DATE DE COMMERCIALISATION : 1953

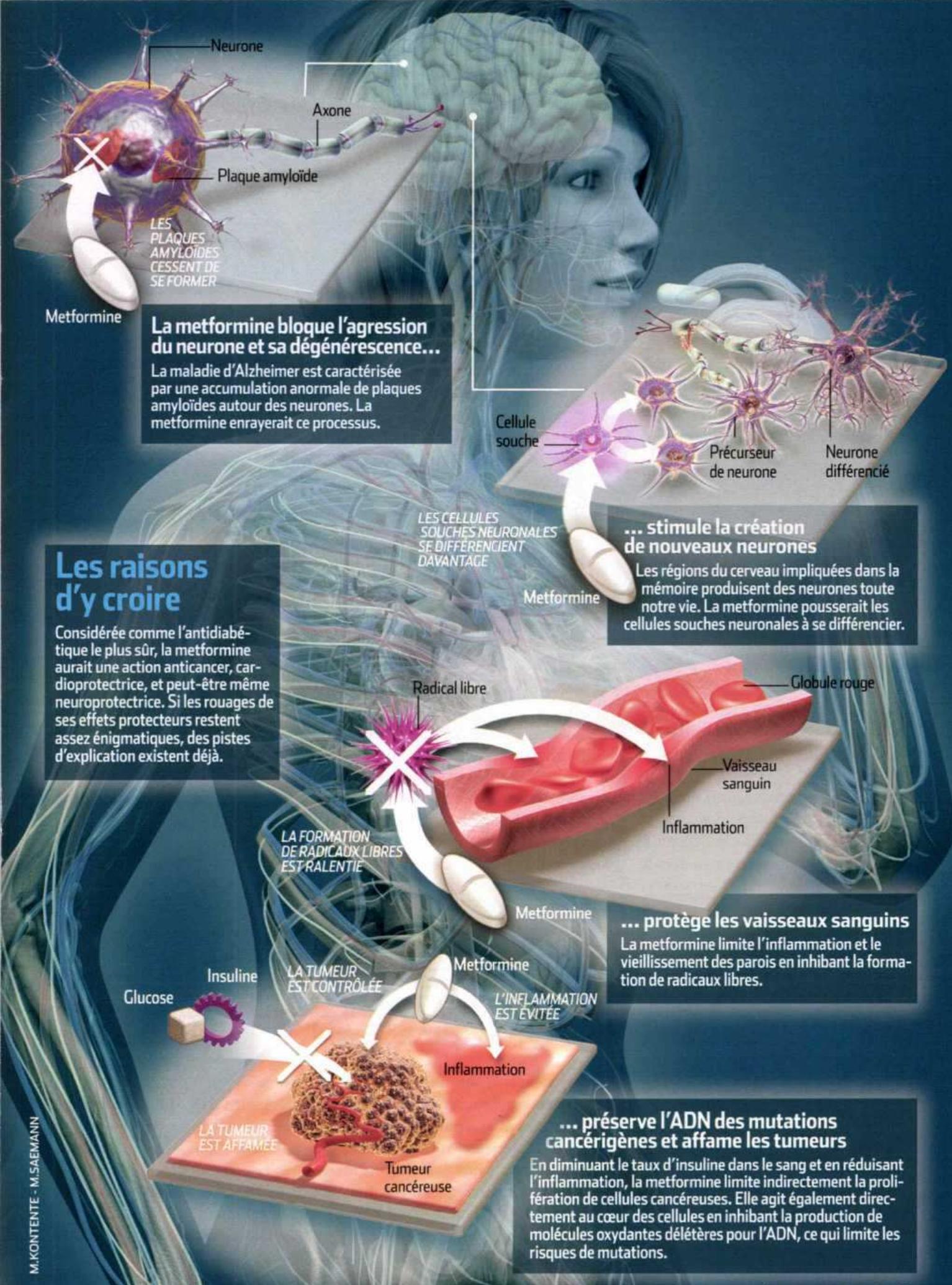
AUTORISÉ POUR :

Le traitement du diabète de type 2 (120 millions d'utilisateurs dans le monde).

EFFETS INDÉSIRABLES :

Surtout digestifs (nausées, vomissements, douleurs abdominales, diarrhées...) lors de la mise en place du traitement. Diminuent le plus souvent avec le temps. Très rares cas de carence en vitamine B12 pouvant entraîner une anémie. Acidose lactique : 3 cas pour 100 000 patients par an, ce qui justifie sa contre-indication en cas d'insuffisances cardiaque, respiratoire, rénale et hépatique.







MARC FORETZ

CHERCHEUR AU CNRS,
INSTITUT COCHIN (PARIS)

Son action sur la production d'énergie de l'organisme suggère un effet bénéfique sur l'espérance de vie

→ fois qu'il a finalement accepté d'y répondre", poursuit-il. Les deux hommes se plongent dans la masse de données épidémiologiques patiemment récoltées depuis des décennies sur les utilisateurs de cette molécule. Et l'intuition de Dario Alessi se vérifie. En 2005, les deux chercheurs sont en mesure d'affirmer que, pour les diabétiques traités à la metformine, comparés à ceux qui utilisent d'autres traitements, la diminution du risque de cancer est de l'ordre de 25 %, toutes formes de tumeurs confondues ! Mais il faut rappeler que chez les diabétiques, le risque de développer un cancer est plus important que dans le reste de la population.

Depuis, plus d'une vingtaine d'équipes ont confirmé ces résultats contre les cancers de la prostate, du sein, du pancréas, et aujourd'hui du côlon. Une étude taïwanaise vient ainsi de démontrer que traités à la

metformine depuis trois ans ou plus, des diabétiques voient leur risque de développer un cancer du côlon réduit de près de 36 % par rapport à ceux soignés avec un autre traitement. Une vaste étude coréenne révèle des résultats plus nets encore quant au risque de voir réapparaître des tumeurs chez des patients déjà traités pour un can-

ELLE PROTÉGERAIT DU CANCER ET DU CORTEGE DE MALADIES LIÉES AU VIEILLISSEMENT...

cer : les récidives sont presque deux fois moins nombreuses sous metformine. Reste à préciser tous ses modes d'action, mystérieux à plus d'un titre.

Des chercheurs ont déjà démontré que l'intuition de Dario Alessi était correcte : en stimulant la voie LKB1/AMPK, la metformine inhibe une cascade de réactions connues pour

favoriser la croissance et la prolifération tumorale via la synthèse de protéines. Mais ce mécanisme est loin d'être le seul à être mis en marche par le médicament. L'équipe de Michael Pollak, de l'université McGill au Canada, vient ainsi de montrer chez la souris que la molécule a aussi le pouvoir de limiter le nombre de

dommages causés à l'ADN quand il est exposé à un agent mutagène : elle est en effet capable de limiter la produc-

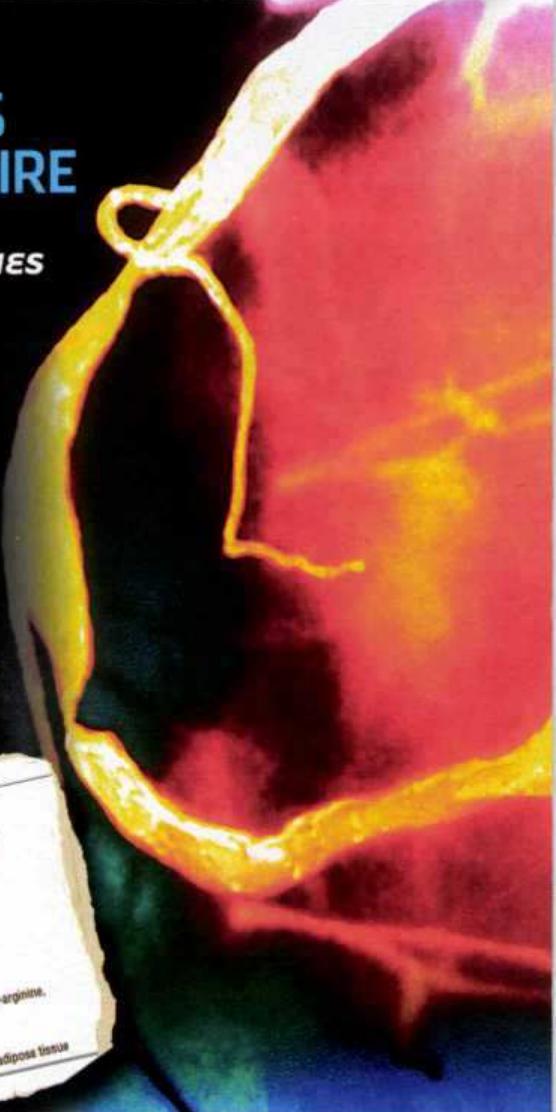
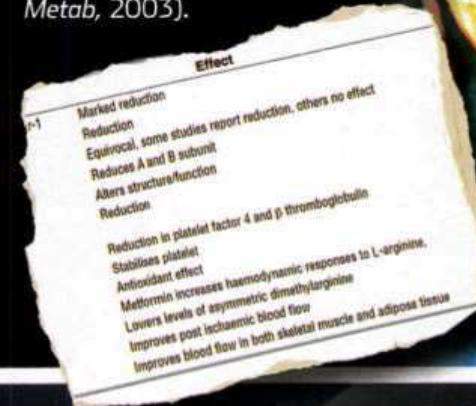
tion de molécules oxydantes très délétères pour l'ADN. Or, tous les processus nouvellement découverts ont un point commun : les mitochondries.

C'est en effet au cœur de ces organites spécialisés dans la production d'énergie des cellules que la metformine semble jouer son plus grand rôle. "La production d'énergie des mito-

LES MALADIES EN LIGNE DE MIRE

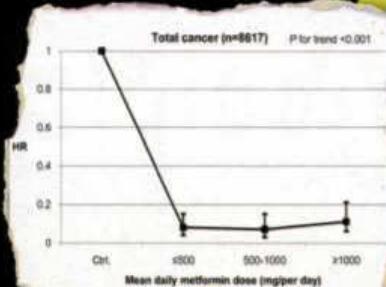
CONTRE LES PATHOLOGIES CARDIO-VASCULAIRES

Contrairement aux autres antidiabétiques, la metformine prise sur le long terme diminue d'environ 40 % la mortalité liée aux maladies cardio-vasculaires (infarctus, attaques cérébrales chez les diabétiques). Un effet qui serait donc indépendant de son action contre la glycémie (ci-dessous : *Diabetes Metab*, 2003).



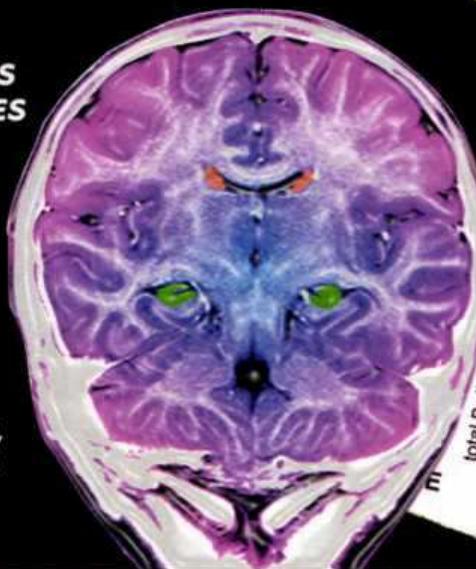
CONTRE LE CANCER

De nombreux essais cliniques sont en cours pour démontrer l'intérêt de la metformine dans la prévention, la récidive ou le traitement du cancer. De puissants effets ont en effet été observés contre certains cancers (côlon, pancréas, foie, prostate, sein) chez des diabétiques traités sur le long terme. Ainsi le risque de cancer du côlon a été réduit de près de 36 % (ci-contre: *BMC Cancer*, 2011).



CONTRE LES MALADIES NEURODÉGÉNÉRATIVES

Cette hypothèse de laboratoire à vérifier chez l'homme montre, chez les animaux, que la metformine actionnerait deux leviers contre les maladies dégénératives. Elle limiterait l'accumulation des protéines Tau sur les neurones dans le cas d'Alzheimer, et relancerait la fabrication de neurones dans le cerveau (ci-contre: *Cell Stem Cell*, 2012).



chondries est ralentie sous l'effet de la metformine", explique Marc Foretz, chercheur au CNRS dans le département Endocrinologie, métabolisme et cancer à l'Institut Cochin (Paris). Une situation comparable à celle d'un organisme soumis à une diète calorique drastique. Et de rajouter: "La metformine pourrait donc reproduire les effets bénéfiques de la restriction calorique sur l'espérance de vie."

En réaction à une restriction énergétique, le corps active les voies productrices d'énergie et inhibe celles qui en consomment. Et parmi celles qui consomment de l'énergie, on trouve la synthèse de glucose par le foie – sa diminution est l'effet attendu chez les diabétiques – mais également la synthèse du cholestérol et des acides gras. Soit deux des ennemis intimes du cœur et des vaisseaux. Mais c'est du côté du cerveau et de ses pathologies que la metformine réserve ses

dernières surprises de taille. En effet, des chercheurs ont démontré cette année pour la première fois que, dans le cerveau, un phénomène de résistance à l'insuline précédait et contribuait au déclin cognitif observé chez les patients souffrant de la maladie d'Alzheimer. Réduire cette résistance grâce à la prise de médicaments anti-diabétiques pourrait donc limiter le risque de voir apparaître cette pathologie. Mais ce n'est pas tout...

DE NOUVELLES PERSPECTIVES TOTALEMENT INATTENDUES

La metformine pourrait aussi avoir un effet direct sur le cerveau. En 2010, Susann Schweiger, chercheuse à l'Institut Max-Planck de Berlin, a ainsi démontré que la metformine avait pour effet d'empêcher l'accumulation toxique de protéines sur les neurones, une accumulation qui est l'un des symptômes... de la maladie

d'Alzheimer ! De son côté, en cherchant un moyen de ralentir l'apparition de la maladie, l'équipe de Freda Miller, de l'université de Toronto, a découvert l'été dernier que, chez la souris, la metformine favorisait la croissance neuronale. Mieux, les capacités d'apprentissage étaient améliorées chez les souris sous metformine. Des études certes préliminaires, mais qui ouvrent des perspectives totalement inattendues.

Pour le cancer et les risques cardio-vasculaires, qui sont les deux maladies pour lesquelles la metformine fait déjà l'objet d'essais cliniques sur des patients non diabétiques, des résultats sont attendus d'ici à quelques années. Mais Dario Alessi n'hésite pas à s'avancer déjà: "Pour les laboratoires pharmaceutiques, il me semble désormais pertinent d'explorer le bénéfice de la metformine à plus large échelle."

C.H.

STATINES

Elles seraient une sorte de pilule miracle

S'ils sont controversés, ces anticholestérols dévoilent des vertus insoupçonnées contre le cancer et l'ostéoporose. Mais pas seulement.

Et si, la cinquantaine venue, les statines devenaient bénéfiques pour tout le monde ? Poser cette question a tout d'une provocation tant cette famille de médicaments – parmi lesquels figure l'atorvastatine, commercialisée en France dans le traitement du cholestérol sous le nom de Tahor – a été sévèrement critiquée ces derniers mois, notamment pour ses effets indésirables (voir ci-dessous). Shah Ebrahil et Juan Casas de l'University College London n'hésitent pourtant pas à la poser au terme d'une très large analyse révélatrice, à propos des accidents cardio-vasculaires, que les statines auraient des effets bénéfiques supérieurs aux risques d'effets secondaires, et ce, même dans la catégorie des personnes courant *a priori* le moins de risques.

Au-delà des débats que suscite la prescription massive des statines (voir p. 73), certains chercheurs estiment que cette classe de molécules renferme potentiellement une des panacées du XXI^e siècle. Elles pourraient non seulement réduire drastiquement les accidents cardio-vasculaires, mais

aussi limiter la survenue ou la récidive de certains cancers... Plus largement, leur puissant effet anti-inflammatoire continue à fasciner les chercheurs, régulièrement étonnés par de nouvelles pistes d'application : contre l'ostéoporose, les rhumatismes inflammatoires, la sclérose en plaques...

Découvertes au milieu des années 1970, les statines n'étaient pourtant pas promises à un succès aussi fulgurant,

lestérol LDL, ce cholestérol mauvais pour nos artères, classé par l'Organisation mondiale de la santé en quatrième position des facteurs de risques cardio-vasculaires. Aujourd'hui, les cardiologues estiment que chez les personnes qui ont été victimes d'un accident coronarien, la prescription de statines a significativement permis d'abaisser la mortalité et la fréquence des récidives. Mais, ces dernières années, des études

surprenantes ont suggéré que, même sans risque cardio-vasculaire avéré, les statines étaient bénéfiques. Résultats étonnantes... et très controversés.

Là où on ne les attendait vraiment pas, c'est dans la recherche contre le cancer. Même si les données sont encore très préliminaires, et parfois contradictoires, les résultats obtenus en laboratoires n'en sont pas moins fascinants. Car les statines semblent lutter sur plusieurs fronts, à la fois contre le développement des tumeurs et sur de nombreux types de cancers. "Des études menées en laboratoires ont montré, avec un niveau de preuve élevé, que les statines inhibaient la croissance de plusieurs types de cellules cancéreuses mises en culture", explique Teemu Murtola, chercheur à l'école de santé publique Johns Hopkins Bloomberg de Baltimore (Etats-Unis). Comment ? C'est encore un mystère, mais plusieurs pistes ont déjà été évoquées (voir *S&V* n° 1142 de novembre 2012, p. 80). Ainsi, l'action anticholestérol des statines →

LEUR PUSSANT EFFET ANTI-INFLAMMATOIRE INHIBERAIT LA CROISSANCE DES TUMEURS

du moins dans le domaine de la cardiologie. Lorsque le biologiste japonais Akira Endo extrait d'un champignon microscopique, *Penicillium citrinum*, la mévastatine, c'est au départ dans le cadre de recherches sur de nouveaux antibiotiques... Mais la mévastatine va se révéler un puissant anticholestérol. Chez l'homme, les statines qui furent ensuite développées réduisent d'au moins 25 % la concentration de cho-

REPÈRES

NOM : Atorvastatine, Pravastatine, Simavastatine...

DATE DE COMMERCIALISATION : A partir des années 1980.

AUTORISÉ POUR :

Lutter contre l'hypercholestérolémie et la prévention du risque cardiovasculaire.

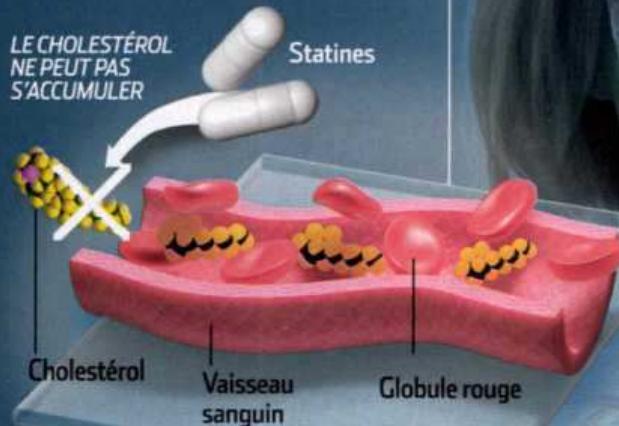
EFFETS INDÉSIRABLES :

Essentiellement d'ordres hépatique et musculaire (douleurs musculaires signalées chez 1 à 10 % des patients). Effets diabétogènes, troubles de la mémoire.



Les statines font baisser le taux de cholestérol...

Les statines réduisent chez l'homme d'au moins 25 % la concentration du "mauvais" cholestérol LDL.

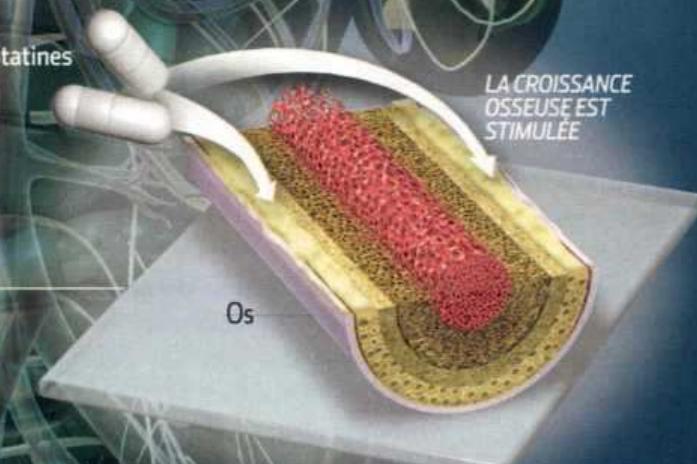


Les raisons d'y croire

L'effet anti-inflammatoire des statines permettrait d'expliquer pour partie l'intérêt que cette famille de médicaments suscite aujourd'hui en matière de prévention de certains cancers ou des fractures liées à l'ostéoporose...

... et privent la tumeur cancéreuse de plusieurs facteurs de croissance

Elles priveraient les cellules cancéreuses du cholestérol nécessaire à leur développement ; limitent l'inflammation des tissus, facteur favorisant l'apparition d'une tumeur. Enfin, elles empêcheraient la formation des vaisseaux qui accompagnent le développement des métastases.



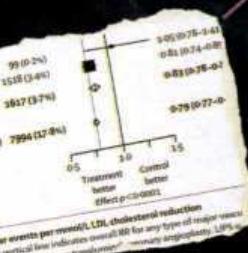
Elles favorisent aussi la densité osseuse

Les statines aideraient à la multiplication des ostéoblastes, qui sont des cellules à l'origine de la synthèse de l'os. Et, inversement, favoriseraient la destruction des ostéoclastes, ces cellules capables de résorber l'os.

LES MALADIES EN LIGNE DE MIRE

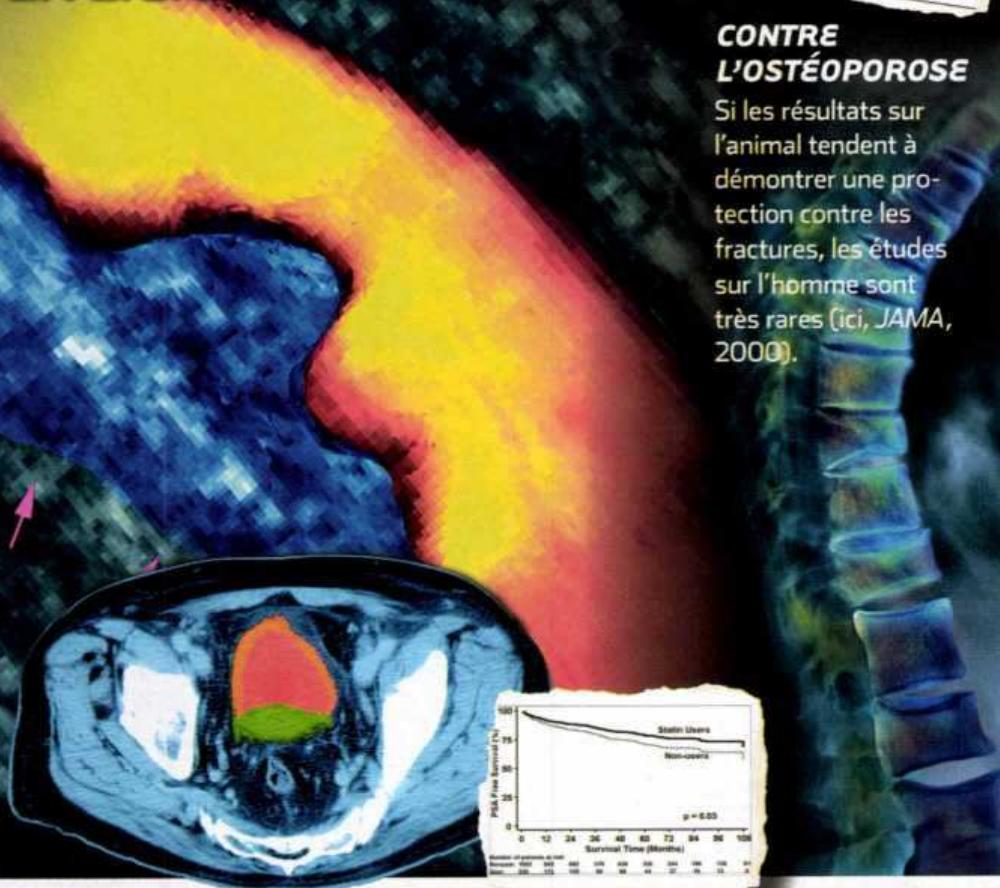
CONTRE LES ACCIDENTS CARDIO-VASCULAIRES

De nombreuses études (ici, *Lancet* en 2005) permettent d'affirmer que l'action des statines (anti-inflammatoire et anti-cholestérol) contribue à diminuer les risques cardio-vasculaires.



CONTRE LE CANCER

Les effets protecteurs contre le cancer colorectal et contre les récidives du cancer de la prostate (ici, *Cancer*, 2010) sont en cours de validation.



→ permettrait d'entraver la croissance des tumeurs, justement connues pour être de grosses consommatrices de cholestérol. Mais leur action anti-inflammatoire pourrait aussi jouer un rôle. Selon Michael Detmar, professeur de pharmacogénomique à l'Institut de technologie de Zurich (Suisse), les statines pourraient même éviter l'apparition de métastases. Dans une étude publiée en septembre, son équipe démontre que ces molécules peuvent inhiber l'utilisation du cholestérol dans les cellules des vaisseaux lymphatiques, indispensables à la formation des métastases.

Jusqu'à présent, ces résultats ont peu été confirmés chez l'homme. « Concernant le cancer colorectal que j'ai étudié, l'effet protecteur des statines existe, mais reste faible, la réduction du risque étant de l'ordre de 8 % », explique Marc Bardou, gastro-entérologue au CHU de Dijon. Mais le mode d'administration doit-il être le

même pour prévenir le risque cardio-vasculaire et celui de cancer ? Et les doses ? Et est-ce une bonne méthode d'évaluer rétrospectivement l'effet des statines sur d'autres pathologies que la prévention du risque cardio-vasculaire chez les patients ? Autant de questions qui se posent au regard des espoirs soulevés... Pour Teemu Murtola, on se trompe peut-être de cible : même si les recommandations dans le cadre de la prévention du cancer sont encore lointaines, il faudra sans doute réserver les statines « à des personnes présentant un risque très élevé ou à un stade précoce de cancer du sein ou de la prostate ».

ELLES SERAIENT BONNES POUR LES OS

Outre le cancer, d'autres études font apparaître un possible effet préventif des statines contre la sclérose en plaques, les rhumatismes inflammatoires ou l'ostéoporose. C'est leur action anti-inflammatoire qui serait au

œur de ces effets si différents, mais pas seulement. Ainsi, dans le cas de l'ostéoporose, on sait que les statines peuvent promouvoir la différentiation des ostéoblastes, cellules à l'origine de la synthèse de l'os, et, au contraire, induire l'autodestruction des ostéoclastes, les cellules capables de résorber l'os. « Chez la souris, la densité osseuse a augmenté lorsqu'on appliquait des statines sur la peau », relate Martin Soubrier, rhumatologue au CHU de Clermont-Ferrand. Chez l'homme, en revanche, seules quelques études ont montré une diminution du nombre de fractures chez les personnes âgées souffrant d'ostéoporose.

Néanmoins, les recherches continuent, d'autant qu'une nouvelle statine, la pitavastatine, fait son apparition sur le marché européen. Saura-t-elle mieux que ses aînées convaincre les cancérologues et autres chercheurs en quête de la nouvelle panacée ? L'avenir ne devrait pas tarder à le dire... C.H.

Exposure	
None	
Statins only	
Current use	
No. of prescriptions	
1-4	
5-19	
≥20	
Recent use	
Past use	

VERS UNE RÉVOLUTION AU QUOTIDIEN?

Vieillir en bonne santé : pour réaliser ce rêve, va-t-on se mettre à distribuer des médicaments à des pans entiers de la population ? L'idée de prendre chaque jour des petits cachets est encore loin de faire l'unanimité. Mais ne va-t-elle pas s'imposer à chacun, non parce qu'il est malade mais pour éviter de le devenir ? Une chose est sûre : la mise au point de panacées médicamenteuses porte en elle une promesse immense... mais bouscule en profondeur nos usages. Jusqu'à quel point ? En attendant que les données se confirmant et le verdict des autorités sanitaires, tour d'horizon, en quatre questions, d'une révolution qui s'annonce collective et individuelle.

1 Faut-il prendre ces pilules dès maintenant ?

Oui... si vous en prenez déjà. Car si vous êtes diabétique, si vous avez un risque élevé d'accident vasculaire ou un excès de cholestérol, votre médecin vous prescrit sans doute de la metformine, de l'aspirine ou des statines. Dans ce cas, bonne nouvelle : vous profitez peut-être déjà, et sans même parfois que votre médecin le sache, de leurs bénéfices potentiels dans la prévention d'autres maladies chroniques telles que le cancer. Pour le reste de la population, il va falloir attendre. Car ces trois molécules ont, comme tous les médicaments, des indications bien précises, pour lesquelles ils ont obtenu une autorisation de mise sur le marché par les autorités sanitaires. Certes, dans certains cas, les médecins peuvent juger que des données scientifiques nouvelles justifient une prescription pour une autre indication... Mais ce n'est certainement pas le cas pour les statines ou la metformine.

Les espoirs suscités par les statines contre le cancer, par exemple, ne

constituent qu'un faisceau d'indices reposant sur des études préliminaires qu'il reste à confirmer largement chez l'homme. Quant au formidable pouvoir de la metformine dans la prévention des cancers, il n'a été prouvé, pour l'instant, que chez des diabétiques. En revanche, dans le cas de l'aspirine, la science est nettement plus avancée. Il est aujourd'hui très clair que cette molécule peut protéger une grande partie de la population de certains accidents vasculaires, et même de cancers. Mais pas question pour autant de se précipiter dans les pharmacies sans l'aval de son médecin ! Car une question essentielle demeure : les bénéfices justifient-ils les risques ?

Une interrogation particulièrement utile, s'agissant de la prise de médicaments par des dizaines de millions de personnes en parfaite santé. Et encore, sans réponse claire concernant l'aspirine et son risque hémorragique. C'est pourquoi, pour l'instant, très peu de médecins la prescrivent à d'autres patients que ceux présentant un risque d'accident vasculaire particulièrement élevé. Mais l'accumulation des

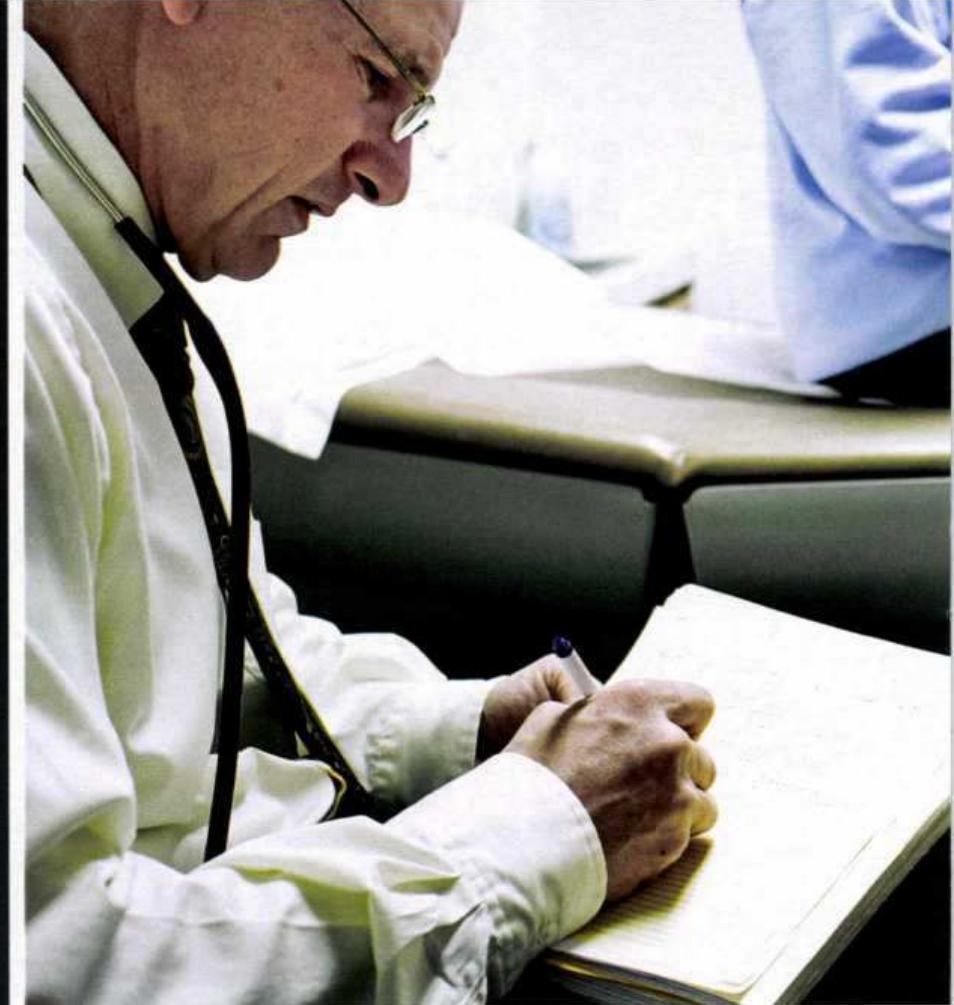
données pourrait bien, d'ici à quelques années, amener les autorités de santé à modifier leurs recommandations.

2 Tout le monde peut-il en profiter ?

Les nombreux effets, démontrés ou simplement suggérés, des statines, de la metformine et de l'aspirine pourraient inciter à les prescrire à toute la population adulte. Tout le monde court en effet le risque d'être un jour victime d'un cancer, de la maladie d'Alzheimer ou d'un infarctus... Les choses ne sont cependant pas si simples puisqu'il faut, pour chaque cas, comparer effets bénéfiques et indésirables. On peut ainsi d'ores et déjà exclure les enfants, les femmes enceintes, les personnes très âgées ou souffrant de certaines maladies... Pour les autres, le calcul de la "balance bénéfice/risque" est un travail long et complexe. Chacun tire un bénéfice plus ou moins grand →

→ d'un médicament selon son âge, son sexe, certains facteurs génétiques et son mode de vie. Les conséquences non mortelles de certaines maladies (tel un handicap après un AVC), et les coûts financiers et humains qu'elles représentent pour le patient et pour la société sont aussi à prendre en compte. Même si de tels calculs ne peuvent encore être produits pour ces trois molécules, des chercheurs formulent déjà des hypothèses.

Certains proposent dès à présent de prescrire des statines simplement sur le critère de l'âge, les bénéfices sur le système cardio-vasculaire à partir de 50 ans justifiant selon eux de courir le risque d'effets indésirables. Une idée très controversée et entachée d'un doute légitime sur la manne potentielle que cela représenterait pour les laboratoires (voir ci-dessous). La metformine est, elle, actuellement testée chez des non-diabétiques courant un risque élevé de cancer. Quant à l'aspirine, seuls ses bénéfices sur le système cardio-vasculaire sont pour l'instant pris en compte par les autorités. En France, la Haute Autorité de santé ne la conseille que pour les personnes (obèses, hypertendus...) chez lesquelles le risque d'accident vasculaire mortel est estimé à plus de 5 %. La découverte de son utilité dans la prévention du cancer amène cependant les experts à envisager de nouvelles directives prônant une utilisation plus



large. *"On devrait se diriger vers une recommandation à toutes les personnes de 45 à 65 ans"*, parle Peter Rothwell, neurologue de l'université d'Oxford (Royaume-Uni). Un âge auquel les risques de cancers et de maladies cardio-vasculaires explosent, et où les risques d'hémorragies mortelles sont encore assez faibles. Des chercheurs américains et japonais viennent cependant de montrer que

les personnes victimes d'un cancer du côlon ne répondent pas toutes aux effets de l'aspirine. Seuls 20 % d'entre elles, présentant un profil génétique particulier, verront leur risque de développer un second cancer diminué. Ce qui rappelle, bien à propos, qu'il y a encore beaucoup à apprendre sur ces molécules... et que la prudence est de mise avant de prescrire des médicaments à une très large population.

UNE PANACÉE... POUR L'INDUSTRIE PHARMACEUTIQUE ?

Est-on face à la dernière stratégie des entreprises pharmaceutiques pour vendre des médicaments à des personnes en bonne santé ? La question se pose... Certes, la prévention des maladies chroniques dans la popu-

lation générale entraînerait un élargissement considérable de leur marché. Cependant, l'aspirine, la metformine et plusieurs statines comme le célèbre Lipitor sont déjà entrées dans le domaine public. Des

formes génériques en sont donc commercialisées, ce qui diminue fortement leur intérêt financier. Un traitement préventif à l'aspirine, par exemple, coûterait moins de 10 € par personne et par an. Qui plus est, ces

coûts doivent être comparés à ceux des médicaments de soin, notamment certains anticancéreux aux prix mirobolants, qui seraient ainsi potentiellement économisés grâce à ces panacées.



Si certaines molécules, comme l'aspirine, sont en vente libre, pas question de se passer de l'avis de son médecin, seul à même de savoir si les bénéfices justifient les risques.

3 Peut-on toutes les prendre en même temps ?

Là encore, certains d'entre vous prennent peut-être déjà, sur les prescriptions de leur médecin, un cocktail de ces molécules. Ainsi, si vous êtes diabétique et à risque élevé de maladie cardio-vasculaire, une configuration fréquente chez les personnes de plus de 50 ans en surpoids, il y a fort à parier que vous preniez en même temps de la metformine, des statines et de l'aspirine pour traiter chacune des maladies chroniques que vous avez développées. Mais pour une population plus large, alors que l'intérêt de chacune de ces molécules prises séparément est difficile à évaluer, la question est encore moins tranchée lorsqu'il s'agit de les mélanger.

Cela n'a pas empêché Nicholas Wald et Malcolm Law, du Wolfson Institute of Preventive Medicine (Londres), de publier en 2003 la recette de leur Polypill: 75 mg d'aspirine, trois médicaments antihypertenseurs à dose ré-

duite, une statine et 0,8 mg de vitamine B9. Les deux chercheurs britanniques estimaient que si la Polypill était prescrite à tous les plus de 55 ans, elle réduirait le risque d'accident cardiaque de 88 % avec, à la clé, un allongement de l'espérance de vie de onze ans. Une promesse alléchante... mais qui était le fruit d'extrapolations mathématiques obtenues à partir d'études menées sur chacune de ces molécules prises indépendamment. Près de dix ans plus tard, les études cliniques manquent encore pour conclure à une réelle augmentation de la longévité grâce à ce cocktail.

4 Existe-t-il d'autres pistes de panacées potentielles ?

Oui, et elles sont nombreuses. L'une des grandes familles actuellement candidates est celle des substances antioxydantes, comme par exemple la mélatonine, la DHEA et certaines vitamines. Elles visent à ralentir la

production des molécules oxydantes, connues pour favoriser la mort cellulaire. Mais aucune n'a réussi à faire la preuve définitive de son efficacité clinique à diminuer les risques de maladies liées au vieillissement. Quant au résvératrol, polyphénol antioxydant naturellement contenu dans le vin rouge, les études sont en cours. L'espoir est donc encore de mise...

Par ailleurs, certaines molécules capables de mimer la restriction calorique, à l'instar de la metformine, sont en cours d'expérimentation. En tête de liste: un facteur de croissance, le FGF21, dont Steven Kliever, biologiste à l'université du Texas (Etats-Unis), a montré en 2012 que lorsqu'il est produit en plus grande quantité par l'organisme de souris transgéniques, ces dernières voyaient leur espérance de vie augmenter d'environ 40 %. Mais il s'agit là d'une molécule dont les effets sur l'homme restent totalement méconnus.

Autre piste, celle de la rapamycine, une molécule qui a l'avantage d'être déjà utilisée chez l'homme (comme immunosuppresseur chez les patients ayant subi une greffe) et dont on sait qu'elle inhibe, au moins *in vitro*, la prolifération tumorale. En 2009, des chercheurs américains ont ainsi montré que cette molécule augmente la longévité des souris de 9 à 14 %. Mais il y a un problème: la rapamycine prescrite aux patients greffés peut entraîner de lourds effets indésirables (diabète, tumeurs...). Pour autant, le potentiel de cette puissante molécule est tel qu'elle n'a pas encore été éliminée de la liste des substances prétendant au titre d'élixir de jouvence.

On le voit, les autres pistes existantes oscillent entre des substances insuffisamment actives sur l'organisme, et d'autres qui le sont trop, au point de l'exposer à d'autres risques. Des écueils que l'aspirine, la metformine et les statines devront être en mesure d'éviter pour pouvoir décrocher le titre tant convoité de panacée du XXI^e siècle.

C.H. et E.A. ■

SOLEIL

ON SAIT ENFIN COMMENT IL EST NÉ

Faute de scénarios réellement convaincants, nul ne savait jusqu'ici comment notre étoile était née. Mais voici qu'un astrophysicien, au terme de quinze ans d'enquête passés à étudier les météorites, est parvenu à reconstituer les toutes premières heures du Soleil. A la clé : le récit enfin complet de la genèse solaire.

PAR MATHILDE FONTEZ



Il y a 4,6 milliards d'années, notre Soleil (au centre) émergeait de son cocon gazeux, à la périphérie d'une étoile massive.

Ainsi naquit le Soleil : une genèse en 4 étapes

IL Y A 4,6 MILLIARDS D'ANNÉES

Un nuage de gaz s'effondre et une première génération d'étoiles naît

Dans la Voie lactée, une partie d'un nuage de gaz et de poussières s'effondre sous l'effet de la gravitation. Au cœur de ce maelström, la poussière s'agglutine en de gigantesques boules de matière, qui s'embrasent. Quelque 5 000 étoiles se forment.

Voie lactée



Il était une fois... ", commence Georges Meynet, de l'Observatoire de Genève. Il était une fois,

il y a 4,6 milliards d'années, un nuage qui gravitait paisiblement dans un coin de la Voie lactée... quand soudain, une vague irrésistible secoua ses poussières et ses gaz qui se mirent à s'enrouler, à s'entrechoquer. Au cœur de ce maelström, la chaleur devint insoutenable, la pression colossale. Et une lumière jaillit : un photon, puis dix, puis des milliards... le premier rayon de notre Soleil !

Ça y est ! Après des dizaines d'années de simulations, d'analyses et d'observations, ponctuées de moult rebondissements, l'histoire de notre astre peut enfin être racontée. On est capable de détailler la composition du cocon gazeux originel ; de dresser le portrait de sa mère, une étoile géante qui vécut juste le temps de couver, avant d'agoniser dans une monstrueuse explosion. On peut prédire le destin de ses sœurs jumelles, dispersées à travers toute la

galaxie ; et même imaginer ses grands-parents, une armée de géantes massives...

Disons-le, Matthieu Gounelle a réalisé le rêve des astrophysiciens : parvenir à décrire comment notre étoile a émergé d'un nuage de gaz au côté d'une centaine de sœurs jumelles. Et il aura fallu à ce cosmochimiste du Museum national d'histoire naturelle une enquête acharnée de quinze ans pour offrir enfin

la composition de morceaux d'astéroïdes tombés sur Terre, une équipe de l'université de Californie détecte une abondance anormale de magnésium 26 (un isotope du magnésium dont le noyau est composé de 26 nucléons : 12 protons et 14 neutrons) et de nickel 60. Ces deux éléments chimiques sont le produit de la décomposition de deux isotopes radioactifs : respectivement, l'aluminium 26

SUR 3 GÉNÉRATIONS D'ÉTOILES, C'EST L'HISTOIRE FAMILIALE DE NOTRE ASTRE QUI EST RETRACÉE

sa genèse à notre petit Univers. Le secret de cet exploit ? Le chercheur a déroulé toute l'histoire de la naissance du Soleil en tirant sur un fil, un indice infime : une anomalie dans les analyses chimiques des météorites. Car c'est dans les défauts d'un vulgaire caillou tombé du ciel que se trouve la clé du grand commencement.

Une clé dont l'existence fut posée... dès 1976. En analysant

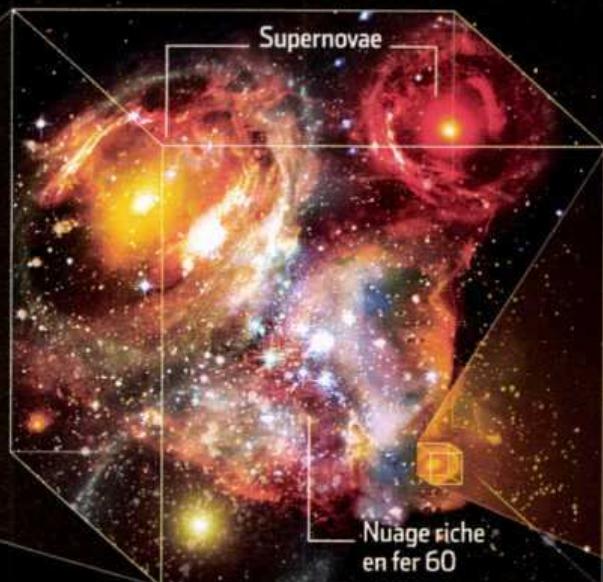
et le fer 60. "Ces radioéléments sont présents dans le milieu interstellaire, il est donc normal de les retrouver dans les météorites, qui sont des échantillons intacts de la nébuleuse qui a donné naissance au Soleil, précise Matthieu Gounelle. Mais là, il y en avait beaucoup trop..." Il fallait donc trouver une source d'aluminium 26 et de fer 60 qui aurait abreuvé le nuage dans lequel est né le Soleil.

→
D.FLORENTZ

8 MILLIONS D'ANNÉES PLUS TARD

En explosant, les plus grosses étoiles enrichissent le gaz interstellaire

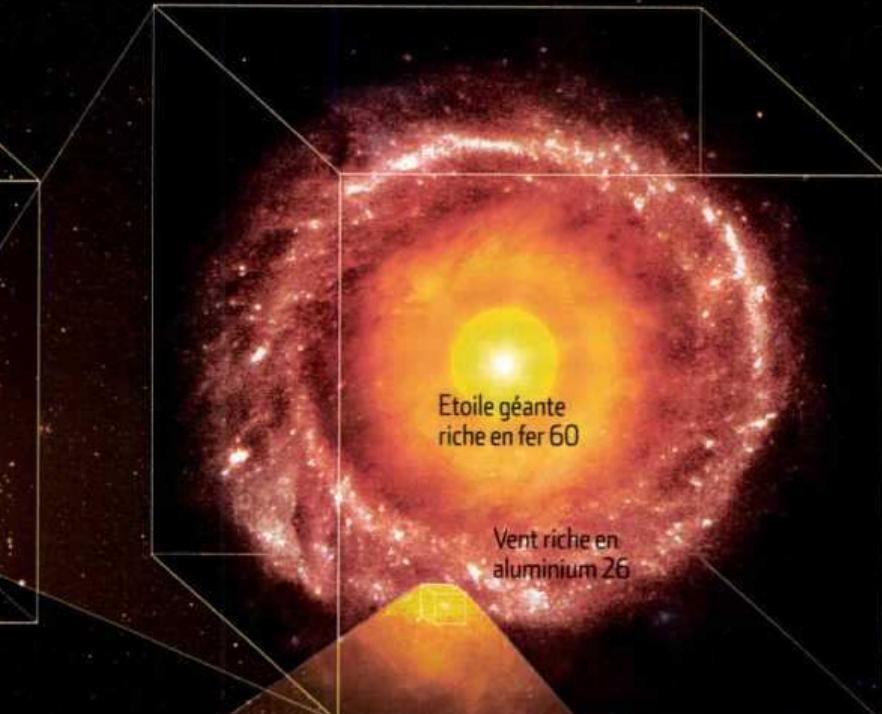
Les plus massives de ces étoiles meurent au bout de 5 millions d'années en formant des supernovae. Ces explosions dispersent des éléments radioactifs, dont un isotope du fer, le fer 60, dont la présence n'était expliquée par aucun des scénarios envisagés jusqu'ici.



AU BOUT DE 2 MILLIONS D'ANNÉES

Une deuxième génération d'étoiles naît et souffle un vent de matière

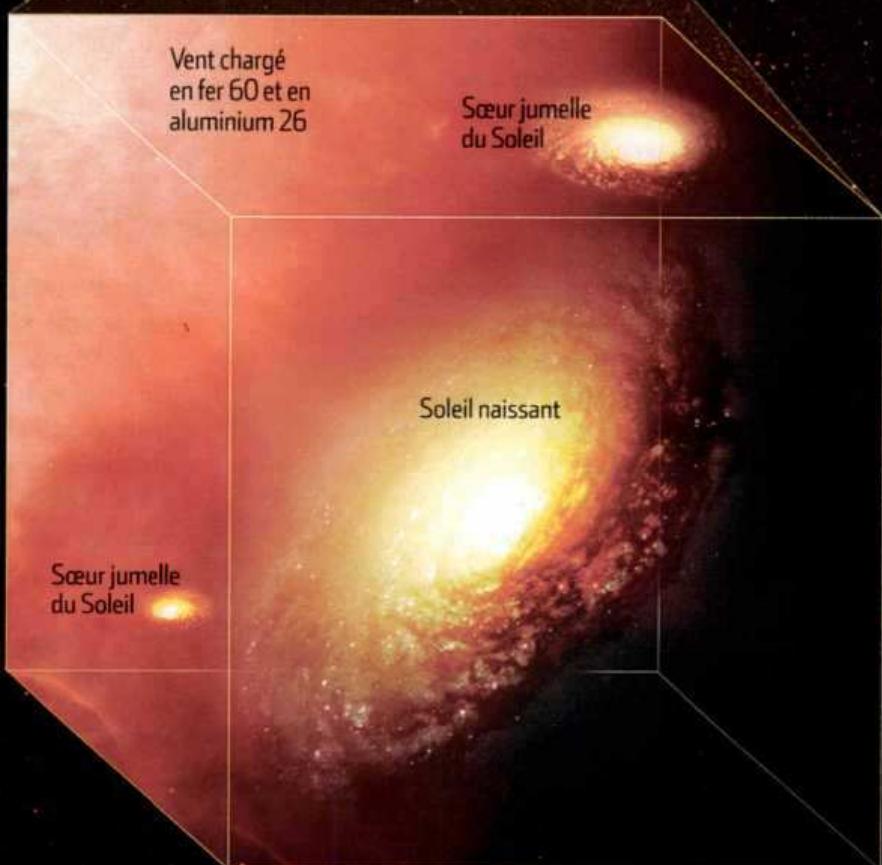
Le fer 60 atteint une pouponnière stellaire, où de nouvelles étoiles s'embrasent. Elles répandent alentour de l'aluminium 26, le deuxième élément dont les astrophysiciens peinaient à expliquer la présence.



APRÈS 100 000 ANS

Notre Soleil s'embrase à la périphérie d'une de ces étoiles

Le vent chargé en fer 60 et en aluminium 26 de l'une de ces étoiles massives comprime la matière qui l'entoure. Il se forme une coquille de gaz et de poussières qui finit par s'effondrer sur elle-même, donnant naissance à une troisième génération d'étoiles : notre Soleil est né, ainsi qu'une centaine de sœurs jumelles. Quelques millions d'années plus tard, l'étoile à l'origine de notre astre s'éteint dans une explosion gigantesque. Puis ses sœurs se dispersent aux confins de la Voie lactée. Le Soleil reste seul ; mais les astéroïdes qui lui tournent autour gardent la trace de sa généalogie, sous la forme de dérivés d'aluminium 26 et de fer 60.



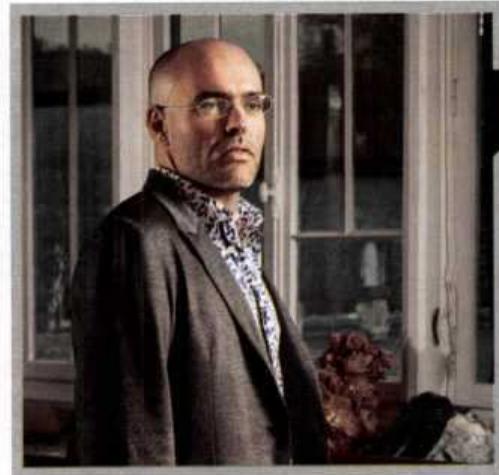
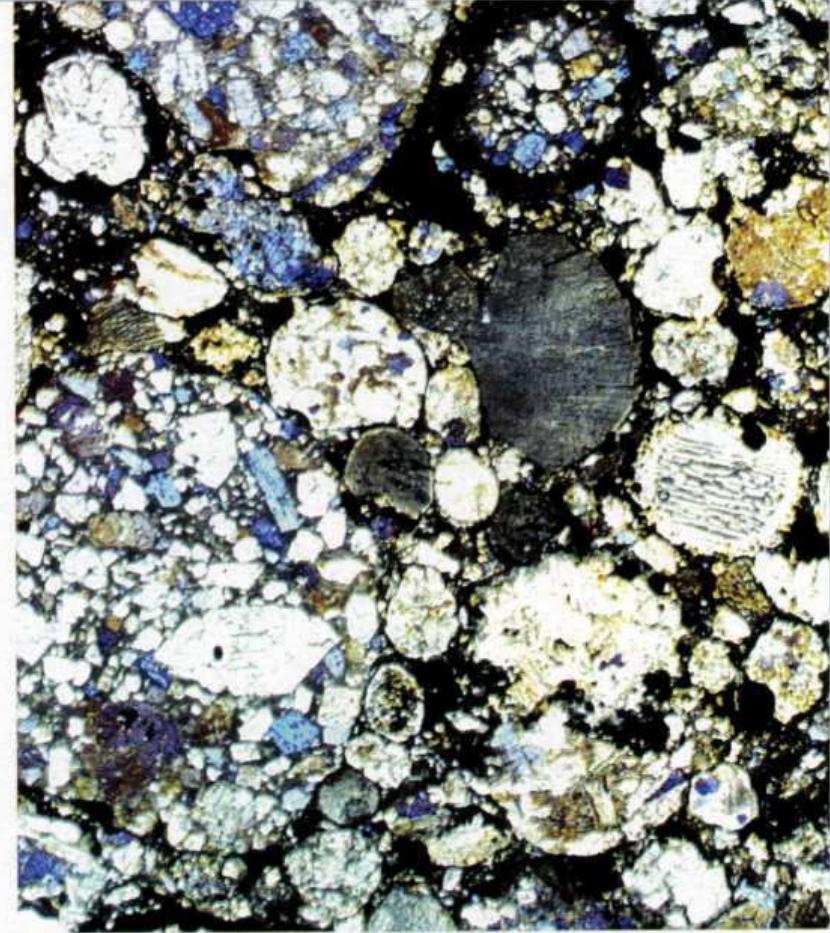
→ Et c'est là qu'était le problème... Car l'aluminium 26 et le fer 60 naissent de réactions nucléaires au cœur d'étoiles des dizaines de fois plus massives que le Soleil, mais ils ne peuvent se répandre dans l'espace que lorsqu'elles meurent en formant des supernovae, ces explosions monstrueuses qui émettent autant de lumière qu'une galaxie entière. Or, ces deux isotopes ont une durée de vie très courte: en 2,6 millions d'années, la moitié du fer 60 se transforme en nickel 60; tandis que 700 000 ans suffisent pour la désintégration de l'aluminium 26. "Il n'a pas le temps de se répandre qu'il est déjà décomposé, précise Matthieu Gounelle. Sa présence nous oblige à considérer que les deux phénomènes, l'explosion de l'étoile et l'effondrement du nuage de gaz et de poussières qui a donné naissance au Soleil, sont très proches dans le temps, et donc dans l'espace!"

DES ÉVÉNEMENTS EN CASCADE

Sauf que les supernovae ont tendance à repousser les nuages de gaz sur des années-lumière. Suivant ce scénario, le Soleil devrait donc s'être formé à une distance très précise d'une étoile qui aurait une masse bien particulière... Bref, sa naissance serait due à une incroyable collision d'événements, à une rarissime configuration astrale. Un problème pour les astronomes, qui préfèrent trouver des causes générales aux événements observés... et pour les exoplanétologues, qui doivent revoir à la baisse les possibilités de voir un système jumeau au nôtre se former (voir encadré).

"J'avais la conviction que ce mécanisme n'était pas crédible car jamais il n'avait pu être observé par un télescope, relate

>Une anomalie dans les analyses chimiques des météorites – une abondance insolite de deux radioéléments, le magnésium 26 et le nickel 60 : c'est à partir de cet indice que les origines du Soleil ont pu être reconstituées.



MATTHIEU GOUNELLE

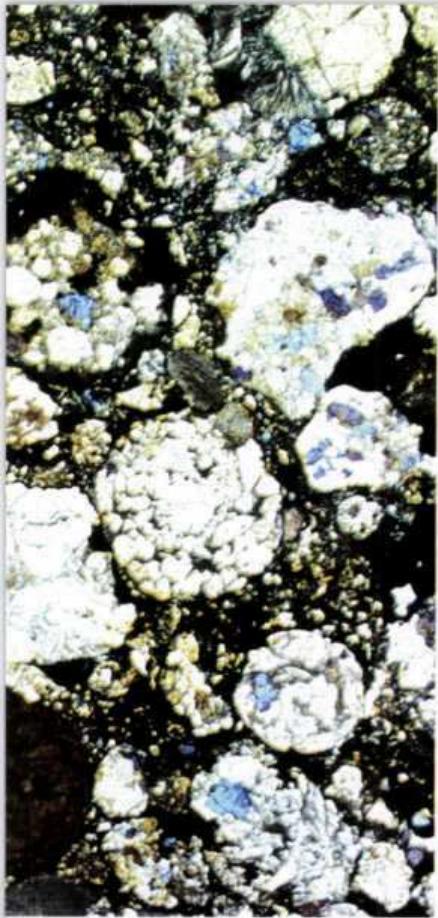
COSMOCHIMISTE AU MUSÉUM NATIONAL D'HISTOIRE NATURELLE DE PARIS

Tous les processus de ce nouveau scénario sont connus : ils ont déjà été vus par les télescopes

Matthieu Gounelle. *Et en 2009, j'ai montré qu'il ne tient pas la route.*" Les modèles du cosmochimiste sont en effet formels: pour avoir la bonne teneur en aluminium 26, le Soleil devrait s'être formé à deux années-lumière d'une supernova, ce qui est impossible. En revanche, le chercheur s'aperçoit que le mécanisme fonctionne pour le fer 60. Ses modèles indiquent que non pas une, mais des dizaines d'étoiles massives pourraient, en explosant, disperser l'isotope du fer, et que

celui-ci pourrait survivre assez longtemps pour atteindre une pouponnière stellaire. "C'est là que j'ai commencé à penser qu'il fallait considérer deux échelles : l'une pour le fer 60, l'autre pour le magnésium 26", explique-t-il. Autrement dit: le Soleil serait né d'une cascade d'événements plutôt que d'un cataclysme unique.

Cela tombe bien, cette idée d'une formation d'étoiles en cascade est dans l'air. Plus ils gagnent en précision, plus les télescopes montrent que les



DES JUMEAUX DU SYSTÈME SOLAIRE DANS TOUT L'UNIVERS

"C'est une preuve de plus que notre système solaire n'a rien d'unique, réagit Franck Selsis, spécialiste des exoplanètes à l'université de Bordeaux, à la lecture du nouveau scénario de la naissance du Soleil. C'est donc une bonne nouvelle pour la recherche de vie extraterrestre." Une de plus (voir S&V n° 1139, p. 50) ! Il faut dire que les exoplanétologues ne savaient que faire de l'ancien scénario et de cette improbable coïncidence qui

aurait enrichi notre système planétaire en aluminium 26 et en fer 60. Ces isotopes pourraient-ils être la clé de l'apparition de la vie ? Quelques travaux avaient cherché à répondre à la question, certains concluant que ces éléments radioactifs peuvent offrir une source d'énergie en se désintégrant et favoriser l'apparition d'une vie ; d'autres montrant que leur impact est négligeable, compte tenu de leur faible abondance...

Désormais, ce débat va se faire moins vif, car une multitude de systèmes exoplanétaires pourraient, comme le nôtre, être nés d'un nuage d'aluminium 26 et de fer 60... "Il nous reste à calculer combien, précise Matthieu Gounelle. C'est l'une des tâches auxquelles je vais m'atteler dans les prochains mois. Mais c'est un phénomène courant, c'est une certitude !"

lents échanges de matière et d'énergie à l'échelle des grands nuages moléculaires s'accompagnent de phénomènes locaux et rapides dans de petits amas de gaz. "Restait à trouver le mécanisme à petite échelle susceptible d'expliquer la présence d'aluminium 26", ajoute Matthieu Gounelle.

Et justement, les spécialistes de l'évolution stellaire lui offrent la solution sur un plateau : ils ont découvert que les astres n'ont pas besoin de mourir pour répandre dans l'Univers des éléments chimiques radioactifs ! "Les observations du télescope spatial Integral ont capté une émission diffuse d'aluminium 26 en scrutant des étoiles massives, précise Georges Meynet. Elles semblent éjecter continuellement cet isotope sous la forme d'un vent."

Les pièces du puzzle s'emboîtent merveilleusement... Portés par leur élan, les deux chercheurs modélisent les gaz tourbillonnants des étoiles

géantes. Ils simulent la synthèse des éléments chimiques en leur cœur et la naissance de leur vent, et s'aperçoivent qu'il suffit d'une étoile plus massive que 30 masses solaires pour donner naissance à un Soleil chargé en aluminium 26. "Cela marche remarquablement bien – et avec une multitude de paramètres différents, remarque Georges Meynet. Nous avons enfin un scénario général !" "Et tous les processus dont nous avons besoin ont déjà été vus par les télescopes !", ajoute, ravi, Matthieu Gounelle.

UN TIMING PARFAIT !

Le cosmochimiste n'en doute plus, il tient l'histoire de la naissance du Soleil. Soit un mécanisme en quatre étapes, enclenché il y a 4,6 milliards d'années et mettant en jeu trois générations d'étoiles (voir infographie). La genèse est écrite. Matthieu Gounelle a mis un point final à sa mythologie. Il a même déjà baptisé la mère

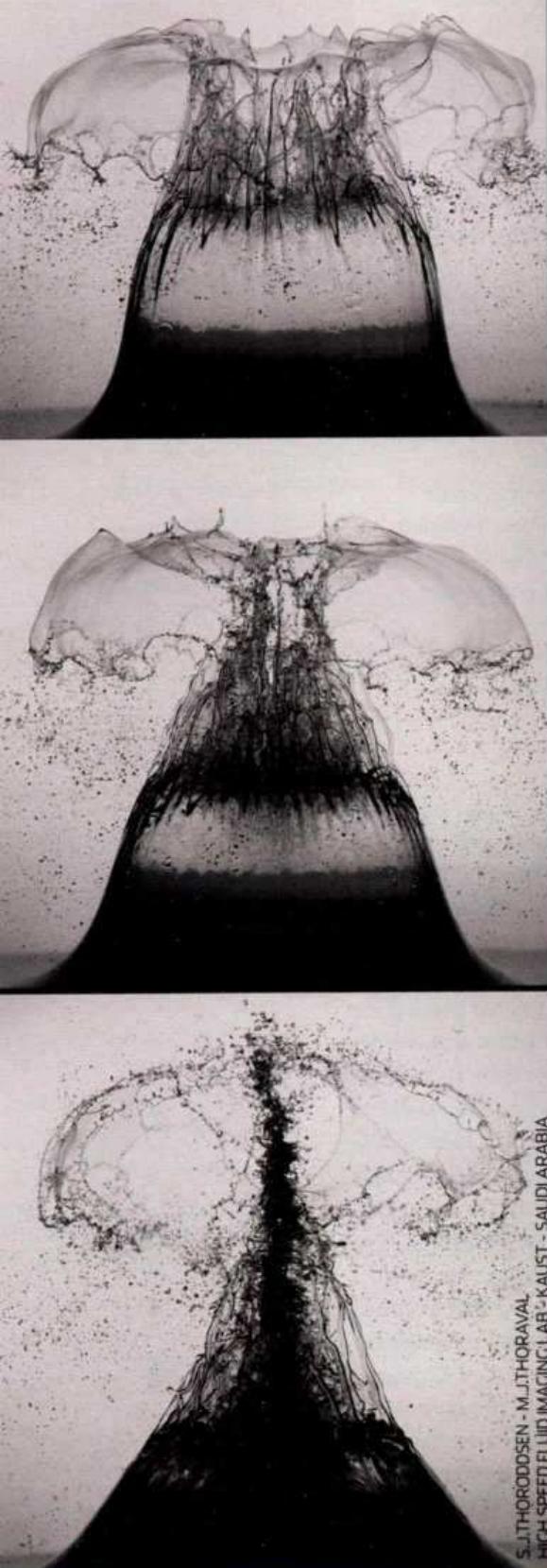
du Soleil Coatlicue, en hommage à la déesse qui, selon les Aztèques, a engendré le Soleil.

A présent, il goûte l'accueil reçu par son histoire dans la communauté des astronomes. A mi-chemin entre un état de félicité paisible et une petite déprime post-partum, il reprend des travaux qu'il avait jusque-là relégués au second plan : pointer les similitudes entre comètes et astéroïdes ; relier composition du milieu interstellaire et nucléosynthèse stellaire... "Ce n'est pas évident, relate-t-il. J'ai répondu à une question que je me posais depuis quinze ans." Et quelle question ! Un an après que les planètes ont livré les secrets de leur formation (voir S&V n° 1128, p. 54), c'est la naissance du Soleil elle-même qui se dévoile. Un à un, les chapitres scientifiques du système solaire sont en train de se clore. Le timing est parfait : serait-il temps, en ce début de millénaire, de regarder au-delà de notre monde ? ■



EN SAVOIR PLUS

Des vidéos de simulations de l'effondrement de nuages de gaz et de la formation d'étoiles sont disponibles sur le site www.astro.ex.ac.uk/people/mbate/. Animations.



<> Filmés à très hautes vitesses, les chocs les plus simples deviennent d'une complexité inattendue (ici, une bille qui tombe dans l'eau).

S. JUTTHORODSEN - M. LITHORAVAI
HIGH SPEED FLUID IMAGING LAB - KAUST - SAUDI ARABIA

CAMÉRAS LA VIOLENCE DU MONDE PRISE SUR LE VIF



Visualiser le déroulement d'un phénomène dans ce qu'il a de plus imperceptible : tel est l'exploit que réalisent les caméras ultra-rapides, capables d'enregistrer jusqu'à plusieurs millions d'images par seconde ! A la clé : la révélation de la violence cachée des choses.

ULTRA RAPIDES

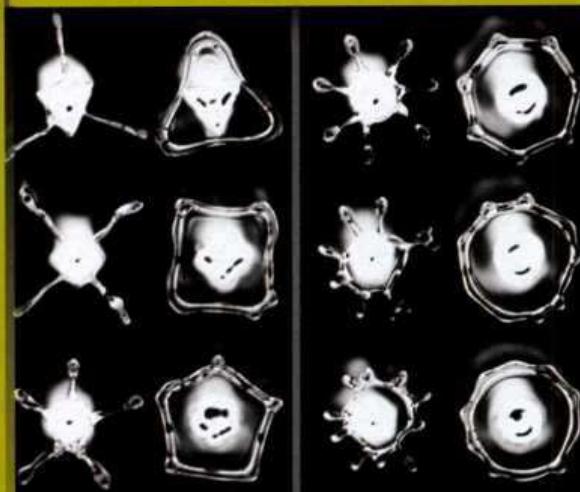
PAR MATHILDE FONTEZ

QUAND UNE GOUTTE D'EAU EXPLOSE...

Que se passe-t-il lorsqu'une goutte d'eau tombe dans un liquide, provoquant une gerbe ? Grâce aux caméras ultra-rapides, les physiciens ont accès à l'intimité d'un phénomène qui échappait à leurs investigations. Et ce qu'ils ont découvert nourrit leur questionnement : comment l'explosion d'une simple goutte peut-elle engendrer une majestueuse couronne d'éclaboussures qui se métamorphose elle-même en une toile de filaments liquides ? Et quelles forces sont responsables de ce mystérieux jet qui naît du trou laissé par une goutte tombée dans un liquide ? "Ces questions occupent en grande partie notre communauté", assure Thomas Séon, physicien spécialiste des fluides à l'Institut Jean Le Rond D'Alembert. Et pour cause. Dans ces phénomènes se dissimule l'essence même des lois de la physique, le moyen de tester l'influence des forces de gravité dans des conditions extrêmes, de comprendre la dynamique intime des liquides. Il fallait juste pouvoir les observer...

À 40000 IMAGES PAR SECONDE

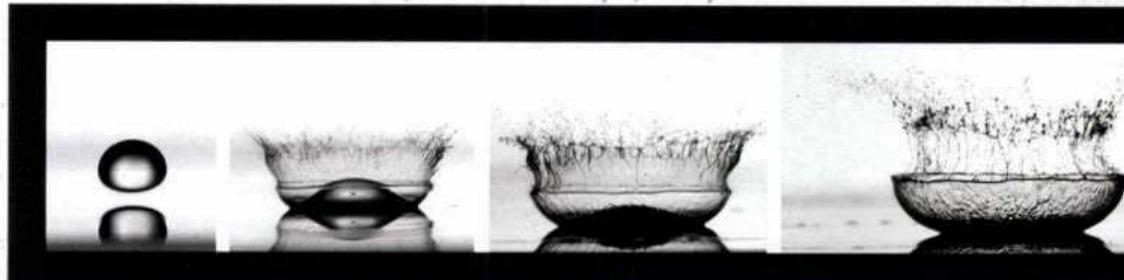
On peut contrôler la forme d'une éclaboussure ! Triangle, carré... octogone : les forces capillaires qui dominent le liquide obligent la couronne qui naît de la chute d'une goutte à épouser la forme de son support... pour quelques microsecondes avant de s'évanouir en filaments tentaculaires.



À 6000 IMAGES PAR SECONDE

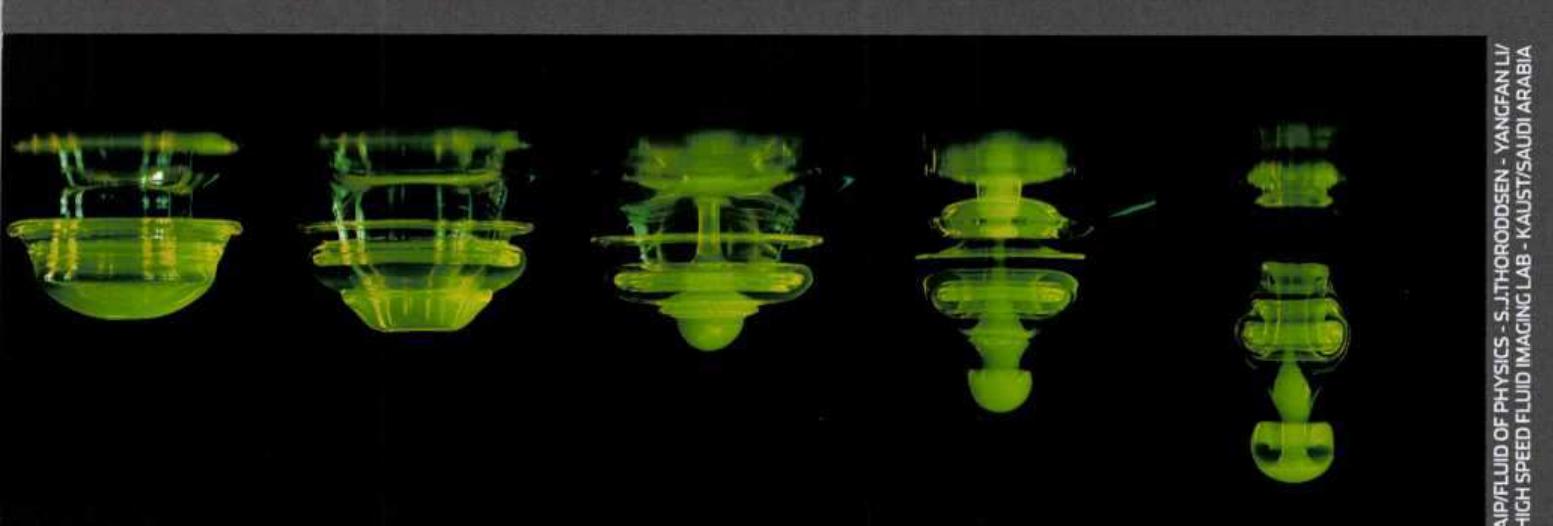
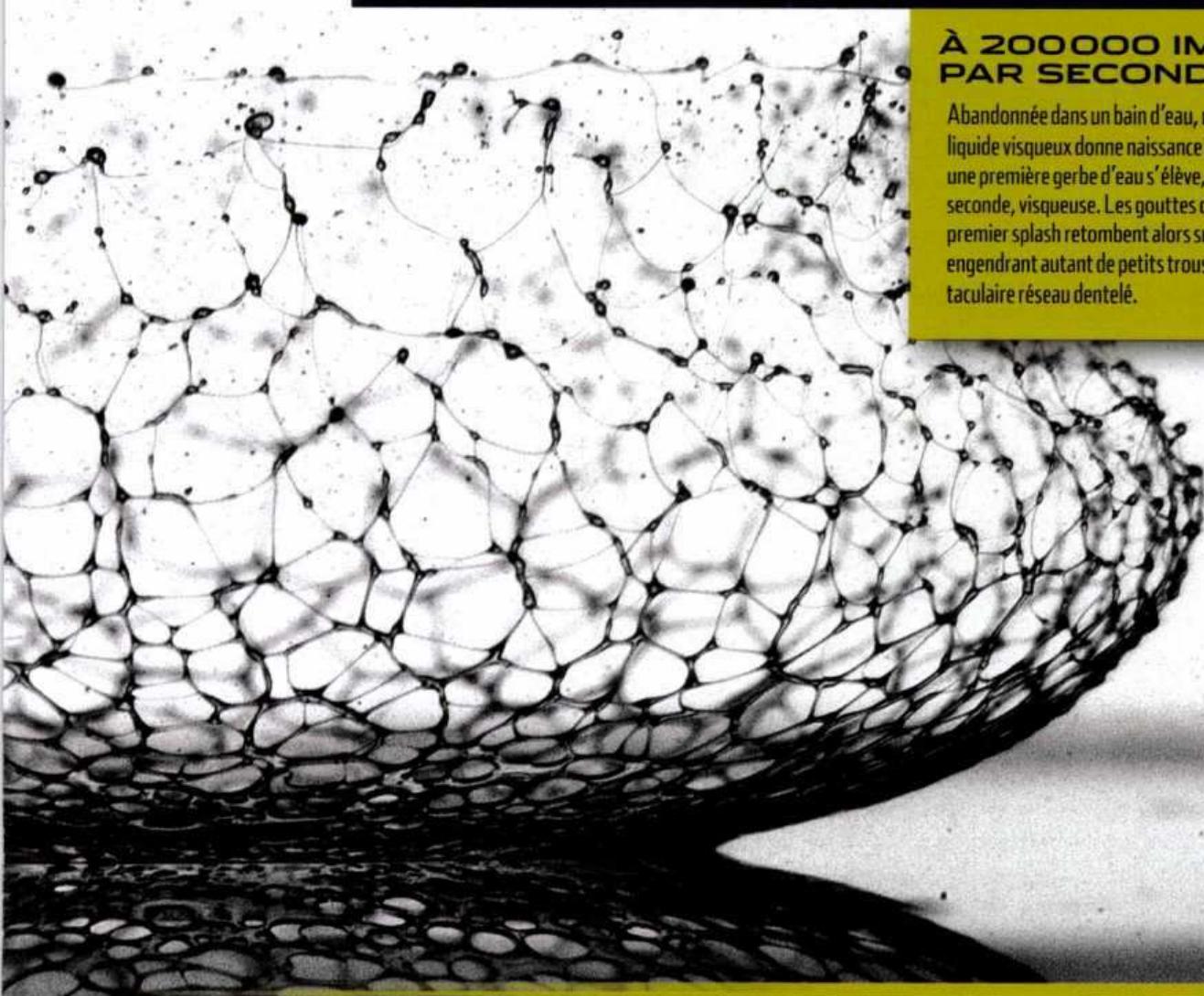
Lorsqu'elle pénètre dans l'eau, une goutte donne naissance à de minuscules tourbillons qui se forment en deux temps : les premiers se déclenchent sous l'effet du mouvement du bas de la goutte et les seconds naissent lorsque la goutte se détache de la surface.





À 200000 IMAGES PAR SECONDE

Abandonnée dans un bain d'eau, une goutte de liquide visqueux donne naissance à deux splash : une première gerbe d'eau s'élève, puis une seconde, visqueuse. Les gouttes d'eau nées du premier splash retombent alors sur le second, engendrant autant de petits trous... et un spectaculaire réseau dentelé.



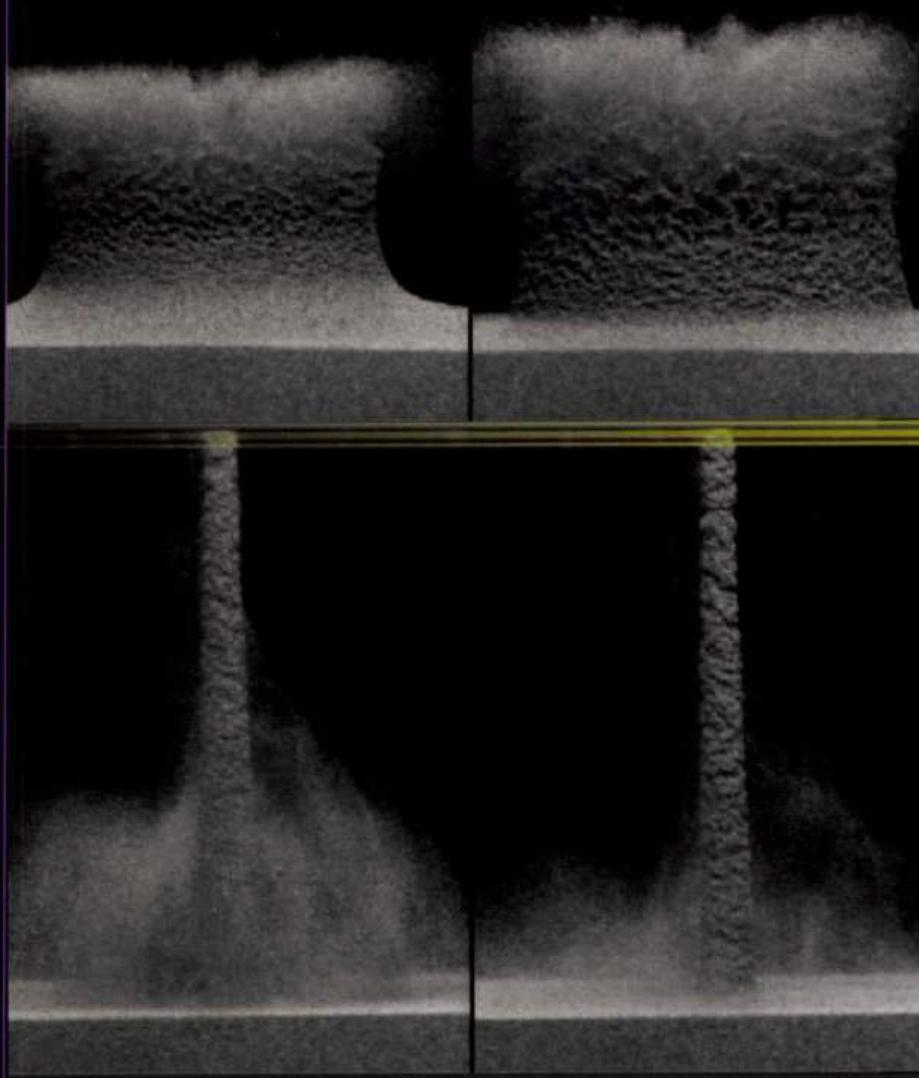
AIR/FLUID OF PHYSICS - S.J.THORODSEN - YANCFAN LI /
HIGH SPEED FLUID IMAGING LAB - KAUST/SAUDI ARABIA



QUAND LE SABLE SE DÉSAGRÈGE

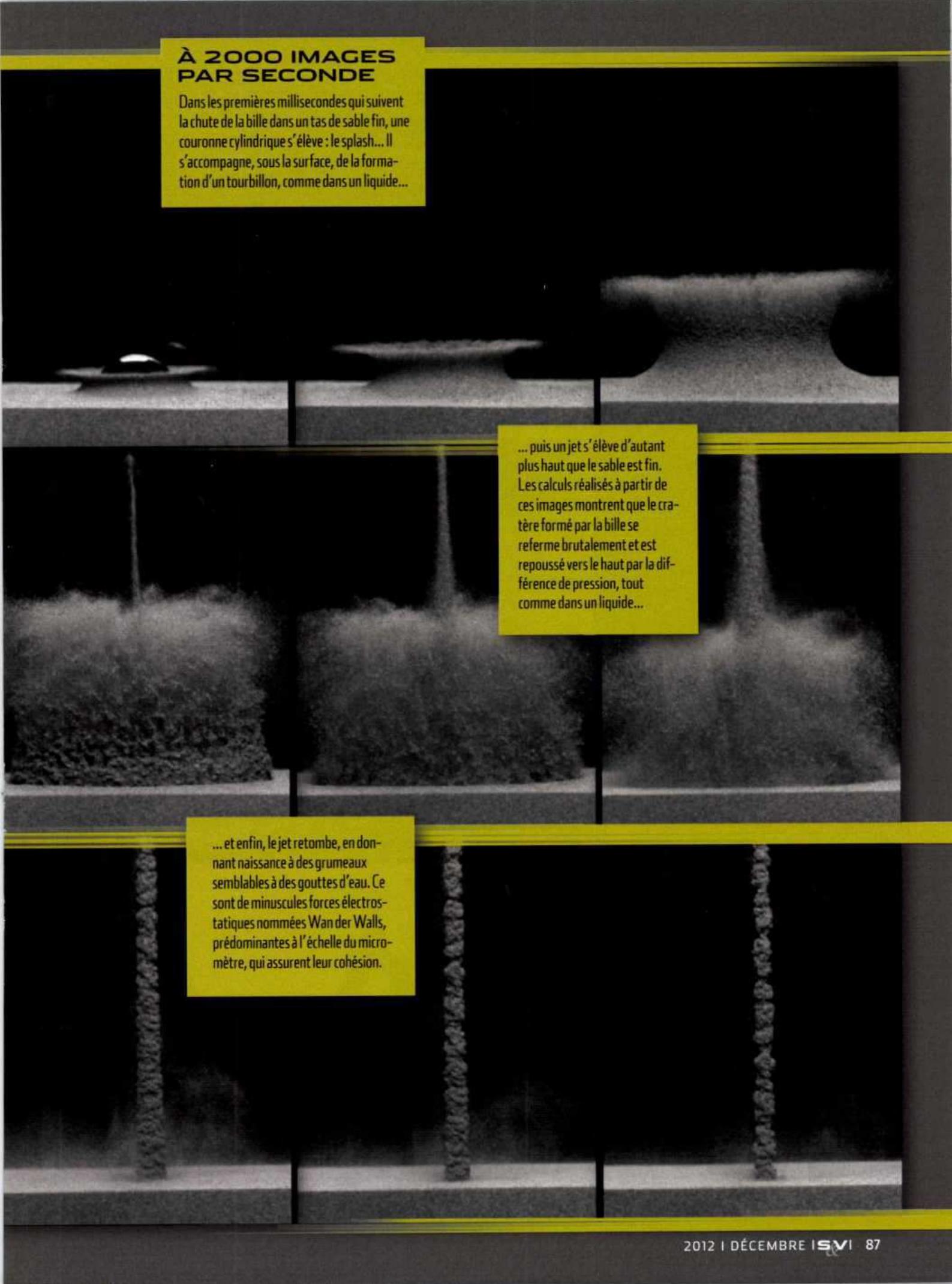
Le sable est une énigme. Il façonne des montagnes, il se fracture comme un roc... mais il s'écoule en souplesse comme un liquide. Pourquoi ses grains semblent-ils liés alors qu'ils ne sont pas soumis aux forces qui obligent les molécules de liquide à occuper le plus petit volume possible ? "Nous manquons d'une description physique rigoureuse du sable, regrette Sigurdur Thoroddsen, spécialiste du sujet à l'université des sciences et technologies du roi Abdallah en Arabie Saoudite. Or, c'est d'une importance vitale pour l'industrie pharmaceutique et chimique..." A l'aide des caméras rapides, les physiciens ont pu étudier à la loupe les mouvements du sable dans les conditions extrêmes, et ils proposent enfin un début de réponse.

DLOHEE/APPLIED PHYSICS,
UNIV OF TWENTE/THE NETHERLANDS



À 2000 IMAGES PAR SECONDE

Dans les premières millisecondes qui suivent la chute de la bille dans un tas de sable fin, une couronne cylindrique s'élève : le splash... Il s'accompagne, sous la surface, de la formation d'un tourbillon, comme dans un liquide...



... puis un jet s'élève d'autant plus haut que le sable est fin. Les calculs réalisés à partir de ces images montrent que le cratère formé par la bille se referme brutalement et est repoussé vers le haut par la différence de pression, tout comme dans un liquide...

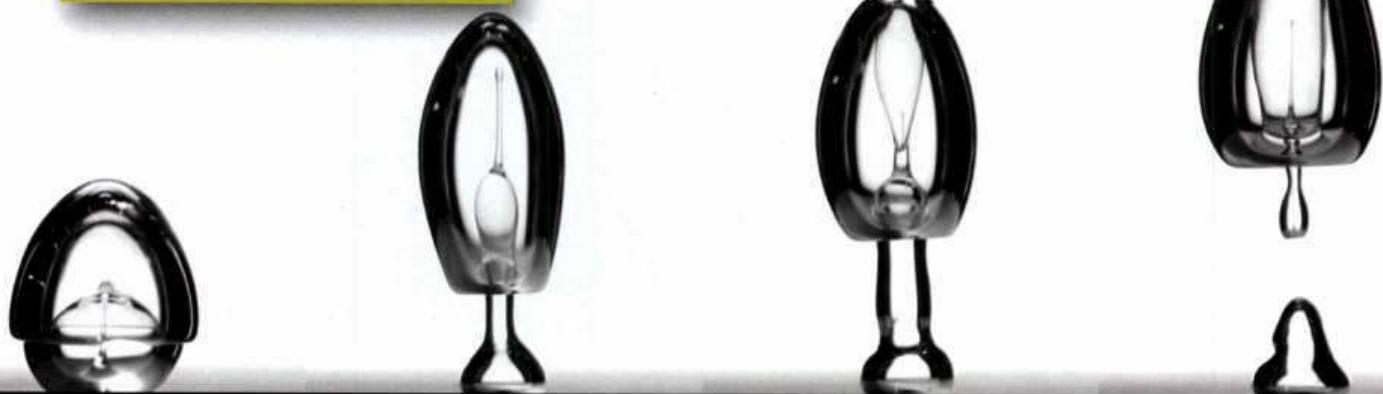
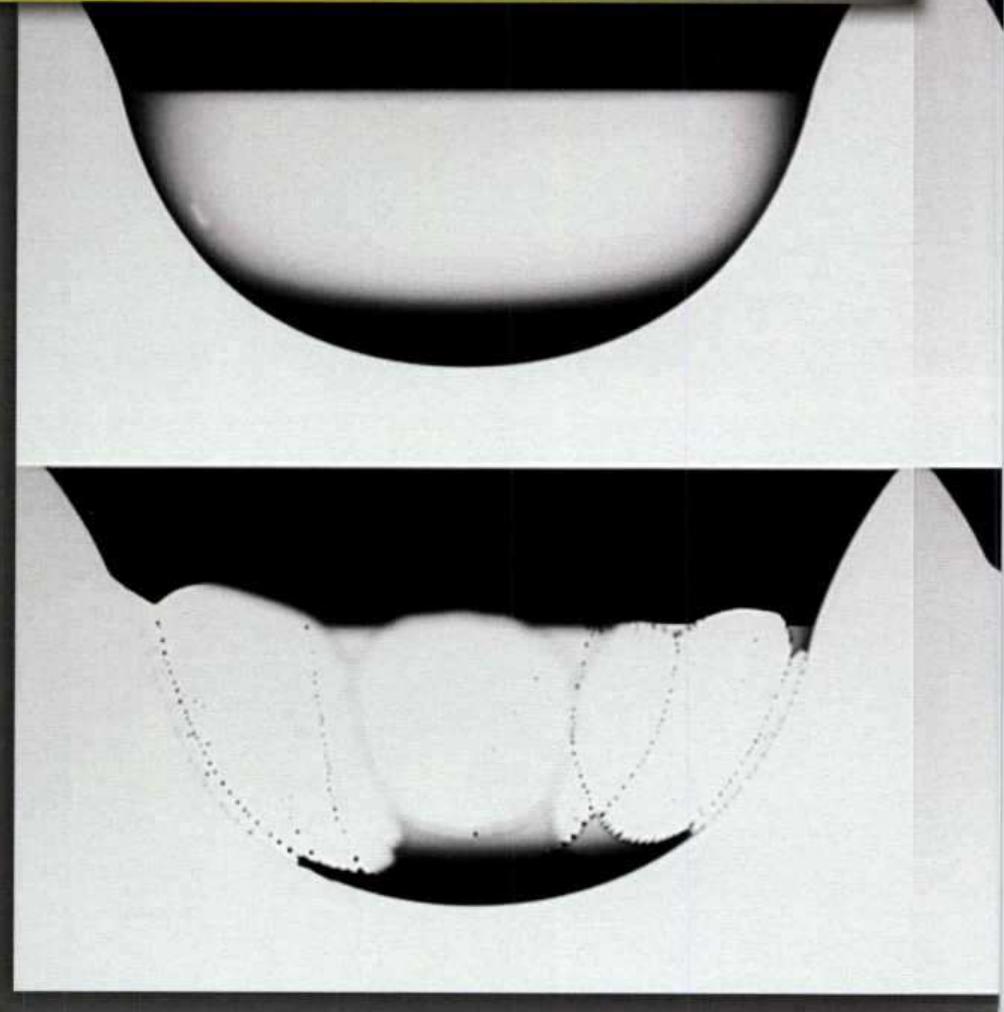
... et enfin, le jet retombe, en donnant naissance à des grumeaux semblables à des gouttes d'eau. Ce sont de minuscules forces électrostatiques nommées Wan der Walls, prédominantes à l'échelle du micromètre, qui assurent leur cohésion.

QUAND UNE BULLE D'AIR ÉCLATE...

Elle gonfle et s'élève irrésistiblement. Puis elle explode brutalement en une myriade de gouttelettes. Sous l'œil des caméras rapides, le destin de ce petit volume de gaz délimité par une infime enveloppe de liquide révèle toute sa violence. "Désormais, on connaît tout de la distribution selon leur taille des gouttes qui naissent de l'explosion d'une bulle, on comprend comment elle replie sa paroi lorsqu'elle explode", énumère Emmanuel Villermaux, de l'Institut des phénomènes hors équilibre de Marseille. De précieuses données qui pourraient résoudre l'un des grands problèmes qui occupe les climatologues : tenir compte de la houle pour modéliser les interactions entre l'océan et l'atmosphère.

À 7000 IMAGES PAR SECONDE

Il suffisait de souffler avec une paille dans un liquide visqueux pour s'en apercevoir : lorsqu'elles se détachent de la surface, les bulles voient leur base s'aplatir brusquement. Pour maintenir l'équilibre des forces, elles projettent vers le haut un jet de liquide proportionnel à leur taille.



À 6000 IMAGES PAR SECONDE

Mesurant la vitesse d'ouverture des trous percés dans des bulles d'huile, des chercheurs saoudiens ont calculé que leur paroi se rompt dès que sa finesse atteint 100 nanomètres. Il se forme alors un réseau de gouttelettes dont la taille et la distribution varient en fonction du nombre et de la localisation des trous.

À 25000 IMAGES PAR SECONDE

Que devient la pellicule d'une bulle lorsqu'elle éclate ? La réponse a été filmée en 2009 : quelques millisecondes avant de se pulvériser en une myriade de gouttelettes, elle s'enroule avant de se mettre à battre comme un drapeau en plein vent.

THORODDSEN & THORAVAL/HIGH SPEED FLUID IMAGING LAB - KAUST/SAUDI ARABIA - T. SÉON / INSTITUT D'ALEMBERT/IUSSIEU/PARIS - H. LHUSSIÉR & E. VILLERMAUX/IRPHE

QUAND LA COQUILLE D'ŒUF SE BRISE...

Ils étaient réduits à évaluer les forces et les faiblesses de la matière, armés seulement de leurs théories et de leurs simulations... Grâce aux caméras ultra-rapides, les physiciens du solide font enfin leur entrée dans le monde réel. "Quel rôle jouent les défauts lorsqu'un matériau se rompt ? Jusqu'à quel point un solide se déforme avant de céder ? On commence seulement à pouvoir s'attaquer à ces questions, précise Laurent Ponson, de l'Institut Jean le Rond d'Alembert. Car les vitesses en jeu sont énormes : une fissure avance par sauts à la vitesse du son !"



Eilles ont ouvert la porte d'un nouveau monde. Depuis une dizaine d'années, les caméras ultra-rapides révèlent l'inroyable spectacle qui se cache derrière les événements les plus anodins. Une goutte qui explose, un caillou qui tombe dans le sable, une bulle qui éclate... vus à travers de leur objectif, les événements instantanés se distendent, révélant une succession complexe d'événements insoupçonnés, le ballet secret de la matière face à la violence du monde. "Ces phénomènes étaient là, sous nos yeux. Simplement, on n'avait pas la bonne base de temps pour les voir", résume Emmanuel Villermaux, chercheur à l'Institut des phénomènes hors équilibre de Mar-

seille. Les caméras ultra-rapides ont transformé le "boum !" et le "plop !" en films à grand spectacle... dont il ne reste aux physiciens qu'à découvrir les lois.

Cette idée de ralentir le monde pour le comprendre n'est pas nouvelle : dès 1878, le savant anglais Eadweard Muybridge décomposait la course du cheval en positionnant de nombreuses caméras le long de sa course et en les déclenchant les unes après les autres. De quoi révéler que le cheval ne lance jamais simultanément ses pattes en avant et en arrière, contrairement à ce que les peintres dessinaient... depuis le Moyen Age. Dans le droit fil de cette première révélation, les caméras ont longtemps été utilisées pour analyser des phénomènes à la fois rapides et complexes,

FAITS & CHIFFRES

L'œil humain ne peut distinguer plus de **24 images par seconde** même si le cerveau est capable de repérer un événement d'un **centième de seconde**. La plus rapide des caméras du monde capte, elle, **25 millions d'images par seconde** et peut saisir un événement aussi fugace que 40 milliardièmes de seconde !

comme le lourd vol du bourdon ou l'étrange pouvoir du gecko de courir sur l'eau.

Mais depuis le changement d'échelle brutal provoqué par le remplacement de la pellicule par l'électronique, les choses ont changé. "Lorsque les capteurs CCD sont arrivés au début des années 2000, on est passé, d'un coup, de quelques centaines d'images par seconde à des dizaines de milliers", détaille David Quéré, physicien à l'ESPCI de Paris. Et depuis, à l'université des sciences et technologies du roi Abdallah en Arabie Saoudite, Sigurdur Thoroddsen a atteint le million d'images par seconde avec une caméra qui stocke les images dans ses composants au lieu de les traiter à mesure qu'elles arrivent ; tandis qu'à l'univer-



À 15000 IMAGES
PAR SECONDE

sité de Twente aux Pays-Bas, Detlef Lohse tutoie les 25 millions d'images par seconde à l'aide d'un mastodonte de la taille d'une machine à laver. Des records de vitesses qui donnent aux physiciens un regard neuf.

LA SOURCE DES PHÉNOMÈNES

Comment la paroi d'une bulle de savon se replie quand elle explose, comment le sable se mue en un liquide, comment une goutte s'écrase sur le sol... depuis dix ans, ils peuvent enfin proposer des réponses quantifiées. "En ouvrant à tous les laboratoires les portes de l'infiniment rapide, ces caméras ont donné naissance à de nouveaux pans de recherches entiers!", ajoute David Quéré. C'est par exemple en observant au ralenti le comportement étrange des

gouttes de pluie sur les feuilles de nénuphars que s'est développée l'une des thématiques qui mobilise le plus de chercheurs en nanomatériaux."

Car il ne faut pas s'y tromper: ces travaux qui réenchantent des événements du quotidien, sont avant tout menés parce qu'ils revêtent une importance colossale pour les industriels. "Les imprimantes à jet d'encre, la pulvérisation des peintures, l'injection du carburant dans les moteurs..., énumère Thomas Séon, physicien à l'Institut Jean Le Rond d'Alembert de Paris. Toutes ces techniques sont maîtrisées depuis longtemps de manière empirique. Mais aujourd'hui, nous avons les moyens de comprendre la source des phénomènes, et donc de les améliorer."

Grâce à la puissance des simulations numériques qui décrivent les phénomènes physiques dans leurs plus infimes détails, les théoriciens avaient pris de l'avance. La caméra rapide les a maintenant ratrappés. "Enfin, les modèles peuvent être mis à l'épreuve de l'expérience, se félicite Marie-Jean Thoraval, de l'université du roi Abdallah. Les expérimentateurs et les théoriciens parlent de nouveau le même langage." Les nouveaux films ultra-violents ont ramené les physiciens à la paillasse. Nul besoin pour eux d'accélérateurs de particules, de télescopes monumentaux ni de supercalculateur: les univers qu'ils ont entrepris d'explorer sont en haut d'un tas de sable, au fond d'un verre d'eau et dans une coquille d'œuf.

Lorsqu'une coquille d'œuf se brise, la forme de la première fissure conditionne celle des suivantes. Étudiant ces images, une équipe norvégienne a calculé la distribution suivant leur taille des fragments issus de la rupture de tout corps doté d'une enveloppe rigide... comme les astéroïdes, par exemple.

"J'AI STOCKÉ UN LIVRE SUR DE L'ADN"



300 pages codées sur un minuscule brin d'ADN : en réalisant ce prodige, le généticien George Church vient de faire entrer le stockage des données dans une nouvelle dimension. Le début de la fin des DVD ?

PAR STÉPHANE BARGE

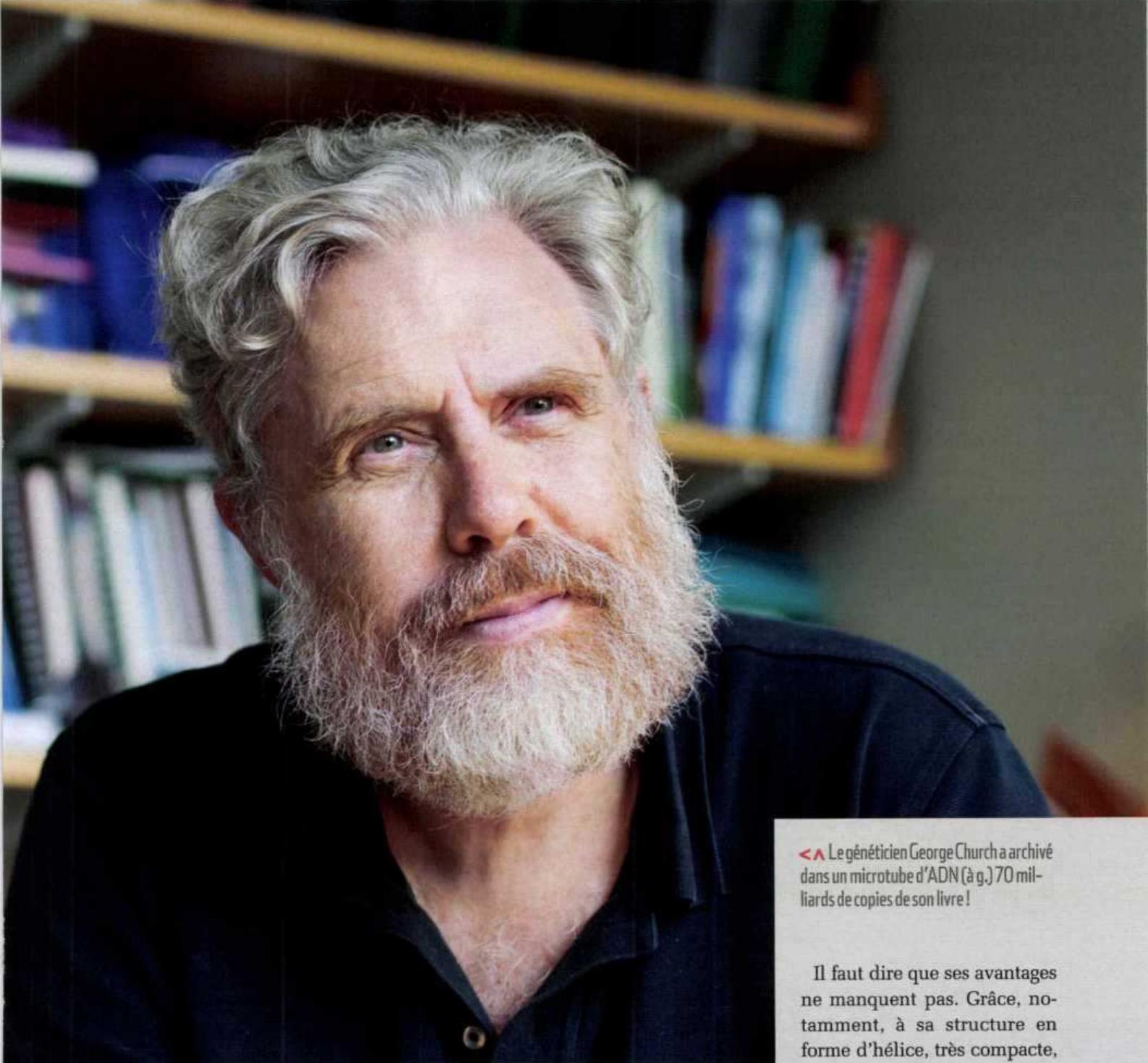


Le livre de George Church n'était pas encore paru qu'il avait déjà pulvérisé un record. Dédié aux promesses de la biologie de synthèse et intitulé *La Deuxième Genèse*, cet essai de 300 pages cosigné par le pionnier de la génétique moléculaire a été dupliqué en... 70 milliards d'exemplaires. Soit à peu près trois fois plus de copies qu'en totalisent les 100 ouvrages les plus lus dans toute l'histoire de l'humanité ! Mégalomane, George Church ? "Pas du tout, se défend ce sexagénaire à la barbe drue. Avec mon équipe, nous avons réussi à faire tenir tout cela dans quelques traces de poussière, à peine visibles

à l'œil nu." Mais par quel tour de passe-passe ce professeur de Harvard est-il parvenu à réduire en minuscules traînées de poudre 46 millions de gigaoctets ? Comment a-t-il pu compresser cette masse d'informations si vertigineuse qu'elle nécessiterait, pour son stockage, plusieurs dizaines de milliers de disques durs ?

L'ADN, MÉMOIRE NATURELLE

Son secret tient en trois lettres : ADN – ou acide désoxyribonucléique, la fameuse double hélice qui détient les clés de notre patrimoine génétique. Non contente de fasciner généticiens, physiciens et experts ès nanotechnologies



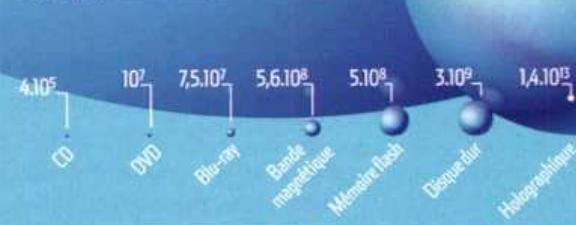
▲ Le généticien George Church a archivé dans un microtube d'ADN (à g.) 70 milliards de copies de son livre !

Il faut dire que ses avantages ne manquent pas. Grâce, notamment, à sa structure en forme d'hélice, très compacte, l'ADN est d'abord le champion incontesté en matière de densité de stockage. Loin, très loin devant les autres technologies (voir graphique ci-contre): "En théorie, explique Sriram Kosuri, l'un des chercheurs de l'équipe, 4 grammes d'ADN suffiraient à enregistrer l'intégralité des données stockées dans le monde l'an dernier, soit 1,8 zettaoctet [1 800 milliards de gigaoctets] !" L'équivalent de 200 milliards de films d'une durée de deux heures, en haute définition. L'autre atout de →

En termes de densité de stockage, l'ADN surpasse tous les autres supports

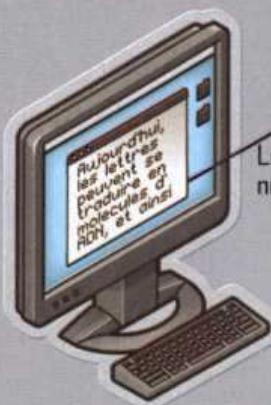
Densité de bits stockés par mm³
(8 bits = 1 octet)

ADN: $5,5 \cdot 10^{15}$



L'ADN se place loin devant les technologies couramment employées pour l'archivage : 4 g suffiraient à enregistrer l'ensemble des données stockées dans le monde en un an.

Les 8 étapes du stockage d'un livre sur de l'ADN



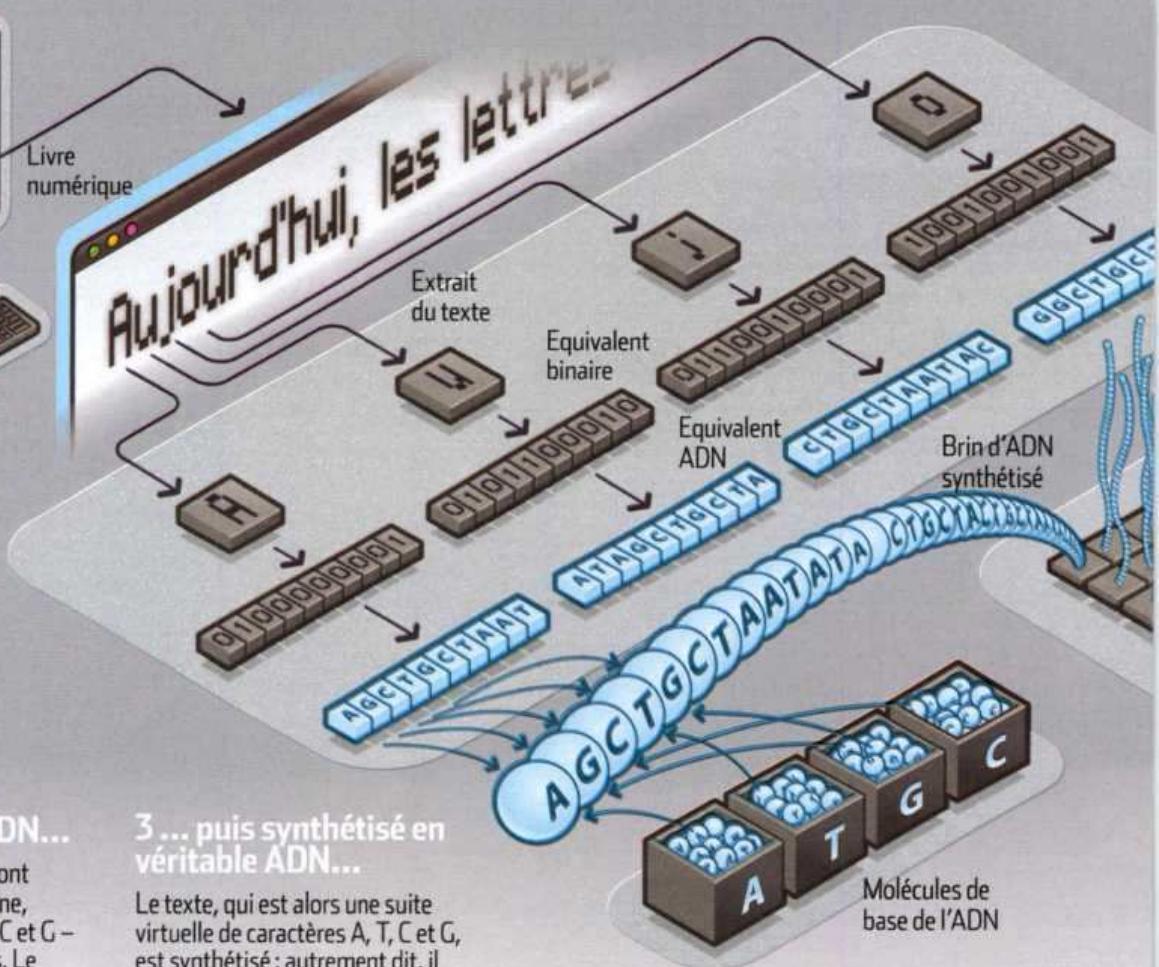
Livre numérique

1 Le texte est enregistré sous forme numérique...

Chacun des caractères de ce livre numérique est codé sous forme binaire. Un B majuscule, par exemple, équivaut en mémoire à la suite 01000010. Chaque lettre et signe de ponctuation a son propre code.

2 ... traduit en code ADN...

Les briques de base de l'ADN sont 4 nucléotides – adénine, thymine, cytosine et guanine, dites A, T, C et G – qui forment de longues chaînes. Le texte binaire est transcodé en suite de caractères A, T, C ou G – A ou C valant 0, et T ou G valant 1.



3 ... puis synthétisé en véritable ADN...

Le texte, qui est alors une suite virtuelle de caractères A, T, C et G, est synthétisé : autrement dit, il est chimiquement reproduit en assemblant une à une les molécules de base de l'ADN.

MEILLEUR QUE LE SILICIUM ?

L'ADN pourrait-il devenir un sérieux concurrent du silicium, cette matière première des processeurs et mémoires informatiques ? C'est en tout cas l'avis d'experts en nanotechnologies du Karlsruhe Institute (Allemagne), qui viennent de concevoir un prototype de disque optique à partir... d'ADN de sperme de saumon. Cette fois, ce ne sont pas tant les capacités de stockage de l'ADN – exploitées par George Church – que ses propriétés de semi-conducteur qui intéressent les scientifiques. Les cellules ont été mélangées à des

nanoparticules d'argent, puis maintenues dans un "sandwich" entre deux électrodes. Bombardé par un rayon laser, l'ADN a alors réagi pour former un boulevard à électrons autour des nanoparticules d'argent. Il a ensuite suffi aux chercheurs de produire des impulsions électriques pour graver sur cette "galette" des suites de 0 et de 1 (le système binaire qui code les informations). Ce dispositif est comparable à un DVD-R, sur lequel il n'est possible d'écrire qu'une seule fois, mais qu'on peut lire à volonté.

→ l'ADN, c'est son extraordinaire longévité. *"Vous pouvez abandonner un échantillon dans le désert ou au fond de votre jardin, il y sera toujours 400 000 ans plus tard"*, estime George Church. Selon lui, des fragments stockés en laboratoire, dans des conditions particulières de température, peuvent même être conservés au-delà d'un million d'années.

Le principe de ce "stockage sur ADN" ? Il s'agit de transcrire l'alphabet latin en un alphabet "ADN" fait de 4 lettres : A, T, C et G, soit les quatre briques de base de l'ADN (adénine, thymine, cytosine et guanine),

4 ... qui est découpé en milliers de brins

L'intégralité du texte est stockée sur environ 55 000 brins d'ADN. Chaque brin contient 159 molécules : 96 molécules de texte, 19 d'indexation et 44 dédiées à l'accélération de la lecture.

Puce à ADN où sont synthétisés simultanément plusieurs brins

Récipient avec l'intégralité du livre stocké sur ADN

Récipient renfermant des milliers de copies du livre



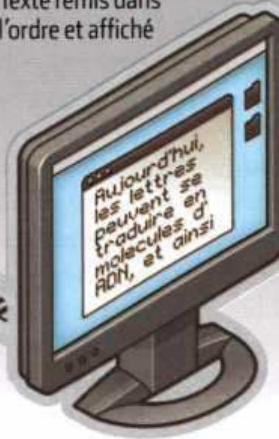
Pipette

Texte remis dans l'ordre et affiché

SÉQUENCEUR

Texte codé en ADN

Texte codé en binaire



5 Les brins d'ADN sont ensuite copiés...

Les filaments sont mis en solution et reproduits à l'aide d'enzymes qui vont en faire des milliards de copies.

6 ... et sauvegardés

L'ensemble des copies ADN est stocké sous forme solide ou liquide. Le volume total équivaut à un grain de poussière ou à quelques gouttes dans une pipette.

7 Un échantillon d'ADN est prélevé...

Pour lire le livre, il faut prélever un micro-échantillon dans la banque d'ADN et le déposer dans un séquenceur, une machine qui va déchiffrer tous les brins.

8 ... et déchiffré pour retrouver le texte d'origine

Le séquenceur restitue la suite de caractères A, T, C et G de chaque brin d'ADN, qui sont ensuite traduits en mode binaire, puis en lettres, et classés dans le bon ordre grâce à un petit programme informatique. Le texte peut alors être lu.

appelées nucléotides. Ce codage permet d'obtenir des séquences – semblables aux chaînes de nucléotides dans l'ADN – qu'une machine peut convertir en molécules de synthèse. Lesquelles pourront être stockées au choix sous forme liquide (quelques gouttes dans une éprouvette), ou solide (des traces de poussière sur une puce à ADN). Simple *a priori*... Pourtant, les tentatives menées depuis une vingtaine d'années avaient tout juste permis de copier quelques centaines d'octets, extraits de la Bible, de poèmes, de messages secrets de la Seconde Guerre mondiale ou d'un roman de

Dickens. Sur des textes plus longs, l'expérience se heurtait à de fréquentes erreurs de transcription, tantôt lors de l'enregistrement des données, tantôt au moment de les récupérer. *"Copier de grandes quantités de données sur de longues chaînes d'ADN reste compliqué"*, reconnaît George Church.

UNE "IMPRIMANTE" À ADN

Le généticien a alors l'idée de "saucissonner" le texte, afin de produire des chaînes d'ADN plus courtes. Au moyen d'un logiciel de leur conception, George Church et son équipe ont d'abord découpé le livre en

milliers de tranches de douze caractères chacune. Puis ils les ont converties en séquences de nucléotides, via leur principe de codage en lettres A, T, C et G (voir ci-dessus). Les quelque 55 000 chaînes de nucléotides ainsi obtenues ont ensuite été fabriquées "en vrac" par un synthétiseur, une sorte de petite usine à ADN qui fonctionne comme une imprimante à jet d'encre. Sauf qu'au lieu de puiser dans des cartouches de couleur, elle puise dans des réservoirs d'adénine, de thymine, de cytosine ou de guanine. Le livre tient alors dans une petite pipette renfermant →



→ quelques gouttes d'ADN liquide. L'ouvrage est ainsi archivé *in vitro*.

Ici, l'idée pourrait surgir d'injecter dans des cellules vivantes cet ADN dont le texte est connu. Idée fascinante et techniquement réalisable... mais décevante: cette manipulation provoquerait immédiatement la destruction des données. "Quand un fragment d'ADN n'est d'aucune utilité à la cellule, elle l'élimine", explique le chercheur. A moins de fourbir de nouvelles armes, pour permettre par exemple à la cellule de combattre un virus, le fragment est donc détruit. C'est pourquoi le livre a été enregistré sur une puce à ADN, une lamelle de verre destinée à stocker les molécules ainsi synthétisées, sous forme de microscopiques particules de poussière. "Sous sa forme solide, poursuit le chercheur, l'ADN est au moins 100 fois plus compact que dans son état liquide."

Restait à vérifier l'efficacité de la copie. Pour cela, les cher-

cheurs ont réalisé l'opération inverse. Avec un séquenceur (une machine à trier, capable de remettre le texte dans l'ordre), ils ont déchiffré les fragments d'ADN qui avaient été codés et ils ont reconvertis, à l'aide de leur logiciel, les suites de A, T, C et G dans le texte d'origine. Résultat: un sans-faute ou presque, avec seulement 10 bits mal copiés sur les quelque 5 millions contenus dans l'original, soit une copie réussie à plus de 99,999 %. "A partir de cette première copie, explique George Church, nous en avons fait des milliards d'autres, pour démontrer combien il est devenu simple de dupliquer d'immenses quantités de données." Masse de l'ensemble? Un dixième de milligramme...

L'ARCHIVAGE DU FUTUR?

De quoi, enfin, remédier à l'un des plus grands paradoxes de notre ère numérique? "Nous générerons des masses toujours plus grandes d'informations alors que la durée de vie des

▲ C'est dans ce laboratoire de Harvard qu'ont été mises au point les deux machines (synthétiseur et séquenceur) indispensables au stockage sur ADN.

supports disponibles n'a jamais été aussi courte", résume Erich Spitz. Dans son dernier rapport consacré à la durée de vie des supports actuels, ce physicien de l'Académie des sciences fustigeait la fragilité des CD, DVD et disques Blu-ray qu'il condamnait à "l'amnésie" au bout d'une quinzaine d'années. "Cette expérience sur l'ADN est d'autant plus excitante, insiste le physicien, qu'elle ouvre la voie à la conservation d'énormes quantités de données sur le très long terme." Du reste, ce nouveau support fait déjà rêver certains professionnels de l'archivage: "L'ADN est peut-être en passe de devenir un outil fabuleux pour stocker sur un minimum d'espace des fichiers volumineux, comme les vidéos, ou des informations qui nécessitent d'être gardées de nombreuses années, par exemple des dossiers de suivi médical", estime Laurent Ducol, président de l'Association des archivistes français.

A cela, toutefois, deux conditions: que les coûts diminuent et que le traitement s'accélère. Car de ce côté-là, il y a encore des progrès à faire. Synthétiseur et séquenceur, les deux machines indispensables à cette expérience, coûtent chacune plusieurs centaines de milliers d'euros. "Les coûts du séquençage et de la synthèse ont été divisés par 1000 en quatre ans, il n'y a aucune raison pour que cette dégringolade ne continue pas", rétorque George Church. Tout de même, l'archivage du livre a pris plus d'une semaine... "De nouvelles technologies, plus rapides, vont nous permettre d'accélérer la manœuvre", assure-t-il. S'il y parvient, rien n'empêchera plus l'ADN de révolutionner le stockage informatique.

GROS évènement !



C'EST MAINTENANT **TOUS** LES MOIS !



LE PREMIER MAGAZINE
100% INTERACTIF
pour les 7-12 ans.

Ne manquez pas la seule application
ludo-éducative !

Sur
iPad



du
son



des
vidéos



des
jeux



DÉVELOPPÉ PAR
SCIENCE &
découvertes

DÉCOUVRE VITE UN NUMÉRO GRATUIT SUR LE KIOSQUE D'APPLE !

Disponible dans
l'App Store
catégorie Kiosque

FIN DU MONDE LE HIGGS LIVRE UNE

Avec la découverte du boson de Higgs, les physiciens revoient tous leurs calculs. Or, ceux portant sur le vide de l'Univers prédisent une... apocalypse : loin d'être stable, le vide pourrait tomber... dans le vide, entraînant le monde avec lui.

PAR MATHIEU GROUSSON

D'un coup, chaque électron dans l'Univers acquerra la masse d'une bactérie, s'écrasera sur le noyau atomique autour duquel il tourne, et toute la matière se ratatinera sur elle-même en une soupe ultra-dense. Plus de molécule, plus de chimie : rien ne résistera très longtemps à une telle apocalypse cosmique." Comparée à ce que raconte Gian Giudice, la prédiction prétdument maya qui annonce la fin du monde pour ce 21 dé-

cembre passerait presque pour une aimable comptine. Encore un délire pour esprits illuminés en mal de sensations fortes ? Pas cette fois, non. Car Gian Giudice travaille à la division théorique de l'Organisation européenne pour la recherche nucléaire (Cern). Le scénario qu'il décrit est directement issu de l'analyse rigoureuse du boson de Higgs, cette particule élémentaire dont la découverte, rendue publique le 4 juillet dernier après un demi-siècle de traque, offre enfin une vision complète et



PREMIÈRE PROPHÉTIE

précise de la matière et de son histoire. C'est même la première prophétie de celle qui est surnommée la "particule de Dieu".

SANS CRIER GARE!

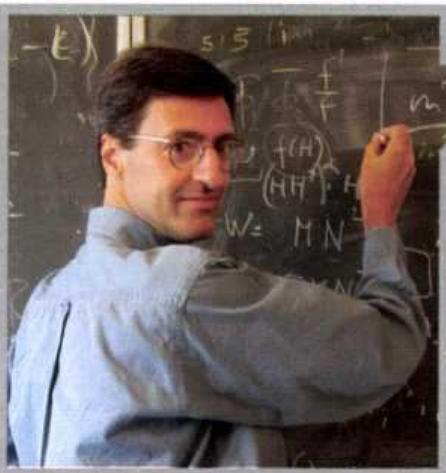
Si cette découverte est cruciale, c'est que le boson était la dernière pièce manquante du modèle standard, l'actuelle théorie des constituants élémentaires de la matière. Maintenant que sa masse est connue (125 GeV), des calculs jusqu'alors en suspens peuvent être menés à leur terme. Comme celui sur la sta-

bilité du vide qui emplit notre Univers. C'est ce que vient de réaliser Gian Giudice, en collaboration avec Gino Isidori et un petit groupe de théoriciens. Et le résultat est tombé comme un couperet: le vide dans lequel baigne notre Univers est susceptible de se déchirer à chaque instant. Sans crier gare.

Pour comprendre pourquoi le destin de notre monde est intimement lié aux caractéristiques de la nouvelle particule, il faut saisir le statut singulier de ce boson au sein du modèle

standard, maintenant complet. Certes, c'est une particule, comme l'électron, mais qui a la particularité d'être une "excitation" d'une entité physique appelée "champ de Higgs" – un peu comme une vague est une excitation de la surface de la mer. Or, ce champ de Higgs emplit tout l'Univers et joue un rôle clé dans le ballet des particules: c'est en interagissant avec lui que chacune des particules qui nous entourent se trouve dotée d'une masse. Autrement dit – et c'est →

▲ La découverte en juillet dernier, dans le collisionneur du Cern, du boson de Higgs, ultime particule du modèle décrivant la matière, a permis de mener à leur terme des calculs sur la stabilité de l'Univers.



GIAN GIUDICE

PHYSICIEN À LA DIVISION THÉORIQUE DU CERN

Toute la matière se ratatinera sur elle-même : rien ne résistera à une telle apocalypse cosmique

→ là que le modèle standard perturbe le plus notre perception classique de la matière – la masse ne doit plus être considérée comme un attribut propre aux particules, mais comme une propriété qu'elles acquièrent en interagissant avec le champ de Higgs. On peut le voir comme une sorte de mélasse. Les particules qui y sont sensibles et qui s'y meuvent nous apparaissent ralenties, pataudes, pleines d'inertie, bref... massives.

Et justement : l'apocalypse du Higgs qui vient d'être prophétisée correspond à l'épaississement brutal de cette mélasse. Un tel événement provoquerait immédiatement un cataclysme global à l'échelle de l'Univers : les mouvements des particules massives seraient tellement freinés que les électrons pour-

raient sembler aussi lourds que des bactéries. "Nous n'aurions même pas le temps de nous en rendre compte, puisque nous serions instantanément plongés dans un nouveau vide où nous disparaîtrions", ajoute Gino Isidori, lui aussi à la division théorique du Cern et coauteur de la funeste prophétie.

ET SI LE VIDE DÉGRINGOLAIS ?

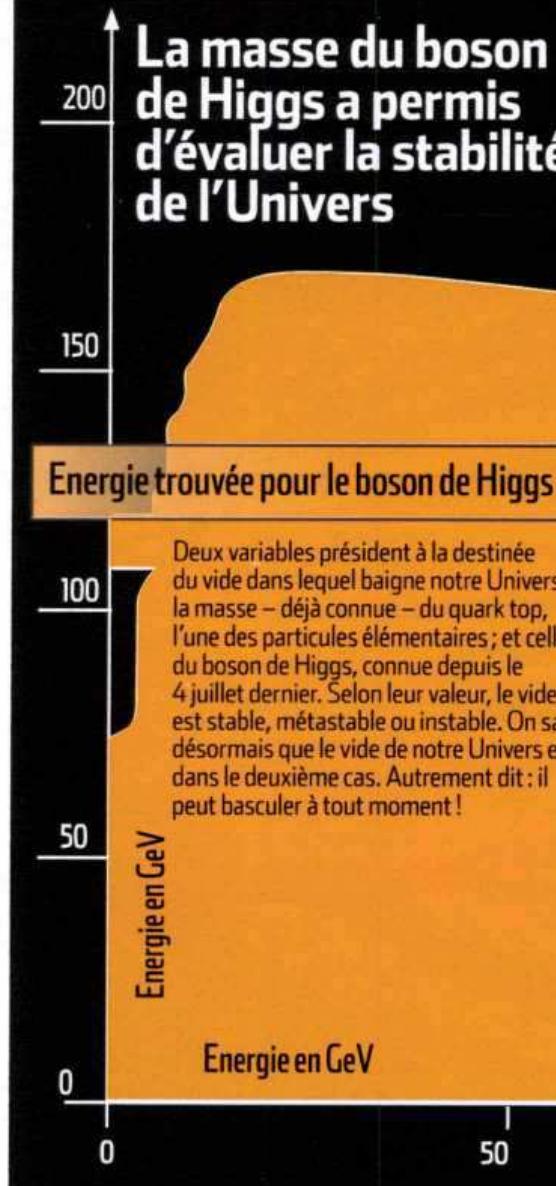
Pourquoi imaginer un tel scénario, *a priori* assez délivrant ? Parce que comme tout objet physique, le champ de Higgs est susceptible de se trouver dans différents états d'énergie – un peu comme une bille, selon qu'elle est placée dans un creux ou au sommet d'une bosse, se trouve dans différents états d'énergie potentielle. Ce champ pourrait donc bel et bien passer à un état

LES AUTRES SCÉNARIOS

En matière de fin du monde, les équations sont prolixes. Longtemps, celles de la relativité générale ont suggéré que tout se terminerait dans un "big crunch", un big bang à l'envers ! Mais la découverte en 1998 de la mystérieuse énergie noire qui accélérerait l'expansion de l'Univers a invalidé ce scénario. Qu'à cela ne tienne ! Un an plus tard,

Robert Caldwell, au Dartmouth College, proposait le "big rip" (grande déchirure). Selon lui, il est possible que la densité d'énergie noire (75 % de l'Univers) explose. Le cosmos serait alors littéralement déchiqueté. D'autres scénarios issus des équations n'ont parfois rien à envier aux visions mystiques les plus radicales.

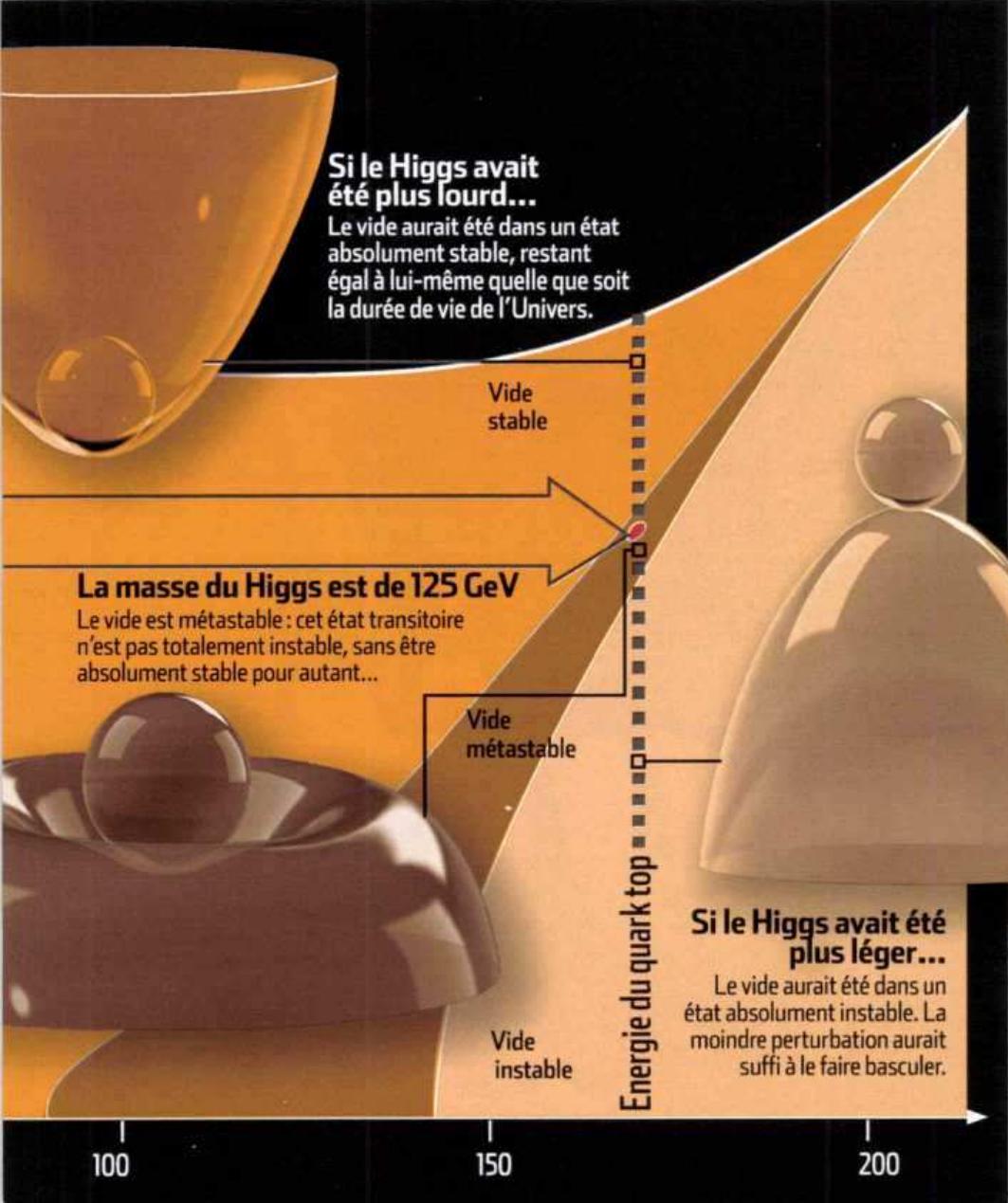
La masse du boson de Higgs a permis d'évaluer la stabilité de l'Univers



Deux variables président à la destinée du vide dans lequel baigne notre Univers : la masse – déjà connue – du quark top, l'une des particules élémentaires ; et celle du boson de Higgs, connue depuis le 4 juillet dernier. Selon leur valeur, le vide est stable, métastable ou instable. On sait désormais que le vide de notre Univers est dans le deuxième cas. Autrement dit : il peut basculer à tout moment !

d'énergie inférieure – comme la bille peut déringoler vers un plateau situé plus bas. Certes, mais n'est-ce pas se faire peur pour rien ? Après tout, notre bon vieux vide paraît plutôt stable : cela fait 13 milliards d'années qu'il tient le coup ! Peu de risque, donc, qu'il s'effondre...

Sauf que la découverte du boson de Higgs a permis d'aller au bout des calculs. Et le verdict est tombé : "Notre vide n'est pas absolument stable, assène le théoricien italien. Néanmoins, il remplit la condition de métastabilité." C'est-à-dire qu'il se trouve non pas bien calé au fond d'un trou ni en instabilité au sommet d'une pente, mais



dans un creux de profondeur intermédiaire, bordé par de petites parois (voir infographie). Si bien qu'il suffirait d'une pichenette pour l'en déloger et le faire dégringoler dans un état d'énergie inférieure.

Or, la mécanique quantique autorise une telle pichenette : c'est "l'effet tunnel". Un phénomène banal dans le monde de l'infiniment petit, qui permet à un objet quantique – et le vide en est un – de traverser une paroi qu'il n'a pas l'énergie de gravir pour passer par-dessus. Ainsi, notre bille peut très bien traverser les bords de sa cuvette et... déclencher l'apocalypse : la bascule du vide qui

REPÈRE
Le 4 juillet 2012, le Cern annonce la découverte du boson de Higgs. Événement sans précédent depuis des décennies en physique microscopique, la mise en évidence de l'ultime particule élémentaire prédicta par le modèle standard clôt une traque de cinquante ans. Et projette la physique dans une ère nouvelle.

DR - M. KONTENTÉ

emplit l'Univers... dans le vide. Quand ? "Le temps caractéristique de séjour du vide dans son état actuel serait de 10^{100} ans", estime Gino Isidori.

UNE BASCULE IMPRÉVISIBLE

Pas de quoi s'inquiéter, alors que notre Univers a tout juste dépassé les 10 milliards d'années (10^{10}) et qu'il s'avance très lentement vers les 100 milliards d'années (10^{11}). Sauf que... mécanique quantique oblige, la bascule pourrait en réalité se produire n'importe quand, dans trois secondes comme dans trente milliards de milliards de milliards d'années. Et même le 21 décembre 2012...

Cette prophétie présente cependant une faille. Ils ont beau être fondés sur une analyse méticuleuse des équations du modèle standard, ces calculs n'ont de sens que si le modèle est valable jusqu'à des énergies faramineuses, cent millions de fois plus grandes que celle que peut atteindre l'accélérateur de Genève. Or, comme le souligne Christophe Grojean, théoricien du Cern, "il est peu probable qu'on puisse étendre le modèle standard jusqu'à pareille énergie ; à l'inverse, il est vraisemblable qu'une nouvelle physique, encore inconnue, surgisse à une échelle d'énergie intermédiaire".

Certes. Si ce n'est que pas la moindre trace de cet au-delà du modèle standard n'a encore été relevée, à Genève ou ailleurs. En attendant, puisque rien n'indique à partir de quelle énergie ses prédictions ne seront plus fiables, et que c'est la seule théorie physique cohérente qui existe pour décrire la matière, autant prendre ses prédictions au sérieux. Et écouter ce que la particule qui matérialise la substance du vide nous raconte sur le monde...

Depuis quelques mois, la physique est entrée dans une nouvelle ère. L'apocalypse des Mayas ? Non, c'est l'apocalypse du Higgs qui est la véritable prophétie du nouveau monde. ■

ÉDITION SPÉCIALE

LA SCIENCE FACE AUX PROPHÉTIES APOCALYPTIQUES

En kiosque
le 23 novembre





Ci-göt Atta

SUR LES TRACES
DE LA MOMIE DU
DERNIER INCA

On croyait le secret perdu... Exécuté il y a 500 ans par les conquistadors, Atahualpa, le dernier empereur inca, fut momifié et sa momie cachée, déplacée, sans que nul ne sache où. Or, depuis dix ans, une historienne passionnée remonte la piste, cherchant dans les vieilles chroniques de l'époque à résoudre l'énigme. Jusqu'à ce jour de juin 2010 où, au sommet d'une colline, elle découvre de fascinants vestiges. Atahualpa est peut-être là, tout près... Le trésor des Incas, c'est lui.

PAR ÉMILIE RAUSCHER ENVOYÉE SPÉCIALE EN ÉQUATEUR
REPORTAGE PHOTO DE KARLA GACHET

Atahualpa?



▲ Cette plate-forme cérémonielle (un *ushnu*), découverte sur le site de Machay, aurait été spécialement conçue pour accueillir la momie d'Atahualpa.



a brume s'accroche lentement au flanc de la colline, au point que les sons en paraissent cotonneux et l'ambiance assoupie... Calme trompeur. La petite troupe qui traverse le rio tumultueux qui enserre la butte est, elle, bouillante d'impatience – et ceux qui sont déjà venus ne sont pas les moins tendus. Les yeux brillants, ils montrent aux nouveaux venus les larges pierres étrangement bien taillées du petit escalier qui serpente à travers la végétation à demi sauvage. Une fois au sommet, pas le temps de reprendre son souffle ni de s'arrêter aux quelques bâtiments modernes informes qui défigurent les lieux. Après, juste après, les attend ce qui attire depuis deux ans historiens et archéologues renommés dans ce coin perdu de la province équatorienne de Cotopaxi, à Sigchos, accroché à 1020 m d'altitude sur le versant occidental des Andes : une large place dallée, bordée des vestiges d'édifices que l'on devine anciens...

LE CORPS SACRÉ D'UN EMPEREUR DIVIN

L'historienne équatorienne Tamara Estupiñan-Viteri n'oubliera jamais la première fois qu'elle est venue ici, le 26 juin 2010, avec une équipe de spécialistes du monde inca : "Nous ne savions pas ce que nous allions trouver, raconte-t-elle, la voix encore pleine d'émotion. Mais quand nous avons découvert ces belles pierres, nous avons vu les murs se dessiner... Nous nous sommes alors mis à parcourir les lieux presque en courant ! L'archéologue qui était avec moi, Tamara Bray, était stupéfaite. Elle m'a dit : 'Vous ne savez pas ce que vous avez fait !'" Vraiment ?

Pourtant, c'est guidée par une logique implacable que la chercheuse de l'Institut français d'études andines les a conduits jusqu'ici, aux confins du mythique empire inca. Elle a, pendant dix ans, compilé des milliers de pages léguées par les chroniqueurs espagnols et trahi ce qu'ils ne voulaient pas y dire pour faire ressurgir des indices que personne n'avait vus

Il fut le dernier empereur inca

Atahualpa n'est pas destiné à régner sur l'empire de plus d'un million de kilomètres carrés de son père. Né à l'aube du XVI^e s., il est le fils d'une princesse du Nord, région tout juste conquise par Huayna Capac. A la mort de celui-ci, emporté par la variole en 1527, il s'engage alors dans une terrible guerre civile contre son demi-frère Huascar, soutenu par le Sud. Au début de 1532, Atahualpa s'empare du trône. Brève victoire : le 16 novembre 1532, il est capturé par Pizarro. La rançon de plusieurs milliers de tonnes d'or et d'argent qu'il paie ne le sauve pas, mais en se faisant baptiser il évite le bûcher. Momifié, caché par son peuple, il peut alors entamer sa seconde "vie"...



ou compris ; elle a fait parler les légendes pour retrouver leur part de vérité ; elle a exhumé des documents précieux que l'on croyait perdus... Alors, oui, elle a une idée très précise de ce qu'elle a fait : elle a retrouvé la trace d'Atahualpa, le dernier souverain divin inca. Ici devait se trouver sa dernière demeure, construite pour accueillir sa dépouille mortelle, véritable trésor de cette civilisation disparue pour lequel des dizaines de milliers d'hommes sont morts cinq siècles plus tôt. Des lieux que pourrait bien hanter encore cette momie sacrée...



▲ Le 16 novembre 1532, au terme de leur rencontre, le conquistador Francisco Pizarro fait Atahualpa prisonnier.

< L'orfèvrerie et les fins tissages du peuple inca ont ébloui les Espagnols.

D'une certaine façon, tout a commencé le 26 juillet 1533, date fatidique de l'exécution d'Atahualpa sur ordre du capitaine espagnol Francisco Pizarro. Ce jour-là, le conquistador sacrifia un homme et décapita un empire. Un empire ravagé par cinq années de variole et de guerre civile qui ont vu deux frères lutter pour le trône de leur père, emporté par la maladie. Mais un empire qui promettait de se relever alors qu'Atahualpa, Inca du Nord, venait de capturer son demi-frère et rival du Sud, Huascar... avant d'être lui-même pris par Pizarro. Malgré le versement de la plus grosse rançon d'or et d'argent connue à ce jour, Atahualpa fut garrotté par ses geôliers. En acceptant le baptême *in extremis*, le malheureux roi avait en effet évité le bûcher, et sauvé ce qui à ses yeux était l'essen-

Un empire qui dura un siècle

Début xv^es.
Fondation de l'empire par Pachacuti Inca.

1527

Mort de celui qui a porté l'empire à son apogée : Huayna Capac. Début de la guerre civile entre ses fils Huascar (au Sud) et Atahualpa (au Nord).

Début 1532

Huascar est capturé par l'armée du Nord.

16 novembre 1532

Atahualpa est pris par Pizarro.

Début 1533

Exécution de Huascar.

26 juillet 1533

Atahualpa est condamné à mort. Avec lui, disparaît officiellement l'empire.

Fin 1533

Pizarro place un fantoche sur le trône inca. Une révolte ensanglante le Nord.

1534

Combats acharnés entre résistants et conquistadors.

1535

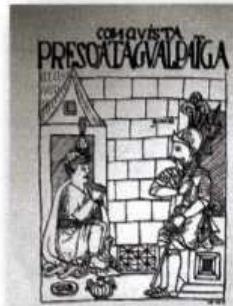
Fin de la rébellion du Nord avec l'exécution de son meneur.

1536

Nouvelle rébellion au Sud.

1572

Fin de la dernière résistance inca.



tiel : l'intégrité de son corps, fût-il mort. Et alors que les Espagnols croyaient que son histoire s'arrêtait là, commençait pour lui une seconde "vie". Celle qui, cachée des conquistadors, allait alimenter la révolution qui enflamma aussitôt le nord de l'empire...

AUX CONFINS PERDUS DE L'EMPIRE

En s'intéressant, au début des années 2000, à cette rébellion qui s'acheva dans le sang en 1535, Tamara Estupiñan-Viteri remarqua d'emblée deux faits curieux : c'est le général Rumiñahui, haut dignitaire d'Atahualpa certes, mais non noble, qui prit la tête de la rébellion. Pourquoi lui, au lieu des généraux issus de la lignée impériale encore auréolés de leur victoire face à Huascar ? Et pourquoi →

Dix ans d'enquête d'une historienne atypique

“Mon enquête n'est pas le fruit de techniques archéologiques traditionnelles. C'est un travail historique complété par des études d'archives et de terrain”, précise l'historienne équatorienne Tamara Estupiñan-Viteri. Pendant plus de dix ans, elle a compilé une énorme base de données de plus de 30000 entrées, qui lui a permis d'établir une chronologie des événements qui ont suivi la mort d'Atahualpa, d'identifier les protagonistes et, surtout, de localiser les lieux clés.



▲ ELLE A RECUEILLI LES LÉGENDES LOCALES

Dans une région toujours majoritairement occupée par les Indiens, la tradition orale conserve encore des informations qui n'apparaissent dans aucun livre. Interroger les populations a permis à Tamara Estupiñan-Viteri de retrouver les légendes qui entourent Atahualpa et de localiser des lieux-dits ignorés des cartes.



→ l'élite de la résistance du Nord choisit-elle de se regrouper dans une obscure région de l'empire, à Sigchos, au lieu de Quito, sa capitale? L'historienne a retourné le problème dans tous les sens: “Il fallait un puissant aimant, un symbole de pouvoir capable de conférer une autorité indéniable et d'attirer à lui tous ces meneurs... Ce ne pouvait être qu'Atahualpa lui-même, son corps momifié!”

Après sa mort, tous les chroniqueurs ont pisté l'immense trésor d'or d'Atahualpa... mais, pour les Incas, le vrai trésor c'était sa dépouille. “Le corps d'un monarque décédé possédait des pouvoirs, personnifiait sa lignée et avait une fonction d'oracle. Il était donc momifié pour pouvoir être vénéré, explique Tamara Estupiñan-Viteri.

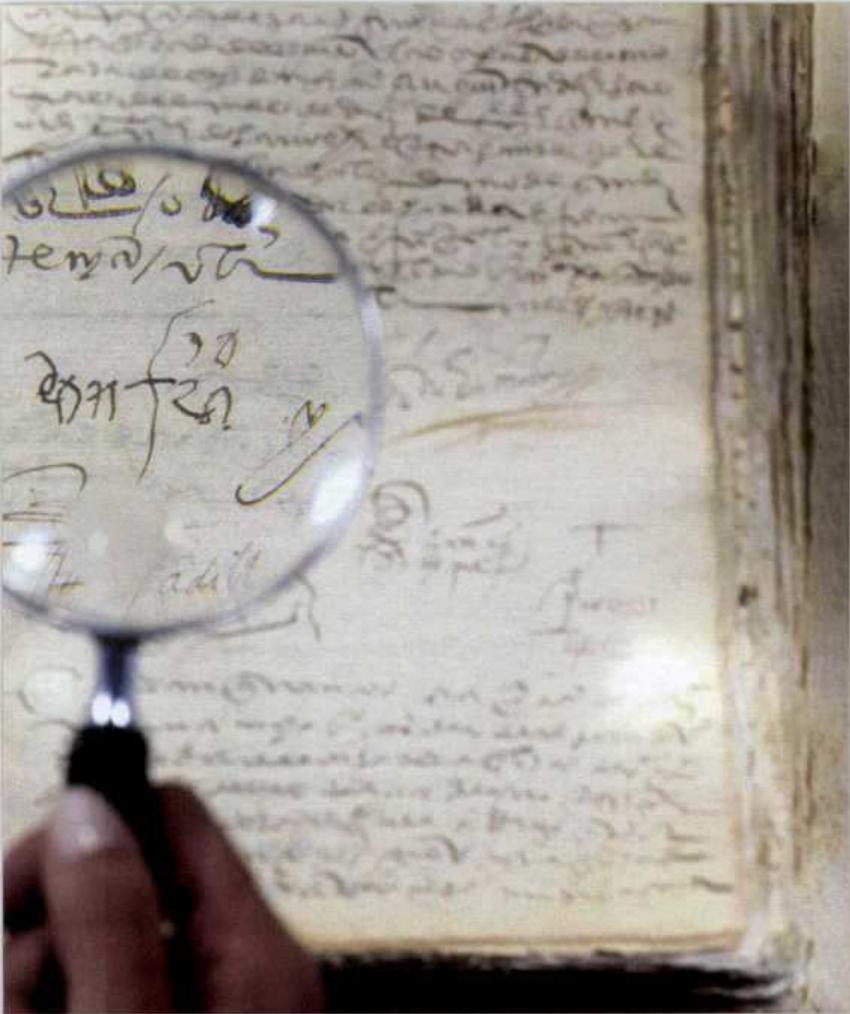
La momie était appelée ‘malqui’ dans l'antique langue quechua, et participait à des cérémonies, avait ses serviteurs, ses terres... De petites effigies, appelées ‘huauques’, pouvaient également être créées à l'aide de cheveux et d'ongles du souverain pour le représenter, vivant ou mort. Et la famille était chargée de protéger ces deux puissants emblèmes. Mais comment le général Rumiñahui se serait-il retrouvé en possession du précieux malqui?

Officiellement, l'histoire d'Atahualpa s'arrête dans une chapelle funéraire, à Cajamarca... Mais en fouillant des documents du xvi^e siècle quasi ignorés, l'historienne a trouvé une piste. Un proche du défunt, Cuxi Yupangue, se trouvait là le jour de l'exécution: c'est lui qui a ap-



> ELLE A ÉPLUCHÉ LES TEXTES D'ÉPOQUE

Tamara Estupiñan-Viteri s'est beaucoup appuyée sur les récits écrits par les conquistadors et les chroniqueurs espagnols. Étant une des rares capables de lire l'espagnol du xvi^e s., elle a transcrit des ouvrages jusqu'ici inédits, comme le testament de Francisco Topatuchi, fils aîné et héritier d'Atahualpa, dont on voit ici la signature.



< ELLE A PASSÉ AU CRIBLE LES SITES DE LA RÉGION

Pour les anciens Incas, montagnes et cours d'eau étaient sacrés : l'étude du paysage permet donc d'éclairer le choix de certains sites et de créer des relations entre eux. Ainsi l'impressionnante "lagune" de Quilotoa est-elle située exactement au milieu de l'axe qui reliait les terres privées d'Atahualpa à sa dernière demeure.

porté la rançon. Il aurait ensuite récupéré le corps et rejoint Rumiñahui. "Le corps d'Atahualpa a été momifié très rapidement après sa mort, estime Tamara Estupiñan-Viteri. Et, une fois le malqui récupéré, Rumiñahui l'a envoyé à Quito où il restera jusqu'à l'arrivée du général Benalcazar, en juin 1534." C'est un coup dur pour la rébellion car la famille d'Atahualpa est alors capturée, mais le malqui échappe aux Espagnols : cœur et origine de la lignée impériale, sa préservation primait tout le reste, et l'oncle d'Atahualpa, gouverneur de la région, l'a déjà fait transférer vers la brumeuse Sigchos...

UN PRÉCIEUX TESTAMENT OUBLIÉ...

Historiquement, la présence de la momie là-bas s'explique donc. Restait à comprendre la raison de ce choix, voire à déterminer où... "Sigchos est une région de plus de 5 000 km², et devant le vide des documents, il paraissait difficile de trouver quelque chose. Difficile, mais pas impossible...!", glisse l'historienne.

Au fil de ses recherches, Tamara Estupiñan-Viteri a constitué une base de données de plus de 30 000 titres, dont l'un des fleurons est sans conteste le testament du fils aîné d'Atahualpa, dit "*el auqui*" (le prince). Huit pages manuscrites, illisibles pour le commun des mortels, et noyées au milieu d'un volume notarié monstrueux de plusieurs milliers de feuillets. "Je suis une des rares personnes capables de déchiffrer l'espagnol du xvi^e s. Et en découvrant la signature tremblante de 'Francisco Topatauchi, fils d'Atahualpa', j'ai été transportée dans le temps... se souvient-elle, émue. Il y mentionne les terres reçues de son père, dont une à Cuturibi. Une propriété d'ailleurs assez énigmatique... Elle fait plus de 100 ha mais le seul bien mentionné sur place est un troupeau de chèvres ! Et pourtant, cette demeure sera la dernière à être vendue. Elle appartiendra jusqu'à la fin du xvii^e s. à la haute noblesse inca." Surtout, Cuturibi est située dans la région de Sigchos, près du village de Pujili, comme elle le prouve en juin 2011 en découvrant des murs incas accolés à la petite église locale du xviii^e s. Le fils aîné d'Atahualpa n'est pas le seul à s'être installé ici, de nombreux dignitaires incas y ont édifié leur demeure. "Pour que tant de gens importants viennent là, il devait y avoir quelque chose...", estime-t-elle. L'énorme dévotion qu'y connaît le Divin Enfant Jésus attire →

> Repéré par Tamara Estupiñan-Vituri, ce petit Christ vénéré à l'église d'Isinchi est un indice de poids : son sanctuaire se trouve sur les anciennes terres privées d'Atahualpa et la position de ses mains correspond exactement à celle des petites représentations du souverain fabriquées à l'époque des Incas.



Tous les indices mènent à deux sites incas inconnus

Le point d'orgue des découvertes de Tamara Estupiñan-Viteri, c'est les sites de Malqui et Machay distants de moins de 5 kilomètres, qui auraient abrité respectivement les serviteurs de la momie et la momie elle-même. L'Equateur a déjà déclaré son intérêt et a lancé une première campagne de fouilles en août 2012. Celles du site de Malqui, menée par l'archéologue américain David Brown, ont déjà révélé de la céramique datant de l'époque précolombienne et une plate-forme ancienne. A Machay, des canaux et d'épais murs de pierre sur une large place pavée sont visibles.



→ alors son attention. On vient du fin fond du Pérou pour le prier, lui faire des cadeaux ou le voir paré en Inca. Et puis, l'historienne reconnaît l'étrange position de la petite poupée à demi cachée dans sa vitrine, une main sous la tête et l'autre sur la cuisse: elle l'a vu dans des manuscrits anciens, c'est celle des effigies, les *huauques*, qui personnifiaient les rois incas! "J'ai alors émis cette hypothèse fas-

cinante: on sait qu'Atahualpa s'était fait faire un huauque... ce petit Christ pouvait en être l'avatar", annonce-t-elle, consciente de "l'hérésie" de ce syncrétisme inattendu qui réunit dans une seule poupée le fils du Dieu des chrétiens et un païen d'empereur inca.

"BINGO!" TOUT S'EMBOÎTE PARFAITEMENT

Si Tamara Estupiñan-Viteri rêve d'une analyse aux rayons X, elle n'entend pas s'arrêter là. Grâce à cette première découverte, elle cerne mieux pourquoi le *malqui* a été envoyé dans cette région, mais elle veut se rapprocher encore de la dépouille, connaître son destin. Et là encore, sa base de données tentaculaire recèle des pistes solides: comme cet accord de 1597 sur les impôts à percevoir dans la région de Sigchos, près d'un lieu appelé... Malqui! Le texte précise même que les quatre-vingt-dix *camayos* installés là devaient payer leur tribu en draps de coton tissé... Or, les *camayos* étaient les serviteurs personnels des momies. Pour retrouver cet endroit disparu depuis des siècles, elle va alors scruter les cartes et sillonnner le secteur en juillet 2004... Jusqu'à découvrir, à une quarantaine de kilomètres seulement des terres d'Atahualpa,

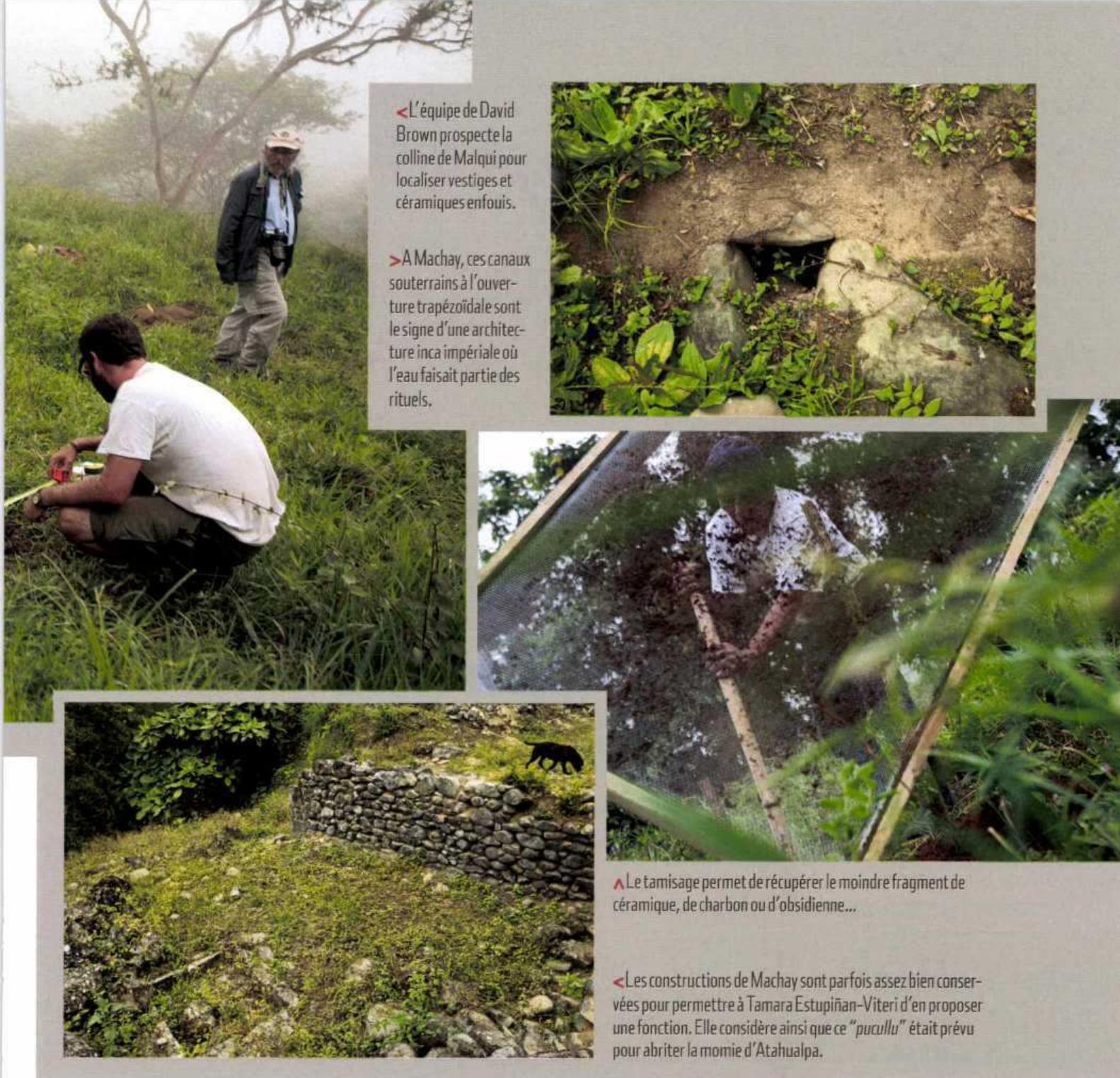


TAMARA ESTUPIÑAN-VITERI

Historienne à l'Institut français d'études andines

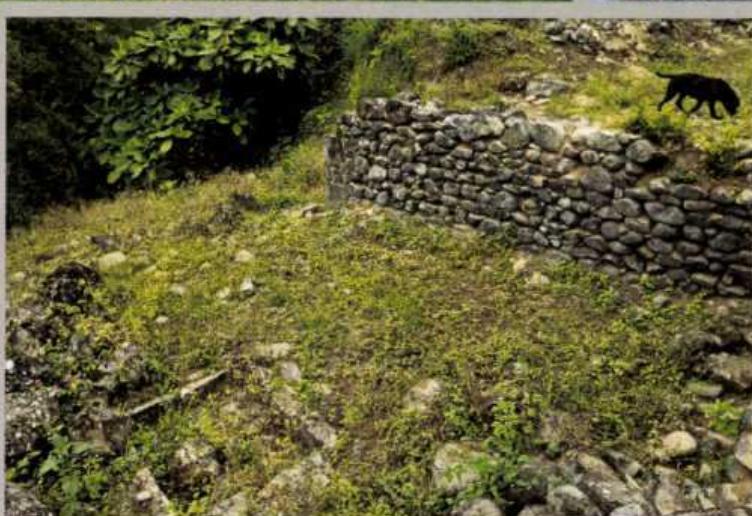
Machay, c'est le nom du site... et c'était le nom de la dernière demeure du malqui (momie)





< L'équipe de David Brown prospecte la colline de Malqui pour localiser vestiges et céramiques enfouies.

> A Machay, ces canaux souterrains à l'ouverture trapézoïdale sont le signe d'une architecture inca impériale où l'eau faisait partie des rituels.



▲ Le tamisage permet de récupérer le moindre fragment de céramique, de charbon ou d'obsidienne...

< Les constructions de Machay sont parfois assez bien conservées pour permettre à Tamara Estupiñan-Viteri d'en proposer une fonction. Elle considère ainsi que ce "pucullu" était prévu pour abriter la momie d'Atahualpa.

une hacienda du même nom qui possède des pans de murs anciens. Mais cela ne suffit pas à convaincre l'archéologue Tamara Bray...

"J'ai donc décidé d'approfondir mes connaissances du culte des ancêtres chez les Incas, se rappelle Tamara Estupiñan-Viteri, grâce à une bourse de Harvard. J'ai ainsi découvert que la dernière demeure d'un malqui s'appelait 'machay', donnée que j'ai confrontée à la toponymie du secteur. Et là, près de Malqui, j'ai découvert un rio et une hacienda appelés Machay. Bingo ! Il devait y avoir quelque chose là-bas." Elle rassemble de nouveau son équipe et, le

26 juin 2010, sur les indications d'un Indien nommé "Umajinga" ("La Tête de l'Inca"), ils dénichent un petit chemin chaotique qui mène à une colline noyée de brume... *"Nous ne savions pas que nous allions découvrir des ruines aussi fascinantes"*, précise-t-elle, en pointant les vestiges qui l'entourent. Les archéologues sont formels : tout, ici, est de facture inca impériale. Une révélation pour le propriétaire des lieux, qui croyait que ces vestiges dataient de son arrière-arrière-grand-père, arrivé là 104 ans plus tôt !

Tamara Estupiñan-Viteri interprète tout ce qu'elle a sous les yeux. *"Machay est un site →*

La momie avait de nombreux serviteurs

Cet édifice long de près de 40 m comportait deux pièces. Généralement associé à des sites importants, ce type de construction abritait une partie des serviteurs (les *camayos*) de la momie.

Bâtiments des serviteurs

Pucullu

Elle était abritée la nuit dans cette "chambre" ...

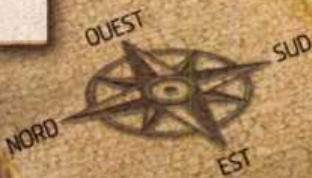
Le *pucullu*, petite structure arrondie, contenait une sorte de cave carrée destinée à abriter la momie (*malqui*) de l'humidité de la nuit ou des intempéries. Elle pouvait également accueillir une partie de ses effets personnels.

Cour intérieure dallée

Momie d'Atahualpa

Ushnu

Serviteurs



... exposée le jour sur cette plate-forme...

L'*ushnu* est une plate-forme cérémonielle en gradins qui domine le chemin d'accès. Exposée au soleil, elle permettait à la momie de dominer ses visiteurs et de bénéficier de la chaleur. Elle est, avec le *pucullu*, alignée d'est en ouest sur la course du soleil.

Chemin d'accès

Les vestiges laissent deviner la dernière demeure d'Atahulpa

Le site de Machay (littéralement le "lieu où sont placées les momies") fait preuve d'une organisation spatiale inédite liée, d'après l'historienne Tamara Estupiñan-Viteri, à sa fonction unique : abriter la dépouille de l'Inca, symbole de pouvoir, et lui permettre de continuer sa "vie". En effet, chez les Incas, le souverain n'était pas inhumé à sa mort ; son corps était momifié et continuait à "vivre" et à participer à des cérémonies... Il conservait pour cela terres et serviteurs, qui assuraient sa bonne conservation et le changeaient régulièrement. Sa localisation inhabituelle, au pied des Andes, et le vaste réseau de forteresses qui entoure le site servaient sans doute à le protéger des troubles extérieurs.

Mur de soutènement

Canaux d'acheminement

Bassin

... le long d'une cour intérieure...

La vie du site s'organisait autour de cette place pavée trapézoïdale, typique de l'architecture inca. Le large chemin d'accès se terminait à sa pointe, et tout son côté sud était protégé par un puissant mur de soutènement, dont la structure en trois couches est le signe d'une construction inca importante.

... drainée par des canaux...

Autre signature d'une architecture inca, trois canaux souterrains trapézoïdaux sont visibles et toujours fonctionnels. Ils permettaient de drainer la colline et d'apporter l'eau nécessaire à la vie quotidienne et aux rites entourant la momie.

Canal d'évacuation

... qui alimentaient son bain

Dans ce grand bassin de pierre se déroulaient les ablutions rituelles et purificatrices de la momie. Un second bassin, plus petit, avait également été aménagé dans le mur de soutènement de la place.

MOMIES INCAS : UN TRÉSOR DÉTRUIT VOLONTAIREMENT

La dynastie royale officielle comprenait treize Incas, dont les momies (*malquis*) furent soigneusement préparées et séchées pour permettre leur conservation. Leurs serviteurs attirés les baignaient et changeaient leurs linges de coton tous les jours pour empêcher la putréfaction. Une technique originale qui fit ses preuves, comme en témoigne encore en 1609 Garcilaso de la Vega, un descendant de ces rois : "Les corps étaient si entiers qu'il ne leur manquait pas un cheveu. Ils étaient vêtus comme durant leur vie, et n'avaient pour tout ornement et marque de royauté que le llautu sur la tête. Ils étaient assis à la façon des Indiens, les mains croisées sur la poitrine, la droite sur la gauche, les yeux baissés comme s'ils regardaient le sol [...] Je me souviens que je touchai un doigt de la main de Huayna Capac [le père d'Atahualpa]; il me sembla être d'une statue de bois tant il était dur et résistant." Dans quel état seraient ces momies aujourd'hui ? Nul ne sait, les précieuses

→ unique qui ne ressemble à rien de connu, on n'a aucune référence possible, explique-t-elle. Il y a au moins trois canaux souterrains trapézoïdaux qui donnaient sur deux bains alimentés par de petites cascades : chez les Incas, l'eau est un élément rituel. Là, un chemin d'accès pavé mène à une place trapézoïdale doublée d'une ruelle pavée et entourée d'édifices alignés Est-Ouest, sur la course du soleil. En bas de la place devaient se trouver les bâtiments des serviteurs et, à côté, le pucullu, où on abritait la momie la nuit ou en cas de pluie. A la pointe de la place, on longe l'ushnu, une estrade en gradins surmontée d'un autel où elle trônait pour recevoir le soleil..." Tout s'emboîte si parfaitement !

LE PLUS BEAU RESTE À VENIR...

Certes, "dans mes hypothèses, tout ne sera pas toujours juste", admet, lucide, l'historienne. Avant d'ajouter, espiègle : "Mais tout est cohérent, argumenté ! Aux archéologues de faire leur travail, maintenant. Qu'ils essaient de prouver que j'ai tort !" Tamara Estupiñan-Viteri est reine, elle a près de dix ans d'avance après tout.



reliques ont toutes disparu... Brûlées ou envoyées à Lima (Pérou) pour mettre fin à la vénération dont elles étaient l'objet, leurs traces ont été définitivement perdues après 1640, alors que le climat très humide de la ville avait commencé à les abîmer. Sauf le *malqui* d'Atahualpa... à propos duquel la question reste entière.

▲ Pour éradiquer l'idolâtrie dont elles faisaient l'objet, les 13 momies incas (ici, un spécimen précolombien) ont été brûlées ou exilées à Lima au tournant du XVI^es.

L'Etat équatorien a en tout cas été suffisamment impressionné pour ouvrir une procédure visant au classement du site et l'Académie d'histoire vient de distinguer son auteur.

Mais le plus beau reste à venir. De l'aveu même de Tamara Estupiñan-Viteri, ceci "n'est que la pointe de l'iceberg". Trois des cinq vallées alentour ont été fouillées durant l'été 2012 par l'équipe de l'archéologue Catherine Lara, de Paris-I. Selon elle, "cette zone devait être un point de passage stratégique, et l'Inca avait tout intérêt à la contrôler. Il y a des vestiges importants à Machay, des traces de cultures locales partout autour : il faut comprendre comment cela s'articulait". Des années de travail en perspective, qui éclaireraient un pan inconnu de l'histoire d'un empire mythique... Mais l'historienne n'a d'yeux que pour l'hôte des lieux : Atahualpa. "On pourrait trouver tant de choses ici... Peut-être le malqui lui-même ? Sa route s'est-elle arrêtée là ? A ce stade, on ne peut pas encore trancher", soupire celle qui cherche déjà de son côté, à Quito, la crypte perdue des membres de la famille d'Atahualpa, pour collecter leur ADN et permettre une éventuelle identification. Dans la colline brumeuse, les fouilles ne font que commencer.

FIN DU MONDE

ET SI C'ÉTAIT DU CINÉMA ?

CINE +



WORLD INVASION : BATTLE LOS ANGELES
le 16 JANVIER à 20h45 SUR CINE + PREMIER

FIN DU MONDE ET SI C'ÉTAIT DU CINEMA?

CINE +

DU 16 NOVEMBRE 2012 AU 16 JANVIER 2013, TOUS AUX ABRIS SUR CINE+.
PLUS DE 40 FILMS ET DES DOCUMENTAIRES INEDITS avec notamment

WORLD INVASION : BATTLE LOS ANGELES • THE LAST DAY • LAST NIGHT • SUNSHINE*
PHENOMENES* • LES FILS DE L'HOMME • INFECTÉS • THE DIVIDE • LA JETÉE
LOS ANGELES : ALERTE MAXIMUM • ROLLERBALL • TERRE BRÛLÉE • HUMAN CONTAGION...

CINE +
PREMIER

CINE +
FRISSON

CINE +
STAR

CINE +
Classic

CINE +
A LA DEMANDE

CINE +

A CHACUN SON CINEMA

INFORMATIONS SUR

CINEPLUS.FR

Réservez aux
lecteurs de
SCIENCE & VIE

18 ABONNEMENTS à prix spécial Noël

JEUNESSE & SCIENCES



jusqu'à
39%
CHINE
MERVEAU!
DANS NOS PENSEES

Découvrir, explorer, comprendre le monde qui entoure les 13-18 ans

6 mois (6 n°) 19€50
au lieu de 27€*



jusqu'à
33%
ANKHAMON
SPARU!

Pour les curieux de 8-12 ans qui observent et explorent le monde

5 mois (5 n°) 19€50
au lieu de 24,50€*



jusqu'à
31%
CODES
ANGAGES
SÉCRÉTS

Un voyage inédit au cœur des splendeurs et mystères du passé

6 mois (4 n°) 19€50
au lieu de 23,80€*



jusqu'à
31%
GUERRE
LE PÉTROLE
L'ÉPOQUE QUI A
CHANGER LES ALLIÉS

Le magazine des passionnés d'histoire et de stratégies militaires

6 mois (4 n°) 19€50
au lieu de 23,80€*

FÉMININS



jusqu'à
31%
MEURS
CERTS
MONDE

Le magazine déclencheur d'idées créatives !

1 an (12 n°) 19€50
au lieu de 24€*



jusqu'à
35%
INCE
ET JEUNE!

Le n° 1 des magazines de santé

9 mois (9 n°) 19€50
au lieu de 25,20€*



jusqu'à
45%
LA MODE
EN UN CLIC

Le news fashion magazine !

5 mois (20 n°) 19€50
au lieu de 30€*



jusqu'à
35%
DANS SA VIE
FORMAT POCHE

Il a du chic, il est unique, c'est mon basic !

15 mois (15 n°) 19€50
au lieu de 25,50€*

TELEVISION • PEOPLE



jusqu'à
37%
DUO DE CHARMÉ

Le magazine télé de toute la famille !

6 mois (26 n°) 19€50
au lieu de 26€*



jusqu'à
42%
espresso
ULTIME SAISON

Le seul magazine télé glamour, complet et pratique

6 mois (26 n°) 19€50
au lieu de 28,60€*



jusqu'à
39%
DUO FEMMES
AVANT ELLE...

People, vécu, mode & TV : le féminin 4 magazines en 1

4 mois (18 n°) 19€50
au lieu de 27€*



jusqu'à
52%
NOUVELLE FORMULE

Toute l'actualité et les conseils pour s'adonner à la photo

7 mois (7 n°) 19€50
au lieu de 34,65€*

PASSION



AUTOMOBILE



Le 1er Journal qui se met à la place du conducteur

3 mois (13 n°) 19€50
au lieu de 24,70€*



Tous les plaisirs de l'automobile

4 mois (8 n°) 19€50
au lieu de 26,40€*



Mettez du rêve dans votre quotidien !

3 mois (13 n°) 19€50
au lieu de 29€*



Nouvelle vie, nouvelles envies !

10 mois (10 n°) 19€50
au lieu de 33€*



Le magazine leader de la musique classique et de la hi-fi

6 mois (6 n°) 19€50
au lieu de 35,40€*



Le + pratique et le + complet des mensuels de jardinage

8 mois (8 n°) 19€50
au lieu de 34,40€*

Tarifs dégressifs

1 abonnement	=	19€50
2 abonnements	=	36€50
	soit 18,25€ l'abonnement	
3 abonnements	=	49€50
	soit 16,50€ l'abonnement	

Plus de choix, plus simple, plus rapide,
abonnez-vous sur :
www.KiosqueMag.com

BULLETIN D'ABONNEMENT

A compléter et à retourner à OPÉRATION NOËL KIOSQUEMAG
B805 - 60643 CHANTILLY CEDEX

Oui, je profite de l'offre "Spécial Noël" et je choisis :

1 Ma formule :

- | | |
|----------------------------------------|--------------|
| <input type="checkbox"/> 1 abonnement | 19€50 |
| <input type="checkbox"/> 2 abonnements | 36€50 |
| <input type="checkbox"/> 3 abonnements | 49€50 |
- soit 18€25 l'abonnement
soit 16€50 l'abonnement

2 Mon règlement :

Je règle par chèque ci-joint à l'ordre de Mondadori Magazines France.

Je règle par carte bancaire : N° _____

Expiré le _____

Cryptogramme (au dos de votre carte) _____

Date _____

Signature _____

Offre réservée aux nouveaux abonnés en France Métropolitaine jusqu'au 31 / 01 / 2013.

3 Choix des magazines et adresse(s) de livraison :

708420

Abonnement n°1. Magazine choisi :

Nom _____

Prénom _____

Adresse _____

Code postal _____ Ville _____

Email _____

Abonnement n°2. Magazine choisi :

Nom _____

Prénom _____

Adresse _____

Code postal _____ Ville _____

Abonnement n°3. Magazine choisi :

Nom _____

Prénom _____

Adresse _____

Code postal _____ Ville _____

*Prix de vente au numéro. 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 Magazines France. Par notre intermédiaire, vous pouvez être amené à recevoir des propositions d'autres organismes. En cas de refus de votre part, il vous suffit de nous prévenir par simple courrier.

LE POINT SUR...



100 ANS APRÈS LE FAUX HOMME DE PILTDOWN

LA SCIENCE FACE À LA FRAUDE

PAR EMMANUEL MONNIER



Plagiats, falsifications... l'histoire des sciences est jalonnée de fraudes en tout genre. Mais depuis l'inroyable supercherie du faux "homme de Piltdown" qui, il y a un siècle, abusa tout le monde, le problème a explosé, dopé par l'obligation de publier et la course aux financements. Des garde-fous se mettent en place car il y a urgence : il en va de la crédibilité de la science.

18 DÉCEMBRE 1912
"ET VOICI LES OS
DU PREMIER
HOMME!"

P. 118

TRICHERIES
LES TYPES DE
FRAUDE SONT
BIEN CONNUS

P. 120

CHERCHEURS
DE PLUS EN
PLUS DE CAS
DE SUSPICION

P. 122

LUTTE
C'EST LA
CRÉDIBILITÉ DE
LA SCIENCE
QUI EST EN JEU

P. 124



▲ Dès 1949, Kenneth Oakley (à g.) et L.E. Parsons sont formels : l'homme de Piltdown est un faux.

18 DÉCEMBRE 1912 "ET VOICI LES OS DU PREMIER HOMME!"

Ce soir-là, un archéologue amateur très ému présente sa découverte : il a mis au jour les restes du "premier homme", près de Piltdown. Le chaînon manquant ? Non. Le début d'une mystification...

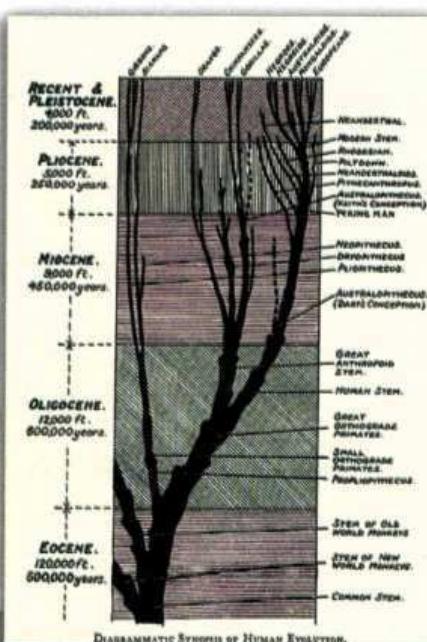
Il est déjà 20 h et le public qui se masse ce mercredi 18 décembre 1912 dans la petite salle de réunion de Burlington House s'impatiente. La nouvelle a déjà fait le tour de Londres : un archéologue amateur, Charles Dawson, présentera ce soir les restes d'un homme – découverts près du village de Piltdown, dans le Sussex – qui, de toute évidence, serait le plus ancien jamais exhumé. Que le plus vieil ancêtre désormais connu fût anglais ne peut être un hasard !, glousse-t-on d'un siège à l'autre. Le président de la Société géologique de Londres donne enfin, avec gourmandise, la parole au héros du jour. Charles Dawson raconte, ému, comment, il y a quelques années, il fut d'abord intrigué par des outils taillés retrouvés dans une petite gravière à côté de Piltdown. Puis par les restes d'un crâne que des ouvriers déterrèrent dans cette même gravière, où Dawson trouva lui-même des fragments supplémentaires. Le paléontologue Arthur Smith Woodward, du British Museum, à qui il communiqua sa découverte, en saisit aussitôt la portée. Poursuivant tous deux les fouilles, ils exhumèrent une mâchoire inférieure semblable à celle d'un grand singe. Or, insiste le paléontologue qui prend à présent la parole, ses deux molaires présentent une usure très plate,

caractéristique des dents humaines. Cette mâchoire d'apparence simiesque est donc bien celle de l'homme dont on a retrouvé le crâne.

LES DENTS D'UN ORANG-OUTAN

Cette découverte apporte le chaînon qui manquait entre le singe et l'homme, et repousse les origines de l'humanité. D'autant que ces ossements ont été retrouvés au milieu de débris d'animaux fossiles incontestablement très anciens. Sous un tonnerre d'applaudissements,

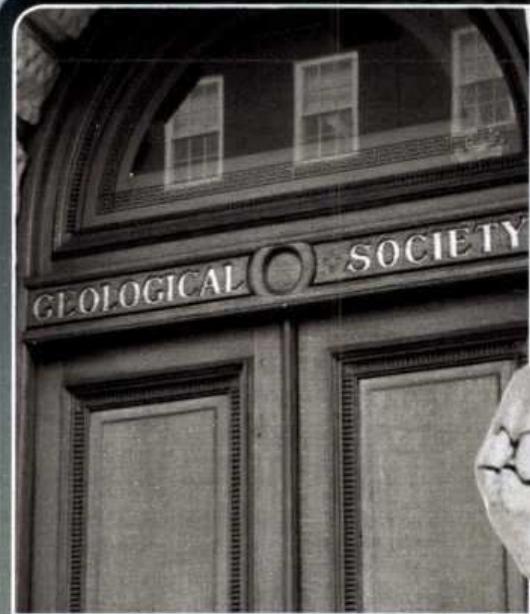
✓ L'homme de Piltdown s'est invité pendant cinquante ans dans l'arbre généalogique de l'humanité.



Arthur Woodward dédie cet "homme de l'aurore" à son découvreur, le baptisant *Eoanthropus Dawsoni*. La paléontologie s'enrichit d'un premier homme plus présentable que Neandertal, plus ancien que Cro-Magnon, et moins exotique que le pithécanthrope de Java. Et pendant des décennies, l'affaire semblera entendue : l'homme de Piltdown est notre nouvel ancêtre.

Mais voilà qu'en 1949, un chercheur du British Museum se mèle de confirmer les datations grâce à une nouvelle méthode d'analyse des teneurs en fluor. Stupéfaction ! Les restes de l'homme de Piltdown sont beaucoup moins anciens que ceux des animaux trouvés autour de lui. Nouvelle surprise en 1953. Des analyses plus poussées, dont une datation au carbone 14, démontrent l'impensable : le crâne ne date que d'une poignée de siècles et la mâchoire est celle... d'un orang-outan guère plus ancien, dont les dents ont été limées pour imiter l'usure de celles d'un homme. C'est une supercherie ! Quant aux restes des autres animaux, ils ont été vieillis par un traitement chimique. Comme les outils de silex, dont la patine ferrugineuse est artificielle. L'homme de Piltdown, cité par plusieurs centaines d'articles scientifiques, n'était qu'un habile canular... devenu la plus fameuse supercherie de l'histoire de la science.

De qui ? Pourquoi ? Charles Dawson, naturellement suspecté mais mort d'une septicémie en août 1916, a emporté ses secrets avec lui. Cent ans plus tard, le mystère n'est toujours pas levé.



Le crâne et la mâchoire de l'homme de Piltdown auraient été découverts par Charles Dawson (ci-dessus à g.) dans cette gravière du Sussex... Seule une datation au carbone 14 a permis de révéler en 1953 toute l'étendue de l'escroquerie, relayée malgré elle par la Société de géologie de Londres.

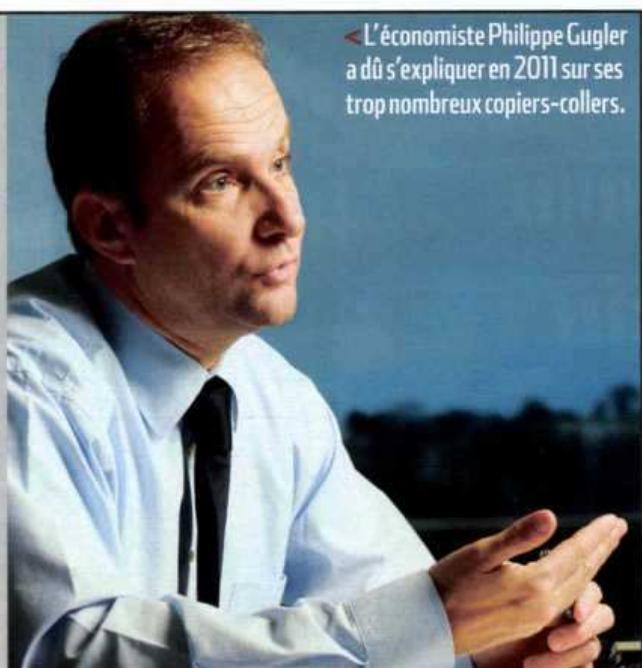
TRICHERIES LES TYPES DE FRAUDE SONT BIEN CONNUS

Plagiat, falsification, production de fausses données : la tentation est grande et n'épargne pas les sommets les plus feutrés. En jeu : postes et financements. Retour sur les trois plus grandes formes de tricheries.

ILS ONT PLAGIÉ DES CONFRÈRES

Si le copier-coller est une pratique de plus en plus répandue chez les étudiants pour rédiger rapidement un exposé ou un petit mémoire, elle ne saurait être tolérée pour écrire un véritable travail de recherche censé être original. D'abord parce qu'elle accorde au scientifique peu scrupuleux des avantages indus (promotion, financements...), au détriment de la personne dont la production a été pillée. Ensuite parce qu'en masquant le processus à l'origine des résultats ou

des concepts publiés, elle ne permet pas au lecteur d'évaluer correctement leur valeur. Mais le plagiat n'est pas l'apanage des débutants : professeur d'économie et vice-recteur de l'université de Fribourg (Suisse), Philippe Gugler a dû s'expliquer, en 2011, sur les nombreux copiers-collers identifiés dans ses écrits. L'un de ceux-ci, présenté en 2007, reprenait mot pour mot de larges extraits d'un rapport de l'Organisation mondiale du commerce publié en 1996.



◀ L'économiste Philippe Gugler a dû s'expliquer en 2011 sur ses trop nombreux copiers-collers.

C.RAPPO/ARKIVE.CH - T.LARU/REDUX-RÉA - EVAN DER BURG/THH-RÉA

ET AUSSI...

MASQUER LES CONFLITS D'INTÉRÊT

Un expert qui évalue la toxicité d'un produit ne peut prétendre à l'objectivité s'il est financé par le fabricant dudit produit. Comme ce fut

le cas durant des années des études commandées par les cigarettiers.

TRAFIGUER LES SIGNATURES

Ajouter, par amitié, diplomatie ou intérêt, aux signatures

d'un article celle d'un chercheur n'y ayant pas participé, ou le faire rédiger par une petite main anonyme, fausse l'évaluation des scientifiques dont dépendent promotions et financements.

TRAHIR LA CONFIDENTIALITÉ

Avant d'être publié dans une revue, un article scientifique est relu par des experts qui évaluent sa rigueur et sa pertinence. La

ILS ONT FALSIFIÉ DES RÉSULTATS

Distordre des données pour qu'elles collent à l'hypothèse est un procédé aussi vieux que la science. Du simple rejet d'une mesure trop excentrique au maquillage systématique de résultats, en passant par le trucage des cahiers de laboratoires recensant, au jour le jour, l'avancée des recherches, la falsification est l'un des péchés majeurs qui entachent les pratiques scientifiques. Malheur à qui est démasqué. Ainsi, le professeur sud-coréen Hwang Woo-suk, qui avait affirmé en mars 2004 avoir cloné le pre-

mier humain, paraissait en 2005 nobélisable pour sa production de cellules souches embryonnaires prétendument obtenues à partir d'un embryon humain cloné. Un de ses collaborateurs a hélas avoué que ces cellules provenaient d'une classique fécondation *in vitro*, le clonage n'ayant manifestement jamais abouti. L'enquête montrera que les données "attestant" la possibilité du clonage humain avaient été falsifiées, les embryons ayant été obtenus par parthénogénèse spontanée d'un ovocyte.



▲ Il prétendait avoir cloné le premier humain, mais Hwang Woo-suk a été condamné pour falsification en 2009.

ILS ONT PRODUIT DE FAUSSES DONNÉES

La production de fausses données fait partie des trois formes de triche unanimement condamnées par la communauté scientifique. Quelques affaires très médiatisées montrent que la supercherie de l'homme de Piltdown n'est pas restée, loin s'en faut, un cas isolé. Un psychologue réputé de l'université de Tilburg, aux Pays-Bas, a ainsi jusqu'en 2011 épataé ses confrères par sa capacité à démontrer scientifiquement toutes ses intuitions. Et pour cause : au lieu

de s'embarrasser à interroger de vastes échantillons d'individus, Diederik Stapel remplissait lui-même les questionnaires. L'ampleur de la supercherie, décrite en octobre 2011 par un comité d'enquête formé à la suite d'alertes lancées par trois jeunes chercheurs de son propre département, a abasourdi les enquêteurs. De nombreux travaux indépendants qui utilisaient ses données, dont certains publiés dans de prestigieuses revues, vont devoir être réexaminés.



▲ Pour valider ses intuitions, le psychologue Diederik Stapel a choisi de remplir lui-même ses questionnaires.

tentation peut alors être grande de retenir ces travaux, d'en utiliser ou d'en communiquer une partie. Ce qui peut aussi se produire en amont, lors de l'étude d'une demande de subvention.

CACHER DE NOUVELLES DONNÉES CONTRADICTOIRES

Des mois plus tard, une étude peut être remise en question par de nouveaux résultats... que l'auteur rechignera à divulguer.

ET POURTANT...

On le sait aujourd'hui : les proportions relevées par Gregor Mendel, à l'appui de ses théories révolutionnaires sur les bases génétiques de l'hérédité, étaient trop parfaites pour être réelles. Et le grand Claude Bernard sélectionna ses données et les ajusta pour qu'elles collent à ses hypothèses. Ainsi, frauder ce n'est pas nécessairement avoir tort... Mais il s'agit là d'exceptions.

CHERCHEURS DE PLUS EN PLUS DE CAS DE SUSPICION

Collusion, prête-noms, explosion du nombre d'articles douteux : la production du savoir scientifique est rongée à la racine. Dans une quasi-impunité.

Les scientifiques sont-ils nombreux à tricher ? Pas facile de le savoir. D'abord, comme le fait remarquer un rapport publié en octobre 2009 pour le Comité canadien de l'intégrité de la recherche, parce que rien n'incite les établissements de recherche à communiquer les cas détectés. Ensuite, parce que les chercheurs eux-mêmes préfèrent garder le silence. Pour préserver leur propre réputation, s'épargner de lourdes procédures, parce qu'ils ne veulent pas nuire à un confrère ou craignent des représailles. Les cas officiellement déclarés restent donc rares : aux Etats-Unis, une moyenne de 24 enquêtes est menée chaque année par l'Office of Research Integrity (ORI), et un tricheur pour 10 000 à 100 000 scientifiques (selon les décomptes) est officiellement confondu par les autorités. On aimeraient croire que cela ne va pas plus loin. Sauf que d'autres types d'enquêtes déclaratives donnent des chiffres plus importants, laissant supposer que les quelques cas reconnus ne sont que la partie émergée d'un bien plus vaste iceberg. Une étude menée en 2006 par l'ORI révèle ainsi que sur un échantillon de 2 212 chercheurs du département de la santé, 9 % d'entre eux ont observé dans leur propre département au cours des trois

années précédentes des cas de fabrication de fausses données, de falsification ou de plagiat (trois comportements unanimement condamnés par toute la communauté, voir pages précédentes). Et lorsqu'on interroge, anonymement, les scientifiques sur leurs propres pratiques, les enquêtes donnent des résultats du même ordre (voir ci-contre).

UN VÉRITABLE "TRAfic MONDIAL"

Autre indicateur : le nombre d'articles publiés dans les revues scientifiques, puis retirés après examen plus attentif des résultats. Selon une enquête parue pendant l'été 2011 dans le *Wall Street Journal* à partir des chiffres fournis par l'éditeur canadien Thomson Reuters, ce chiffre est en hausse constante dans toutes les disciplines, et particulièrement en médecine (voir infographie ci-contre). La médecine qui, par ailleurs, semble particulièrement concernée par l'abondance d'auteurs "honorifiques", influents professeurs dont les noms sont ajoutés à la liste des auteurs d'un article pour lui donner plus de crédit, sans que ces personnes aient réellement participé à l'étude : près de 20 % des publications useraient de ce stratagème...

Certains laboratoires pharmaceutiques proposent aussi de "libérer" les

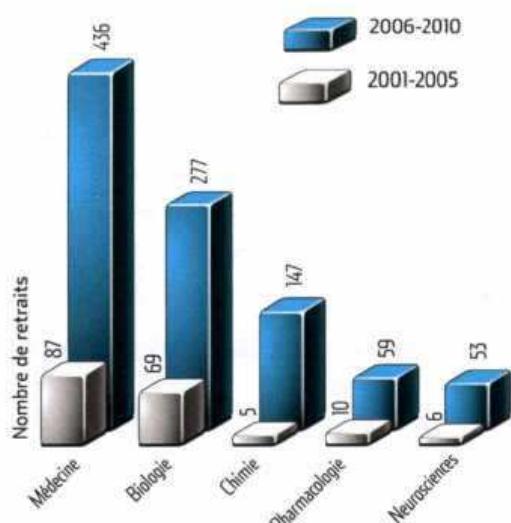
chercheurs les plus en vue du travail fastidieux d'écriture. "Dans le monde de la recherche clinique, les investigateurs se voient de plus en plus souvent proposer le service d'une assistance à l'écriture, que ce soit pour des études originales ou des revues générales. Les firmes pharmaceutiques peuvent également offrir les services d'un écrivain professionnel pour écrire des articles", décrit sans fard J.-P. Sculier, du service des soins intensifs et oncologie de l'Institut Jules-Bordet (1). Il n'hésite pas à parler de trafic mondial de la publication médicale, "avec nombre de faux auteurs s'offrant des nègres pour faire le travail et donc améliorer leur curriculum scientifique, ou prêtant leur nom (moyennant éventuellement des avantages pécuniaires et matériels) à des travaux écrits pour des intérêts particuliers, commerciaux ou autres".

Or, la dénonciation par les pairs semble avoir des limites : selon une vaste enquête menée il y a deux ans, moins de 30 % des chercheurs ayant affirmé être intervenus pour signaler un cas d'inconduite scientifique détecté dans leur entourage reconnaissent que leur action a permis de corriger le problème. Chercheurs, éditeurs, laboratoires, pouvoirs publics, c'est à la communauté, dans son ensemble, de se mobiliser. Pour lutter contre un mal qui ronge le système de production du savoir scientifique à la racine.

(1) "Les publications médicales : vrais ou faux auteurs ?" de J.-P. Sculier, dans la *Revue Médicale de Bruxelles*, 2009.

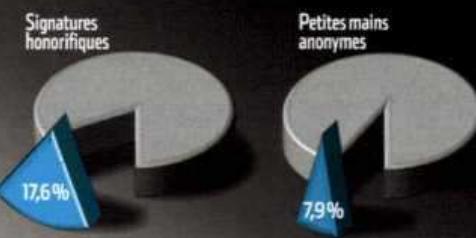
Le nombre d'articles retirés explode...

Le nombre d'articles publiés puis retirés après réexamen des données augmente spectaculairement. Il a été globalement cinq fois plus important en 2006-2011 qu'en 2001-2005. Ce phénomène touche particulièrement la biologie et la médecine, avec des conséquences parfois dramatiques lorsqu'il s'agit d'études ayant exagéré l'effet thérapeutique d'un traitement ou, au contraire, minimisé sa toxicité.



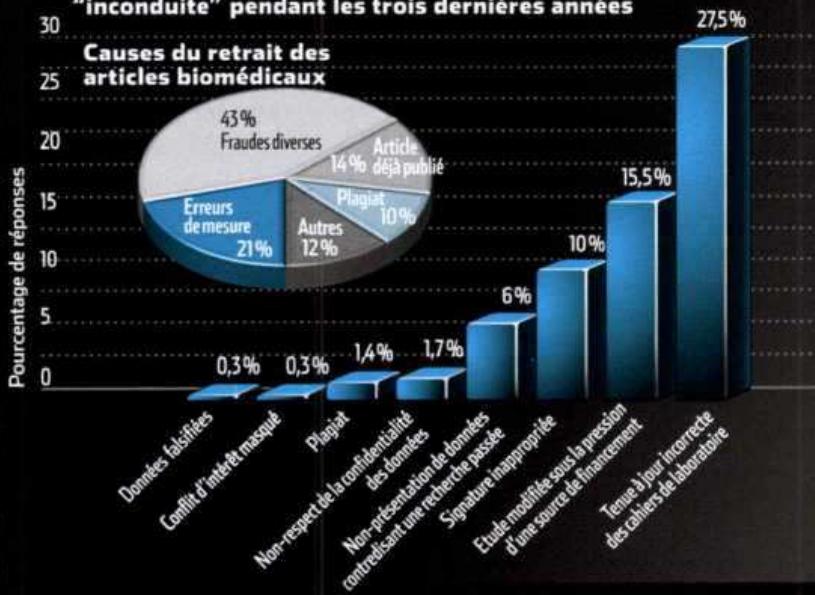
... les prête-noms se multiplient...

L'étude de 630 articles publiés en 2008 dans 6 prestigieuses revues médicales (*Ann. Intern. Med.*, *Nature Med.*, *Lancet...*) révèle que 17,6 % d'entre eux font apparaître la signature purement honorifique d'un chercheur. Et, inversement, que 7,9 % ont été en partie réalisés par des "petites mains" anonymes. Au total, près de 21 % des publications comportent au moins un auteur inapproprié. Une pratique favorisée par l'absence de sanctions.



SOURCE : HONORARY AND GHOST AUTHORSHIP IN HIGH IMPACT BIOMEDICAL JOURNALS : A CROSS SECTIONAL SURVEY, BMJ 2011.

Pourcentage de scientifiques reconnaissant une "inconduite" pendant les trois dernières années



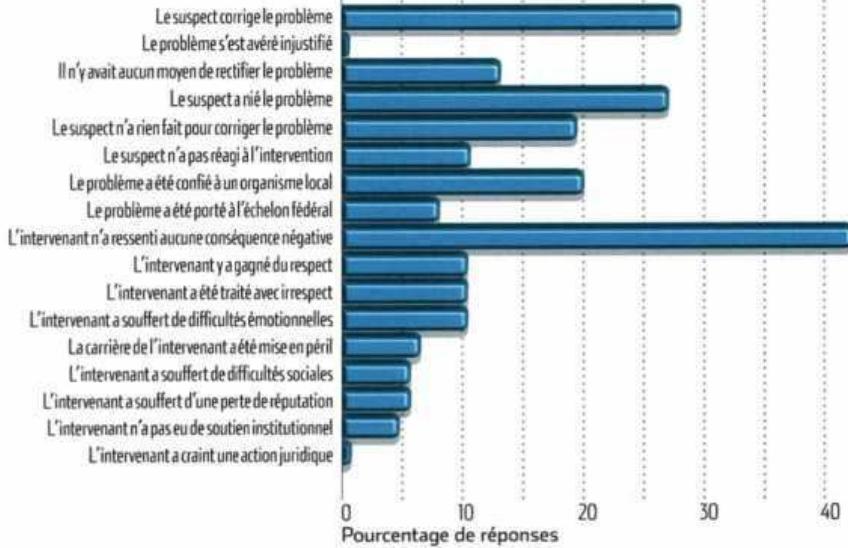
... et les chercheurs avouent de nombreuses fraudes...

Interrogés sur leurs pratiques scientifiques, plusieurs milliers de chercheurs américains avouent, pour 1,7 % d'entre eux, avoir commis dans les trois années précédant l'étude une fraude majeure (falsification de données ou plagiat). Près d'un tiers reconnaît au moins un acte d'inconduite scientifique au sens large (conflict d'intérêt masqué, acquisition de nouvelles données contredisant un travail déjà publié). Globalement, ceux dont la carrière est la plus avancée avouent davantage d'inconduites que les plus jeunes. Est-ce parce que leur déontologie s'est "assouplie" avec le temps, ou parce qu'ils sont devenus plus enclins à... reconnaître leurs faiblesses ?

... trop rarement sanctionnées

Une étude publiée en 2010 ("Peers nip misconduct in the bud", *Nature*, 22 juillet 2010) montre que sur 1386 scientifiques américains qui, dans un questionnaire anonyme, ont affirmé être intervenus pour signaler un cas d'inconduite scientifique dans leur entourage, moins de 30 % constatent que leur action a permis de corriger réellement le problème. Dans plus d'un quart des cas, le suspect a nié. Pour les autres, dans 20 % des cas, ils n'ont rien fait pour la corriger. Pour autant, les scientifiques interrogés ne regrettent pas, en majorité, leur action, même si 10 % ont subi des comportements irrespectueux à leur égard ; voire des entraves à leur carrière ou des atteintes à leur réputation dans une proportion similaire dans plus de 5 % des cas.

Selon les chercheurs, moins de 30 % des inconduites signalées ont été corrigées



LUTTE C'EST LA CRÉDIBILITÉ DE LA SCIENCE QUI EST EN JEU

La riposte s'organise. Contrôles, sanctions, code de bonne conduite... Mais encore ? Il faut repenser une science gangrenée par la culture du résultat.

Il aurait pu ne jamais se faire prendre. Mais Hendrick Schön a voulu trop en faire, trop vite. Recruté en 1998 par les prestigieux laboratoires Bell, dans le New Jersey, pour terminer sa thèse de physique, il avait, en 2001, déjà publié plus de 70 articles ! Des rumeurs commencent à circuler sur le contenu réel de cette production exceptionnelle en 2002. Une de ses courbes, en particulier, intriguaient. Publiée en octobre 2001 dans un article de *Nature* consacré à la conception d'une puce constituée d'une couche unique de molécules, elle ressemblait furieusement à une autre, publiée huit mois plus tôt, dans un de ses articles pour *Science*... qui n'avait rien à voir. Sommé par une commission d'enquête de fournir les données à l'origine de cette courbe, Hendrick Schön brouilla les avoir effacées par accident. Les enquêteurs se rendirent vite à l'évidence : la courbe avait été inventée de toutes pièces ! Ils parvinrent ensuite à démontrer qu'au moins 16 autres articles étaient frauduleux. Et la réputation du jeune prodige en fut brisée.

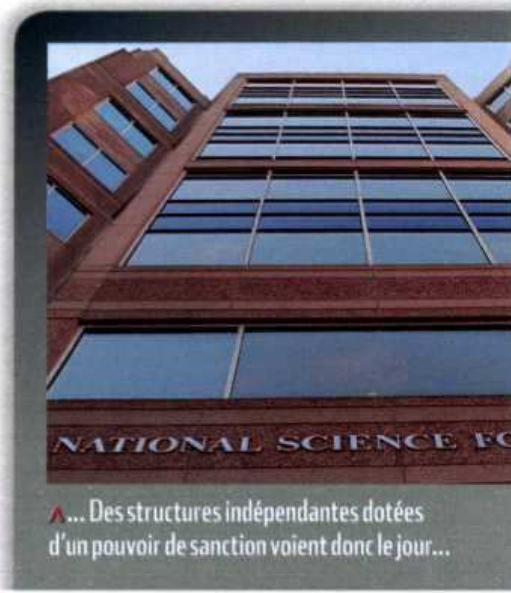
Pour un tricheur démasqué, nombreux sont ceux qui passent entre les mailles du filet, construisant leur carrière au prix de petits arrangements avec les chiffres. La communauté scientifique s'en inquiète, consciente de leur

effet désastreux sur la confiance du public. Mais s'il en va de la crédibilité de la science, il va surtout de son efficacité. Car la réalité des faits finit tôt ou tard par s'imposer. Un audit de routine effectué par la Food and Drug Administration américaine sur des essais cliniques publiés entre 1977 et 1990 a ainsi révélé que 10 à 20 % présentaient des déficiences, entraînant la condamnation de 2 % des investigateurs pour faute grave. Combien de malades ont fait les frais de ces essais truqués ?

UN IMPÉRATIF DE PRODUCTIVITÉ

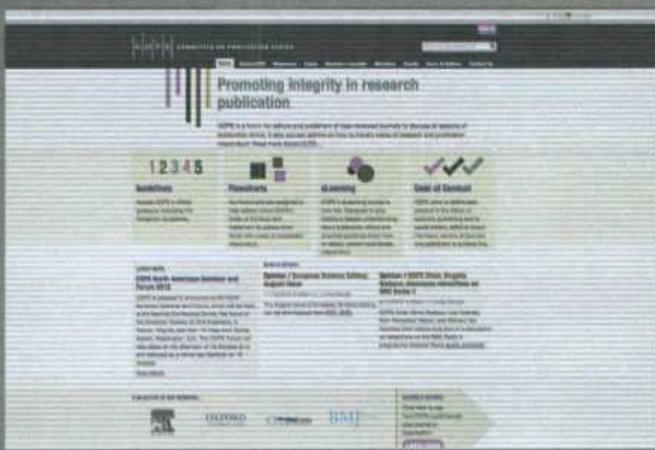
Comment redresser la barre ? Sans doute faut-il s'attaquer à la source du problème : la pression énorme qui pèse aujourd'hui sur un jeune chercheur. « *La concurrence entre les scientifiques et l'importance croissante que revêtent les dossiers de publication et les taux de citation pour l'avancement professionnel ont intensifié le stress touchant le milieu de la recherche, qui se manifeste notamment par l'érosion de la collégialité* », constate un rapport publié en 2011 pour le Comité canadien de l'intégrité de la recherche. Les administrateurs des universités, dans les années 1980, ont commencé à mesurer la productivité de leurs chercheurs à travers leur nombre d'articles publiés,

et à distribuer les crédits en fonction de cet indicateur prétendument « objectif ». Résultat ? *« La nature de la publication scientifique a changé complètement : publications multiples pour un travail donné, articles multi-auteurs, thèses réduites à une succession d'articles publiables séparément »*, décrit Anne Fagot-Largeault, professeur honoraire de philosophie des sciences au Collège de France (*Petites et grandes fraudes scientifiques, le poids de la compétition*, 2011). En vingt ans, le nombre d'articles publiés a plus que doublé tant l'incitation se fait insistante. « Publish or perish » (publie ou péris) : l'adage n'a jamais été aussi vrai. La philosophe soulignant au passage la profonde injustice d'un milieu qui forme chaque année plus de chercheurs qu'il n'y a de places disponibles : « *La ra-* →

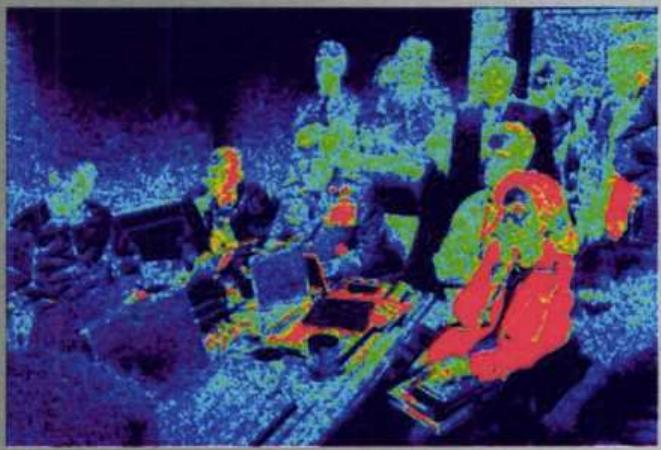




▲ Coupable de falsification dans ses travaux sur le clonage humain, le Sud-Coréen Hwang Woo-suk a été arrêté en 2005, mais ce type de poursuites reste l'exception...



▲ ... Des revues biomédicales s'unissent (ici, au sein du Committee on Publication Ethics) pour définir des normes et encadrer les retraits...



▲ ... Tandis que de nouveaux logiciels (comme Tungstène) permettent déjà de déceler les falsifications d'images.

→ *reté des postes permet de recruter à faible coût une main-d'œuvre de qualité soumise à une sélection sévère et de n'assurer une situation stable, après des années de précarité, qu'à une minorité.*" Cette pression est d'ailleurs invoquée par les fraudeurs eux-mêmes, lorsqu'ils essaient d'expliquer leur inconduite. Mais imposer des changements dans l'évaluation, le recrutement et la promotion des scientifiques au niveau mondial paraît difficile.

Les institutions et les organismes de recherche s'attachent plutôt, en aval, à mettre sur pied un système de sanctions efficace : la certitude d'être sanctionné, si l'on est démasqué, reste, de l'aveu de tous, l'un des freins les plus puissants. Les Etats-Unis ont été les premiers à établir des lois réprimant explicitement l'inconduite scientifique (le Health Research Extension Act de 1985). Des structures indépendantes ont vu le jour, comme le National Science Foundation Office of Inspector General, en 1989, ou l'Office of Research Integrity, en 1992, qui ont un pouvoir d'enquête et de sanction pour les cas suspectés de fraude commise dans le cadre d'une recherche financée par des fonds fédéraux. Et l'Europe suit... en ordre dispersé. Le Danemark s'est doté d'un comité chargé de combattre la triche. Ses voisins scandinaves ont fait de même. L'Allemagne, à la suite d'une des plus grosses affaires

de fraude scientifique de son histoire, commise par Friedhelm Hermann et Marion Brach, du Centre de médecine moléculaire Max-Delbrück – qui ont fabriqué de toutes pièces les données de plus de 11 articles publiés entre 1991 et 1999 –, a élaboré des directives fixant la marche à suivre aux chercheurs soupçonnant une inconduite. Tout comme le Royaume-Uni et l'Australie. Et la France ? Elle prend timidement ses premières mesures pour définir, à travers le CNRS et l'Inserm, l'embryon d'une politique nationale en la matière.

ÉDITEURS ET REVUES S'ORGANISENT

De leur côté, les revues préparent leur riposte. La communauté scientifique a longtemps été convaincue que la relecture attentive, avant publication, de chaque article par un panel d'experts anonymes, les "referrees", garantissait l'intégrité du système. Une illusion qui semble aujourd'hui avoir volé en éclats. On évoque au contraire l'impossibilité pour ces experts de suivre correctement l'avalanche d'articles publiés continuellement dans chaque discipline. Mais de nombreuses revues refusent cette fatalité. Des publications biomédicales britanniques ont ainsi constitué le Committee on Publication Ethics pour définir des normes communes, rejoints par plusieurs milliers de revues internationales. Les chercheurs qui intègrent un comité éditorial pour

selectionner les articles proposés par leurs confrères y trouvent des conseils éthiques sur leur relation avec la revue, les auteurs, les *referrees* chargés de les relire ; ainsi que des critères détaillés pour savoir si, et comment, un article doit être retiré ; des recommandations sur les liens avec les institutions scientifiques ; des suggestions pour résoudre les conflits entre auteurs.

L'initiative Crosscheck s'efforce quant à elle de traquer doublons et plagiats à partir d'une banque commune d'articles et manuscrits partagée par des dizaines d'éditeurs scientifiques, les textes passant à la moulinette d'un logiciel capable d'identifier les copiers-collers. Le *Journal of Cell Biology* vérifie systématiquement l'intégrité des images numérisées incluses dans les articles qu'on lui soumet. Une politique aujourd'hui reprise par la revue *Science*, et qui devrait rapidement se généraliser avec la mise au point de logiciels spécialisés dans la détection des retouches des images numériques (voir S&V n° 1136, p. 84). On le voit, le milieu scientifique commence à s'organiser afin de s'assurer de la qualité de ses productions, tant la triche ne semble plus être le fait de quelques brebis égarées mais une tentation pour n'importe quel chercheur soumis à l'obligation de résultats. Cent ans après la supercherie de l'homme de Piltdown, la leçon commence à être comprise. ■

DANS SCIENCE & VIE

A tout seigneur, tout honneur, le premier cas de fraude scientifique évoqué dans nos colonnes fut celui dont on se remémore aujourd'hui le centenaire : "L'homme de Piltdown n'est plus" annonçait le journal à ses lecteurs en 1954, après qu'une nouvelle mesure des teneurs en fluor du fameux crâne anglais a confirmé les doutes déjà émis en 1949. Une affaire qui a "quelque

droit à être considérée comme une des plus grandes escroqueries du siècle". Sujet sensible pour un journal qui fonde ses articles sur des faits scientifiques censés être établis, la fraude n'a longtemps été évoquée qu'à travers des affaires ponctuelles (datations suspectes de dessins rupestres, manipulations de résultat génétique...). Le sujet est abordé de face en novembre 2008,



après une longue enquête dans les coulisses des laboratoires, afin de prendre la mesure d'un phénomène de plus en plus préoccupant.

Frédéric Dardel, ancien directeur des sciences de la vie au CNRS, s'y étonne de "l'extrême naïveté" des fraudeurs : "Le seul moyen pour qu'une fraude puisse passer inaperçue serait de publier dans un journal de troisième zone que personne ne lit... mais dans ce cas, l'intérêt de la fraude devient absolument nul !" Force est pourtant de constater que cela n'arrête pas les tricheurs. H.P.

EN PRATIQUE

128**BON À SAVOIR**

En direct des publications scientifiques et autres rapports et études...

130**ZOOM DU MOIS**

Beaux livres de science : faites votre choix !

**138****QUESTIONS/RÉPONSES**

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

**144****TECHNOFOLIES**

Spécial cadeaux high-tech

La caméra téléguidée qui filme sous l'eau... et les dernières innovations

**152****LE CIEL DU MOIS**



EN PRATIQUE

BON À SAVOIR

LES SÉANCES D'UV SONT BIEN NÉFASTES

Les séances d'UV favorisent la survenue de cancers de la peau: c'est ce que confirme la métanalyse de 12 études sur plus de 80 000 adeptes des cabines de bronzage. L'exposition avant l'âge de 25 ans est particulièrement risquée.

"BMJ", oct. 2012



UN DÉLAI ACCORDÉ AU BISPHÉNOL A

Initialement prévue pour janvier 2014, l'interdiction du bisphénol A dans les contenants alimentaires a été repoussée au 1^{er} janvier 2015 – elle reste fixée au 1^{er} janvier 2013 pour les biberons. D'ici là, le signalement du composé sur les emballages alimentaires sera obligatoire.

"Sénat", oct. 2012

QUI A TOUTES SES DENTS GARDERAIT TOUTE SA TÊTE

Des chercheurs suédois ont constaté que, chez des individus de 77 ans et plus, ceux ayant conservé leur capacité de mastication intacte ont moins de troubles cognitifs.

"J. Am. Ger. Soc.", oct. 2012

LES MAUVAISES NOUVELLES AFFECTENT PLUS LES FEMMES

Une mauvaise nouvelle s'étale dans les journaux: pas de quoi influencer votre quotidien... Pas si sûr, surtout pour les femmes! Des chercheurs canadiens ont montré qu'elles sont plus sensibles au stress après avoir lu des informations négatives. Le taux de cortisol, hormone du stress, a été mesuré chez 30 femmes et 30 hommes répartis en deux groupes, à qui l'on a fait lire des articles soit neutres, soit négatifs. Après une situation de stress provoquée quelques minutes plus tard, le taux de cortisol des femmes du second groupe a décollé. Est-ce lié à une plus grande empathie facilitant la réactivité au stress? Les causes restent à trouver. "PloS One", oct. 2012

LES BILANS DE SANTÉ NE SERVIRAIENT À RIEN

Les check-up ne réduisent pas le risque de décès par maladie cardio-vasculaire ou cancer: telle est la conclusion d'une équipe danoise après l'analyse de 16 études portant sur ces bilans de santé et concernant près de 183 000 patients. L'une des raisons étant que les médecins traitants assurent déjà un travail de dépistage au quotidien. Par ailleurs, des check-up systématiques risquent de provoquer des traitements inutiles. Une étude qui paraît en plein débat sur l'intérêt des dépistages systématiques, comme celui du cancer du sein (voir p. 48). "CDSR", oct. 2012





CEUX QUI ONT DES RESPONSABILITÉS STRESSENT MOINS

Assaillis de demandes, pressés de prendre de graves décisions, les plus hauts dirigeants éprouvent pourtant moins de stress que les autres. En cause: leur sentiment de contrôle, qui atténue les signaux néfastes. C'est la conclusion de psychologues de Harvard, qui ont rassemblé un panel de haut vol, dont des officiers militaires et des membres du gouvernement américain. Les mesures du taux de cortisol, hormone du stress, sont claires: les signes de stress diminuent à mesure que l'on s'élève dans la hiérarchie et que le nombre de subordonnés augmente. "PNAS", sept. 2012

BOUGER FAIT DU BIEN AUX HYPERACTIFS

On s'en doutait un peu, mais une équipe américaine a démontré que les adolescents hyperactifs se concentrent mieux sur leurs devoirs après vingt minutes de marche rapide. Un résultat à méditer pour les 500 000 enfants français possiblement concernés... "J. Peds", oct. 2012

MANGER DES TOMATES RÉDUIT LE RISQUE D'AVC

Une teneur élevée dans le sang de lycopène, un pigment rouge antioxydant surtout présent dans la tomate, réduit le risque d'AVC de 55 %. C'est la conclusion d'une étude finlandaise effectuée sur des hommes de 46 à 65 ans pendant douze ans. "Neurology", oct. 2012

RAPPELS DE PRODUITS: ILS SONT TOUS EN LIGNE

Pour savoir si les objets que vous avez achetés en voyage ont depuis été retirés du marché, consultez "le portail mondial des rappels de produits": créé par l'UE et plusieurs pays de l'OCDE, ce site permet de sécuriser ses achats dans le monde entier. "<http://globalrecalls.oecd.org/>"

LAISSER UN BÉBÉ S'ENDORMIR SEUL NE LUI NUIT PAS

Une étude australienne, menée sur 326 enfants de 7 mois ayant des problèmes de sommeil, montre que les méthodes employées pour apprendre à un bébé à s'endormir seul n'ont pas d'impact à long terme. Elles consistent à augmenter peu à peu le temps de réponse aux pleurs du bébé, ou à s'éloigner jour après jour lorsqu'on reste près de lui pendant qu'il s'endort. A 6 ans, il n'y a pas de différence entre les enfants qu'on a aidés à s'endormir et les autres. "Pediatrics", oct. 2012





EN PRATIQUE

ZOOM DU MOIS

Par l'ensemble de la rédaction

Beaux livres de science

Faites votre choix !

Les codex mayas somptueusement mis en page, des corps en papier mâché, des insectes comme vous ne les avez jamais vus... Pour Noël, les beaux livres de science, entre intelligence du propos et images bluffantes, sont une nouvelle fois au rendez-vous. Voici notre sélection.



"ORIGINE(S) : LES FORÊTS PRIMAIRES DANS LE MONDE"



- Régine Rosenthal
- Privat; 144 p.
- env. 29,50€

Tout le monde s'est, un jour ou l'autre, promené en forêt. Mais qui a jamais pénétré dans une "vraie" forêt ? Ce lieu foisonnant et authentique, où les arbres peuvent mourir de vieillesse à un âge canonique (plusieurs siècles, voire des millénaires), et qui demeure fermé à l'homme. Les forêts vierges, appelées forêts primaires, sont devenues rares. La photographe française Régine Rosenthal a parcouru la planète à leur rencontre en évitant, heureuse surprise, de s'attarder sur la jungle amazonienne. Car les forêts sauvages se

trouvent aussi bien dans les régions tropicales que boréales ou tempérées. Encore faut-il qu'elles aient échappé aux bulldozers, aux incendies ou au pâturage ! Si la présentation de l'éditeur se montre inutilement pompeuse, les textes, servis par des universitaires, sont toujours passionnants. Et l'on se surprend à découvrir que certaines forêts s'ensauvagent, à l'image de celle de La Teste-de-Buch (Gironde), juste derrière la grande dune du Pilat. Un ouvrage qui se laisse explorer sans machette ni coupe-coupe. V.N.

"INFORMATION GRAPHICS"

- Sandra Rendgen
- Taschen; 480 p.
- env. 50€



Pas moins de 3,9 kg d'intelligence graphique au service d'un principe : "Voir, c'est comprendre." L'ouvrage est somptueux, mais pas seulement : il démontre la capacité du "graphic art" à rendre intelligibles des données si complexes que les décrire ne suffit pas. 600 planches grand format offrent des représentations saisissantes

sur des thèmes scientifiques (par exemple, visualiser les relations entre toutes les disciplines...), artistiques, économiques, techniques, politiques... Le tout est précédé de trois essais sur l'histoire de l'infographie et son rôle incontournable dans un monde submergé de données. On y trouve des chefs-d'œuvre du "data



journalism" et des créations utilisant des données dans un but purement esthétique. Les images ont été sélectionnées par une historienne de l'art, un fondateur des conférences TED (sur la diffusion des idées), un journaliste du *Guardian* et un scientifique spécialiste de la représentation des données. Au final, chaque page se révèle une bonne surprise.

P.C.

"ÉVOLUTION L'HISTOIRE DE L'HOMME"

- Alice Roberts
- Delachaux et Niestlé; 255 p.
- env. 30€

A quoi ressemblait notre arrière-grand-cousin qui vivait au fin fond de l'Afrique il y a 7 millions d'années ? Peut-être à la reconstitution qu'en propose en gros plan ce livre, qui a aussi le mérite de raconter visuellement le travail des scientifiques et les grandes découvertes. P.C.

"LÉONARD DE VINCI ET LES SECRETS DU CODEX ATLANTICUS"

- Marco Navoni
- National Geographic; 210 p.
- env. 43€

Voici une sélection des 100 plus beaux dessins, gravures ou plans réalisés par Léonard de Vinci entre 1482 et 1519. On plonge dans le secret des machines qu'il a inventées, et pour certaines construites : une rôtissoire automatique, une fronde géante, le descriptif d'un homme volant... La finesse du trait est rendue

avec fidélité par la qualité des reproductions en grand format. Ces dessins sont issus d'une série de 1119 feuillets restés confidentiels jusqu'en 2009, conservés à Milan dans 18 volumes reliés, fragiles et pratiquement impossibles à consulter. Des experts ont réussi à les extraire, et nous en livrent ici un sublime échantillon. M.V.

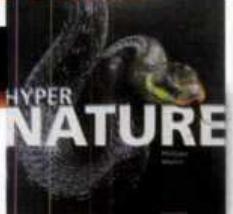




EN PRATIQUE ZOOM DU MOIS

"HYPER NATURE"

- Philippe Martin
- Biotope; 228 p.
- env. 35€



Inutile de disposer d'un microscope électronique pour obtenir des images saisissantes de la nature. C'est ce que prouve cette galerie de portraits d'insectes et de plantes, réalisés à l'aide d'un appareil photo et de logiciels de traitement d'images. Les textures, les couleurs, la précision des détails n'ont probablement jamais atteint ce niveau en photographie naturaliste. A la fin du livre, un chapitre lève le voile sur la technique, baptisée "hyperfocus", qu'a employée le photographe pour ces plans très rapprochés. Les images sont obtenues via le "mélange" de dizaines de clichés d'un même sujet, afin d'obtenir une incroyable profondeur de champ. Avis aux amateurs de macro... B.B.

"LES ÂGES DE LA VIE MYTHES, ARTS, SCIENCES"

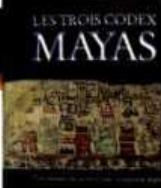
- Axel Kahn, Yvan Brohard
- La Martinière; 240 p.
- env. 39 €



Les regards d'un historien ethnologue et d'un biologiste se côtoient ici pour nous conter le temps de l'homme, de l'enfance à la mort. Réflexions sur la génétique, la peinture, les traditions qui marquent les âges... Ce livre se distingue surtout par le choix et l'excellente qualité des reproductions d'œuvres d'art, de toutes les époques et de tous les coins du monde. P.C.

"LES TROIS CODEX MAYAS"

- Eric Taladoire
- Balland; 240 p.
- env. 42€



Ils font partie de ces livres dont beaucoup parlent sans les avoir jamais vus : ce sont les trois derniers codex mayas, les seuls à avoir survécu aux intempéries et aux destructions... Jusqu'alors inaccessibles, ils viennent enfin d'être publiés, qui plus est dans un même ouvrage et *in extenso*. Ils sont accompagnés d'un texte les replaçant dans leur contexte, rédigé

par l'américaniste réputé Eric Taladoire, qui détaille également le fonctionnement de cette écriture complexe. Chaque codex a droit à sa présentation et à sa description ; suivent ensuite, sur fond noir, les pages des manuscrits. Une belle édition à laquelle ne manque qu'un déchiffrement complet – mais le résultat serait alors, il est vrai, très technique. E.R.



"L'HISTOIRE DE L'ASTRONOMIE"

► Paul Murdin
► Gründ; 124 p.
► env. 35€



Ne vous laissez pas arrêter par la banalité de la couverture. Cette énième histoire de l'astronomie recèle de véritables pépites. Au premier rang, les pochettes qui s'y dissimulent : autant de petites malles aux trésors

qui débordent de fac-similés et donnent l'illusion d'avoir dans les mains les originaux. En admirant les cratères lunaires griffonnés par Galilée, vous saisissez l'instant où la Terre devient une planète ; l'idée d'un système solaire

s'imposera à la vue d'un dessin de Kepler décoré d'étoiles à six branches ; etc. Même dans le corps du livre, l'auteur n'a pas cédé à la facilité, préférant les documents historiques aux époustouflantes images cosmiques. Le résultat est poétique. Le cosmos vu par les hommes... C'est bien de cela qu'il s'agit. M.F.

"HISTOIRES DE SQUELETTES"

► Jean-Baptiste de Panafieu
► Gallimard Jeunesse; 34 p.
► env. 25€



Cet ouvrage se parcourt en famille. Il s'agit d'une introduction ludique aux principes de la théorie de l'évolution, à travers la comparaison de 39 squelettes d'animaux, du narval au lapin de garenne, en

passant par l'okapi. Les mises en scène de ces squelettes, tour à tour drôles et émouvantes, sont

remarquablement bien photographiées et ponctuées par des devinettes, certaines assez retorses... Si le ton est léger, pour plaire aux grands enfants et aux jeunes ados (de 9 à 13 ans), le propos ne manquera pas d'intéresser aussi les adultes. E.A.



france
culture

RENDEZ-VOUS AVEC LES SCIENCES SUR FRANCE CULTURE

ACTUALITÉ SCIENTIFIQUE
MÉDECINE
HISTOIRE DES SCIENCES
GÉOGRAPHIE
ARCHÉOLOGIE

Du lundi au vendredi
de 14h à 15h



franceculture.fr

en partenariat avec

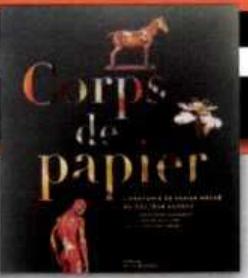
SCIENCE & VIE



Spécial Noël

"CORPS DE PAPIER : L'ANATOMIE EN PAPIER MÂCHÉ DU DOCTEUR AUZOUX"

- Christophe Degueurce
- La Martinière; 182 p.
- env. 39€



Cervelet, cœur, poumons, globes oculaires et autres organes ou vaisseaux photographiés en gros plan ? Si la redoutable épreuve de dissection de cadavres

humains a découragé bien des vocations médicales, l'écorcement n'a pas sa place dans cet ouvrage d'anatomie... en papier mâché. Le mérite en revient au médecin normand Louis

Thomas Jérôme Auzoux qui, en 1822, eut la bonne idée de concevoir de splendides macchabées en carton-pâte. Oui, vraiment : splendides. Vernis, coloriés, annotés et fourmillant de détails anatomiques ultra-précis, ces corps artificiels – et donc imputescibles – avaient fait sensation à l'époque dans les écoles de médecine. Non seulement pour des raisons pédagogiques mais aussi, raconte l'auteur, professeur à l'Ecole vétérinaire de

"LA NATURE VUE DE (TRÈS) PRÈS"



- Giles Sparrow
- Dunod; 320 p.
- env. 22€

Certes, ce n'est pas le premier livre déployant la magie des images obtenues grâce aux microscopes électroniques. Mais avouez qu'on ne se lasse pas de se balader dans le monde exotique de l'infiniment petit... Le plus étonnant étant finalement non pas tant de pouvoir observer virus et bactéries, invisibles à l'œil nu, que de redécouvrir sous un angle inédit tous ces animaux et plantes croisés au quotidien. Désormais, vous ne verrez plus le monde de la même façon... B.B.

Maisons-Alfort, parce que les étudiants maladroits ne risquaient plus de contracter, en cas de coupure, de graves infections au contact des cadavres infestés – la terrible “piqûre anatomique”. Ce livre fait aussi la part belle aux animaux de papier, écorchés par ce bon docteur Auzoux : cheval, gorille, ver à soie, escargot, scarabée, sangsue, perche de mer... Avec une mention spéciale pour le fabuleux mannequin du cheval et ses 127 morceaux amovibles, qui devait contribuer à la relance de l'élevage équin en France. Ames sensibles, ne pas s'abstenir!

V.N.

“ALCHIMIE, L’ART ROYAL”



- **Jörg Vollnagel**
- *Imprimerie nationale*; 260 p.
- env. 59€

Bien loin des rayons ésotériques bon marché, ce livre revient aux fondements de l'alchimie, rappelant son évolution, ses méthodes et objectifs – entre philosophie et science. Il s'appuie sur certains de ses manuscrits les plus mystérieux. Symboles et concepts y sont déployés au fil d'enluminures et de gravures complexes, tandis qu'une sélection de tableaux met en scène les alchimistes dans leur laboratoire. E.R.

“PARIS, LA VILLE À REMONTER LE TEMPS”

- **Didier Busson**
- *Flammarion*; 219 p.
- env. 35€

PARIS
La ville à remonter le temps
Didier Busson
Éditions Flammarion



Nous faire visiter Paris à travers les âges, des premières pierres de Lutèce à nos jours : c'est le défi relevé par l'auteur de ce livre, archéologue et historien, qui nous embarque pour un voyage passionnant dans les quartiers et les rues de la capitale. Au fil des pages sont dévoilés de vieux plans, des dessins, des photos et reconstitutions spectaculaires qui montrent comment l'architecture a évolué, en fonction du développement économique,

démographique et industriel. Par exemple, saviez-vous que Paris comptait 200 000 habitants au début du XIV^e siècle, ce qui en faisait la ville la plus peuplée d'Europe ? En bonus : une application de réalité augmentée ludique permet de scruter cinq monuments parisiens en 3D sur son écran d'ordinateur, en montrant simplement le livre devant une webcam. Anecdotique, certes, mais ces pop-up virtuels valent vraiment le coup d'œil. M.V.

D.MICHELI

Au jeu cruel de la manipulation...

« JEFFERY DEAVER EST UN MAÎTRE ! »

Harlan Coben



Vient de paraître



JEFFERY DEAVER
INSTINCT
DE SURVIE

Une enquête
de l'inspecteur McKenzie

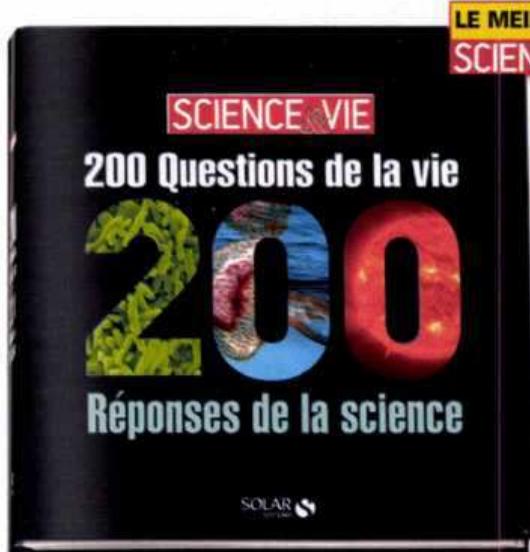


Découvrez
les premiers chapitres.

**JEFFERY
DEAVER**
DES CROIX
SUR LA ROUTE

UNE ENQUÊTE DE KATHRYN DANCE

www.les-deux-terres.com



LE MEILLEUR DE
SCIENCE&VIE

LE MEILLEUR DE
SCIENCE&VIE

SCIENCE&VIE

CERVEAU
CORPS
MÉMOIRE
SANTÉ

200 QUESTIONS DE LA VIE
RÉPONSES DE LA SCIENCE

Pour tout comprendre sur le quand, le comment et le pourquoi des choses.

Comment se forment les trous noirs ? Comment fabriquer du sang artificiel ? Pourquoi dit-on que l'homme serait condamné si les abeilles disparaissaient ?

À toutes ces questions, cet ouvrage donne des réponses claires, pédagogiques et complètes.

**200 Questions de la vie
et 200 réponses de la science - 24€**

Format 21 x 21 cm. 360 pages. Couverture cartonnée.
Coédition Science&Vie et Solar

LES INSOLITES DU MOIS

Essayez vite ces incroyables billes magnétiques...

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

Billes incroyables magnétiques Buckyballs®

125 billes aimantées, origine terres rares. Diamètre : 0,5 cm.
Finition nickel chrome.

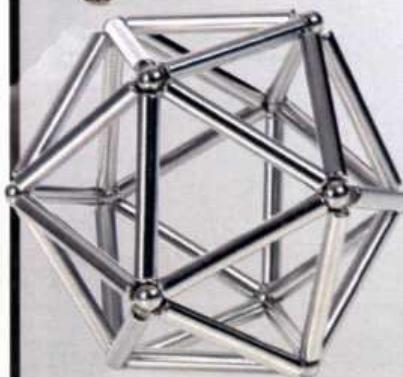
LA BOÎTE DE 125 BILLES
29,90
seulement

Buckyballs

Déstressant et ludique !



Vidéo explicative
sur notre site web !



Fan de figures géométriques ?

Icosaèdre, diamant, pyramide... Ces petites barres magnétiques, à combiner avec les billes Bucky Balls, sont idéales pour construire des formes géométriques originales.

Barres incroyables magnétiques Buckybars®

36 barres, origine terres rares. Longueur : 2,4 cm.
Diamètre : 0,5 cm. Finition nickel chrome.

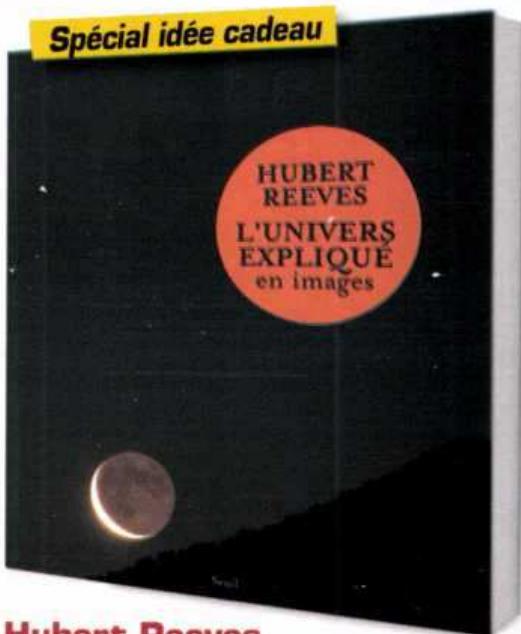
Buckybars

LA BOÎTE DE 36 BARRES
29,90
seulement

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

La boutique
SCIENCE & VIE
www.laboutiqueScienceetVie.com

Spécial idée cadeau



Hubert Reeves nous invite au voyage

De quoi sont faites les étoiles? Qu'est-ce qu'un trou noir? Dans ce très beau livre, découvrez un témoignage scientifique et spirituel par l'un des plus grands astrophysiciens de notre temps.

L'univers expliqué en images - 29€

Dim. 24,5 x 28,5 cm. 160 pages. Seuil.

89,50
seulement

FRAIS D'ENVOI
COLISSIMO 72H OFFERTS

**YES
WE
SCAN**



Visuels non contractuels

Tous vos négatifs, diapos et photos sur votre ordinateur!

Simple d'utilisation, cet accessoire hi-tech vous permet de sauvegarder vos négatifs, diapos et anciennes photos en les convertissant en images numériques. Doté d'une résolution de 5 millions de pixels, archivez des images de belle qualité.

Scanner Diapos Négatifs Photos Yes We Scan®

Résolution Scanner : 5M.Pixels jusqu'à 1800 dpi (et 3600 dpi par interpolation). Capteur Image : 5.1 mégapixels CMOS. Objectif : F/3.6, f= 4.83, Focus Range: 51.5mm(Macro) 171mm(Normal). Interface USB. Formats JPG. Contrôle exposition et balance couleur : Automatique. Source lumière 7X2 LED blanches, lumière noir (3 LED blanches). Alimentation : via USB. Manuel d'instructions. CD logiciel. Câble USB.

POUR COMMANDER ET S'INFORMER



www.laboutiquescienceetvie.com

Renvoyez le bon de commande avec votre règlement à
La Boutique SCIENCE & VIE - CS 30271 - 27 092 ÉVREUX CEDEX 9

01 46 48 48 83 (Paiement par CB uniquement)

BON DE COMMANDE

Articles	Réf.	Quantité	Prix	Sous-total
Quand? Comment? Pourquoi? Est-il vrai?	364.612	x	19 €	= €
200 questions de la vie. 200 réponses de la science	357.723	x	24 €	= €
Offre spéciale les 2 livres Questions-Réponses	366.039	x	40,85 €	= €
L'univers expliqué en images	366.047	x	29 €	= €
Scanner diapos négatifs photos	361.543	x	89,50 €	= €
Billes magnétiques Buckyballs	366.005	x	29,90 €	= €
Barres magnétiques Buckybars	366.013	x	29,90 €	= €
SOUS-TOTAL				€
FRAIS D'ENVOI (cocher la case de votre choix)				5,90 €
Frais d'envoi offerts dès 39 € de commande!				8,90 €
Ma commande atteint 39€ Envio Colisimo				GRATUIT
TOTAL				€

Offres valables en France métropolitaine uniquement dans la limite des stocks disponibles jusqu'au 31/12/2012. Délai de livraison des produits : maximum 3 semaines après l'enregistrement de votre commande sauf si envoyé 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-dessous 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

258 509

À RENVOYER DANS UNE ENVELOPPE AFFRANCHIE AVEC VOTRE RÈGLEMENT À :
LA BOUTIQUE SCIENCE & VIE - CS 30271 - 27 092 ÉVREUX CEDEX 9

> Mes coordonnées

M. Mme M^{le}

Nom _____ Prénom _____

Adresse _____

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

CP _____ Ville _____

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

E-mail _____

Je souhaite bénéficier des offres promotionnelles des partenaires de *Science & Vie* (groupe Mondadori)

> Mode de paiement

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

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 : _____ / _____ Date et signature obligatoires _____

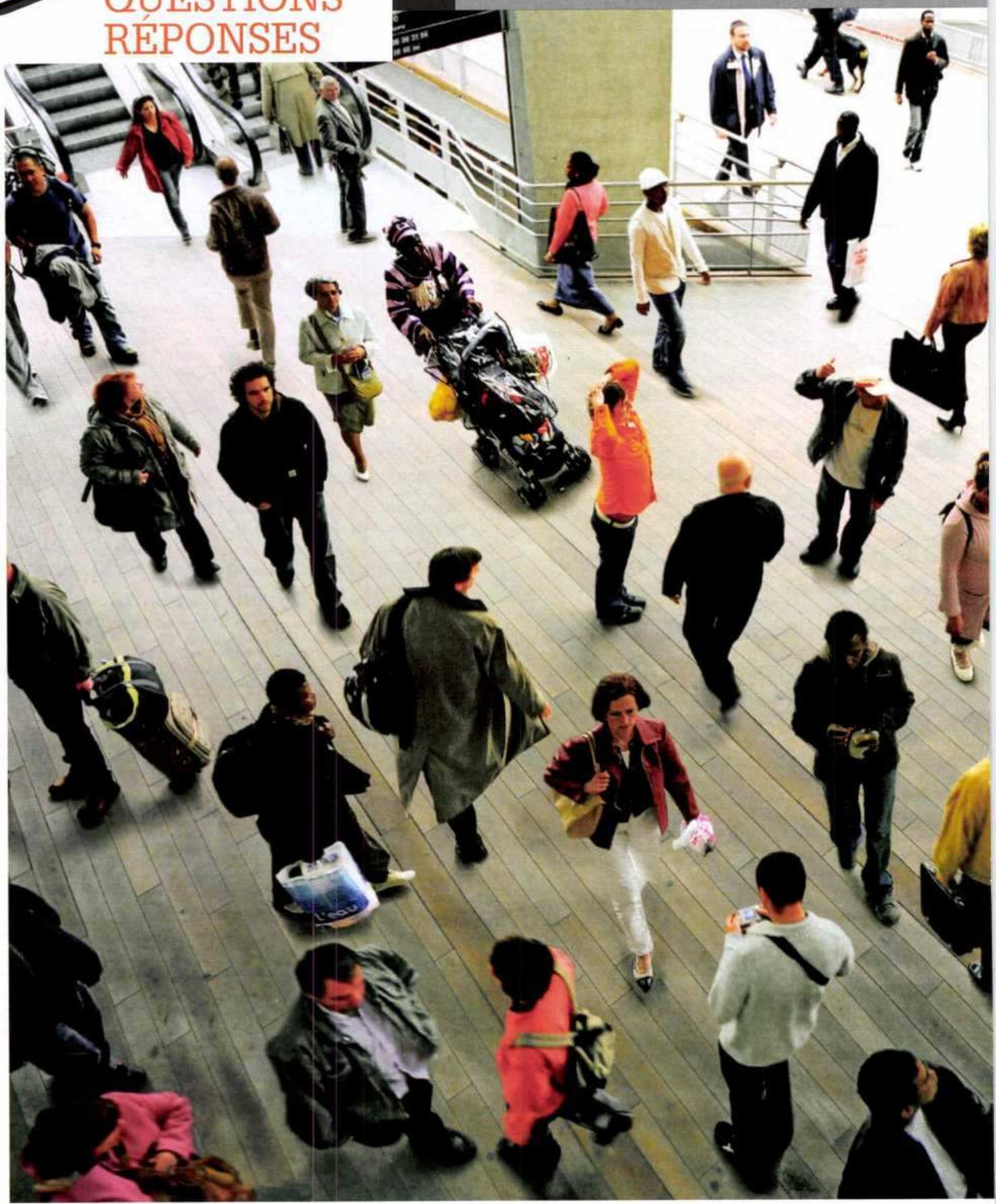
Cryptogramme _____

Les 3 chiffres au dos de votre CB.



EN PRATIQUE

QUESTIONS RÉPONSES





Pourquoi ne sait-on pas exactement combien nous sommes en France?

Question de Fernande Rupt, Voisey (52)

C'est vrai : deux chiffres cohabitent sur le site de l'Insee : 64,30 et... 65,35 millions. A un million près, votre question s'impose.

En réalité, la population de la France n'a jamais été connue avec exactitude, même lorsque le recensement s'effectuait au porte-à-porte sur l'ensemble du territoire : les habitants déménagent, s'absentent, ne répondent pas, ou n'importe quoi, ou deux fois (dans la ville où ils résident le week-end et celle où ils travaillent la semaine) ; de nouveaux habitants naissent, d'autres meurent. La question est

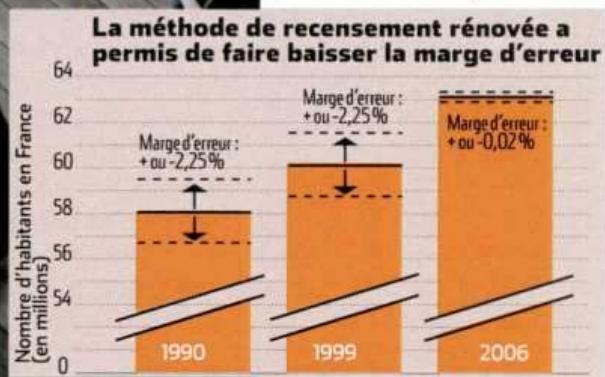
donc plutôt de savoir si la nouvelle méthode de recensement est plus ou moins précise que la précédente.

UNE MÉTHODE ALLÉGÉE

Instaurée en 2004 par l'Insee, la méthode "rénovée" présente deux grandes différences. D'abord, elle n'étudie pas la population à une date précise, sur un mois, mais prend en compte l'ensemble du territoire sur un cycle de cinq ans, entre les années "n-2" et "n+2", "n" étant l'année de référence. Le recensement pour l'année 2009 résulte donc d'enquêtes effectuées entre 2007 et 2011. Deuxième différence, cette méthode n'étudie pas toute la population. Seules les communes de moins de 10 000 habitants sont recensées exhaustivement, à l'ancienne, par roulement tous les cinq ans. Les autres font, elles, l'objet d'une enquête par sondage auprès de 8 % des logements tous les ans, ce qui correspond à environ 40 % de leur population au bout de cinq ans. "Outre le fait de réduire la lourdeur des

opérations (100 000 agents devant frapper, en un mois, à la porte de plus de 20 millions de foyers), et de répartir leur coût sur cinq années (54 millions d'euros chaque année contre 300 millions environ tous les 7 à 9 ans), cette méthode permet d'obtenir des chiffres tous les ans au lieu de tous les 7 ou 9 ans", précise François Clanché, chef du département de la démographie à l'Insee.

Mais que signifient alors les deux chiffres sur le site internet de l'Institut ? "Ils sont exacts tous les deux, mais correspondent à des dates différentes", explique François Clanché. L'un (64,30 millions) correspond à la population en 2009. Il a été établi à partir des enquêtes de recensement menées entre 2007 et 2011 avec la nouvelle méthode. L'autre (65,35 millions) est une estimation de la population du pays en janvier 2012, calculée sur la base des résultats de la population de 2009, des naissances et des décès intervenus depuis dans le pays, et d'une estimation du solde des migrations. →



▲ Selon l'Insee, la marge d'erreur serait de 0,02 %, soit l'équivalent de 15 000 Français sur tout le territoire.



→ Selon certains démonstrateurs, cette méthode aurait cependant l'inconvénient de s'appuyer sur des outils génératrices d'imprécisions (sondages, extrapolations). "Dès 2002, et jusqu'à aujourd'hui, des doutes, des réserves, des critiques ont été exprimés de la part d'universitaires qui considèrent que la nouvelle méthode est moins fiable", souligne la Commission parlementaire d'information sur la nouvelle méthode de recensement de la population de 2008... qui a tout de même validé sa qualité.

DE GROS DÉCROCHAGES

Pour sa part, Gérard-François Dumont, démographe à la Sorbonne (Paris) et président de la revue *Population & Avenir*, a relevé "pas moins de dix biais techniques, concernant la collecte des données et l'élaboration des résultats". Ainsi, à propos de la collecte: "Le recensement étant réalisé sur cinq ans, et non plus un mois, et les personnes pouvant déménager pendant cette période, certaines échappent au recensement et d'autres sont recensées deux fois." Mais à l'Insee, on souligne que "les 'doubles comptes' sont justement compensés par les personnes qui échappent au recensement en démenageant d'une commune

recensée pendant l'année $n+1$, vers une ville recensée l'année n par exemple." Par ailleurs, dans plusieurs grandes villes, le changement de méthode a fait apparaître des décrochages importants et mal expliqués que de savants calculs n'effacent pas.

Gérard-François Dumont propose de revenir au comptage traditionnel "mais en version allégée, avec moins de questions". Certaines, comme celle relative aux diplômes obtenus, seraient en effet inutiles... Mais François Clanché n'est pas d'accord: "Alléger le questionnaire du recensement n'aurait pas un grand impact sur le prix global de l'ancien recensement, puisqu'il faudrait tout de même autant d'agents sur le terrain. De plus, la question sur les diplômes a un intérêt: c'est la seule source de renseignement sur cette caractéristique des habitants."

L'Insee soutient qu'avec la technique rénovée, "les données sont de meilleure qualité. Sa marge d'erreur est de 0,02 %, soit 15 000 Français, contre de 1 à 3 % avec l'ancienne". Faire plus précis, (voir ci-dessous) supposerait d'enregistrer tous les habitants sur des registres municipaux. En France, ce type de document évoque cependant les heures les plus sombres de l'histoire du pays. K.B.

LA MÉTHODE LA PLUS PRÉCISE À CE JOUR

La méthode de recensement la plus précise du monde, utilisée en Suisse, combine un recensement annuel par sondage et une étude des registres municipaux (sur lesquels l'inscription est obligatoire) qui permettent de connaître précisément les arrivées et les départs dans toutes les communes.

Comment se fait-il que rester debout soit plus fatigant que de marcher?

Question de Bastien Bouvier, Saint-Genis-Laval (69)

Chacun en a fait l'expérience: alors qu'on peut marcher une bonne heure sans se sentir fatigué, attendre un bus ou contempler des œuvres d'art au musée se révèle très vite épaisant. Il y a plusieurs explications à cela.

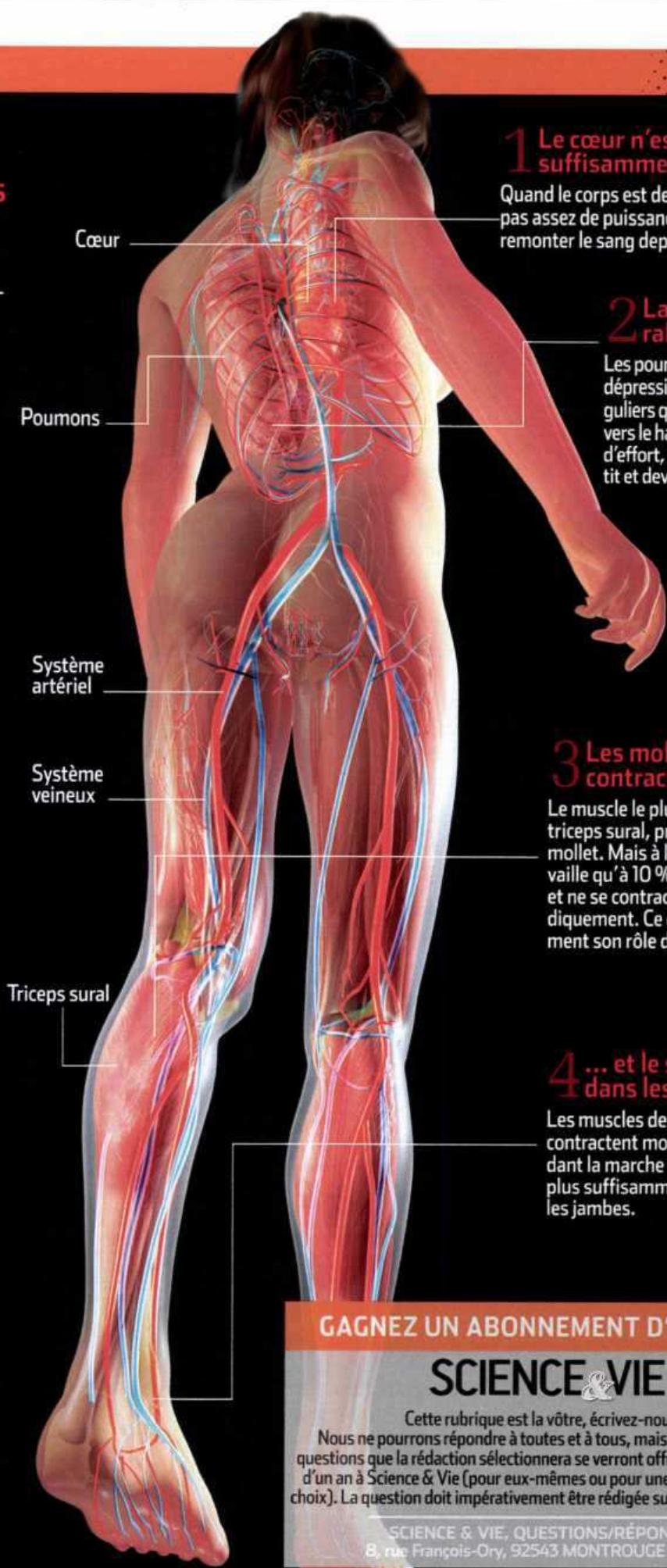
Premièrement, la posture debout n'est pas une position de repos pour le corps humain: tout le poids du corps repose alors sur la plante des pieds, ce qui est fatigant à la longue. Surtout, pour maintenir son équilibre, un ensemble de muscles dits "posturaux", dans les mollets et les hanches, travaillent conjointement pour ajuster une posture sans cesse perturbée par les phénomènes extérieurs (gravité, vent) et intérieurs (battements du cœur, respiration). Comme l'explique Alain Hamaoui, du groupe de physiologie de la posture et du mouvement à l'université Chambonnière d'Albi, "l'équilibre ne s'obtient que si le centre de gravité du corps se situe au-dessus du polygone de sustentation", c'est-à-dire la surface au sol comprise entre les pieds. Le cerveau est informé de la position du centre de gravité par les pro-

DES MESSAGES D'ALERTE

En passant du temps debout sans bouger, la gravité fait s'accumuler le sang dans les veines des jambes. Celles-ci sont équipées de valves qui l'empêchent de circuler à contre-courant, mais le cœur n'est pas assez puissant pour le pomper complètement. "Trois mécanismes interviennent pour pallier cela, indique Alain Hamaoui, l'appui alterné sur les semelles plantaires, qui chasse le sang vers les mollets; la contraction périodique du triceps sural, qui fait office

La station debout asphyxie les jambes

Sous l'effet de la gravité, le sang s'accumule dans les veines des jambes. Sa circulation et son oxygénation sont normalement garanties pendant la marche par quatre mécanismes qui, à l'arrêt, ne suffisent plus...



de pompe; et les changements de pression cycliques dus à la respiration, qui créent une aspiration vers le haut." Or, si la posture debout est maintenue trop longtemps, le volume de sang en circulation diminue, il est de moins en moins bien oxygéné par les poumons, et la pression artérielle est réduite au minimum. Des messages d'alerte sont alors produits dans les grandes artères... jusqu'à provoquer l'évanouissement.

Au contraire, en marchant, les muscles des jambes, du tronc et de la ceinture pelvienne sont mobilisés. Si cela induit un coût énergétique supérieur, il reste suffisamment modéré pour se poursuivre longtemps sans fatigue. Et puisqu'on avance un pied à la fois, l'autre pied est toujours soulevé, ce qui accorde à une des jambes un instant de "détente" à chaque pas... équivalant à la moitié du temps de marche. De plus, chaque pas que l'on pose exerce une poussée du sang veineux vers le haut, stimulant la circulation, d'autant plus que le cœur, sollicité par l'effort, bat à un rythme plus soutenu qu'à la station debout.

F.G.

1 Le cœur n'est pas suffisamment sollicité...

Quand le corps est debout, le cœur n'a pas assez de puissance pour faire remonter le sang depuis les jambes.

2 La respiration ralentit...

Les poumons créent une dépression à intervalles réguliers qui aspire le sang vers le haut. En l'absence d'effort, cette pompe ralentit et devient moins efficace.

3 Les mollets se contractent moins...

Le muscle le plus sollicité est le triceps sural, principal muscle du mollet. Mais à l'arrêt, il ne travaille qu'à 10 % de ses capacités et ne se contracte plus qu'épisodiquement. Ce qui limite également son rôle de pompe.

4 ...et le sang stagne dans les pieds

Les muscles des pieds se contractent moins fort que pendant la marche et n'expulsent plus suffisamment de sang vers les jambes.

GAGNEZ UN ABONNEMENT D'UN AN À

SCIENCE & VIE

Cette rubrique est la vôtre, écrivez-nous !

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

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



Est-ce qu'avoir deux narines rend notre odorat plus efficace ?

Question de Ralph Coleman, Fleurier (Suisse)

Comme les yeux et les oreilles, les narines fonctionnent par paire symétrique. Si deux champs visuels permettent de percevoir la profondeur et deux oreilles de situer la source d'un bruit, deux narines permettent-elles aussi d'affiner notre odorat ?

Le neuropsychologue lyonnais George Michael propose de mener une petite expérience : si vous respirez par le nez contre un miroir, vous constaterez grâce à la buée qu'une narine expire plus que l'autre. Recommencez plus tard, et ce sera au tour de l'autre narine de souffler da-

vantage... Et ce changement se produit plusieurs fois par heure. *"Ce cycle nasal permet d'apporter plus de molécules odorantes dans l'un des deux bulbes olfactifs, régions du cerveau situées à l'avant de chaque hémisphère, explique le spécialiste. Ces zones spécifiques traitent alors les informations : odeur, température, taux d'humidité, piquant."* Mais ces informations varient en fonction de la narine dont provient l'air. En effet, nos narines seraient en quelque sorte spécialisées. La gauche, plus sensible à la chaleur, permettrait de dire

si une odeur est agréable ou pas, quand la droite détecterait mieux le froid et le piquant des odeurs (comme la menthe). En apportant alternativement un surplus d'oxygène aux hémisphères, ce cycle nasal induit aussi un cycle hémisphérique. Selon George Michael, *"cela amélioreraient alternativement leurs performances. Des expériences menées aux Etats-Unis ont ainsi montré que si un droitier se bouchait la narine droite, son élévation s'améliore, et s'il obstrue sa narine gauche, ce sont ses performances visuelles".* Est-ce pour cela que certains réussissent les doigts dans le nez ? M.K.



Les femmes sont-elles vraiment plus frileuses que les hommes ?

Question de My-Linh Ta Van, Paris 9^e

Il n'est pas certain qu'elles le soient. Les travaux sur cette question sont rares et ne permettent pas de répondre clairement. Pour certains scientifiques, cela ne fait pas de doute, les femmes seraient plus frileuses du fait d'une régulation de leur température corporelle spécifique. Pour d'autres, non : à corpulence égale, hommes et femmes seraient aussi sensibles les uns que les autres au froid.

Lors d'une étude publiée en 1998 et menée sur 78 hommes et 141 femmes de moins de 2 ans à 84 ans, l'équipe américaine de Han Kim a constaté que les mains des femmes sont en moyenne 1,5 °C plus froides que celles des hommes (30,66 °C, contre 32,22). Or, toujours en moyenne, leur température interne (celle de leurs organes vitaux) est légèrement plus élevée (36,55 contre 36,33 °C). D'où

l'hypothèse d'une différence de thermorégulation liée au sexe : les femmes retiennent mieux la chaleur au niveau de leurs organes internes, au détriment de leurs extrémités ; et comme la plupart des capteurs sensibles à la température se trouvent dans la peau, elles ressentent davantage le froid. C.Q.F.D.

LE DÉBAT RESTE OUVERT

Cette étude ne tient cependant pas du tout compte de la corpulence des sujets. Publiée en 2000, celle de l'équipe canadienne de

Peter Tikuisis tend pourtant à montrer que ce facteur est déterminant. Les chercheurs ont plongé pendant une heure dans un bain à 18 °C, 6 femmes et 5 hommes de masse adipeuse et de surface corporelle similaires. Et montré que leur taux de refroidissement était le même (0,47 °C/h) pour tous. Ce dont ils concluent que si, dans la vie courante, les femmes sont apparemment plus frileuses, c'est simplement parce qu'elles sont généralement de moindre corpulence : car, plus on



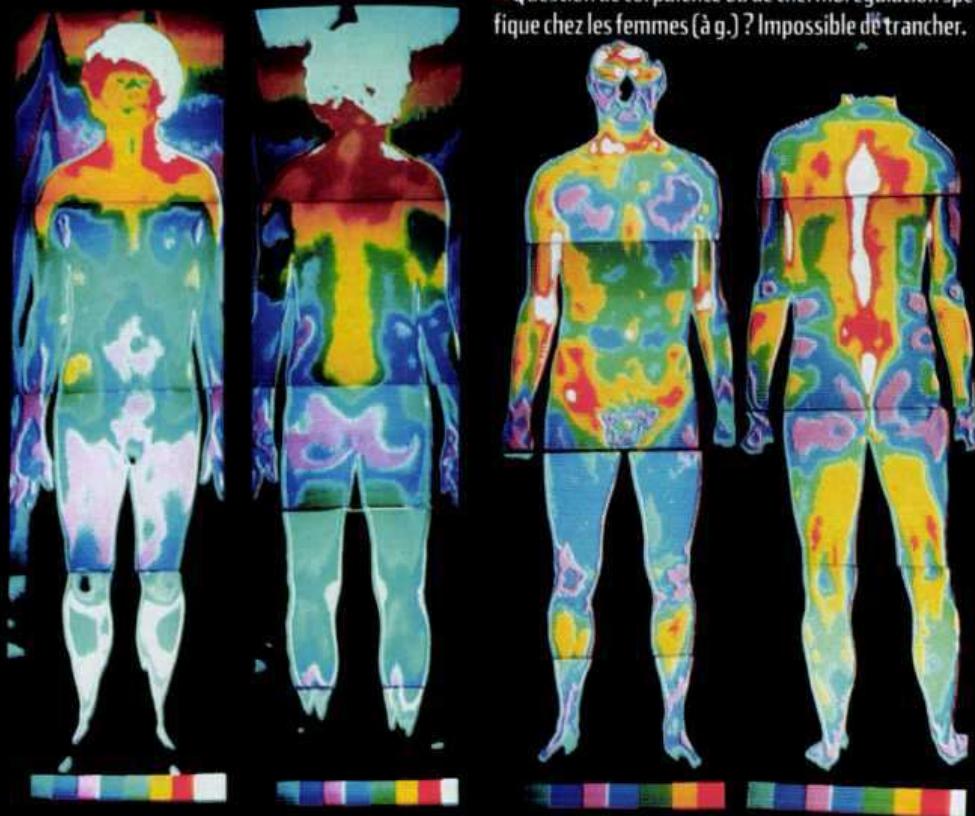
Pourquoi compteur et GPS affichent-ils des vitesses différentes ?

Question de Calange Favreau, Paris 16^e

Parce que le GPS affiche la vitesse réelle, alors que le compteur (ou tachymètre) est conçu pour afficher après une vitesse supérieure. *“Les équipementiers les règlent ainsi pour s’assurer qu’ils n’afficheront jamais une valeur inférieure à la vitesse réelle. Question de sécurité, et de responsabilité civile : en cas d’excès de vitesse, le conducteur ne fera pas porter la faute sur le constructeur au motif que le compteur indiquait une vitesse inférieure à la réalité”*, précise Jacques Ehrlich, directeur de

recherche à l’Institut français des sciences et technologies des transports et de l’aménagement des réseaux. Cette majoration est de 2 à 5 % selon les constructeurs, et varie avec la vitesse, la pression des pneus... Seuls les récepteurs GPS autonomes indiquent la vitesse réelle ; les systèmes intégrés sont des “géonavigateurs” calés sur le compteur de la voiture. Attention tout de même, le GPS a une certaine inertie et peut aussi manquer de précision, notamment s’il reçoit peu de signaux satellites. K.B.

est petit, plus notre rapport surface/volume corporel est grand, plus on perd de chaleur au niveau de la peau et plus on ressent le froid. Quant à la masse graisseuse (supérieure chez les femmes, à volume égal), elle rendrait plus frileux en isolant la peau de la chaleur corporelle. Mais l’échantillon est trop faible pour pouvoir trancher en sa faveur. Et le débat reste ouvert entre différence de thermorégulation ou différence de mensurations. Une certitude demeure : dans la seconde moitié de leur cycle menstruel, les femmes ont une température interne qui monte de 0,3 à 0,5 °C et ressentent donc plus le froid qu’au début de leur cycle. K.B.





EN PRATIQUE

TECHNOFOLIES

Spécial cadeaux high-tech

De la belle technologie : les objets de cette fin d'année, qu'ils soient ludiques ou utiles, séduisent par leur originalité. Sélection.

La caméra téléguidée qui filme sous l'eau

Chacun peut désormais jouer au commandant Cousteau grâce à l'Hydroview, un petit drone submersible capable de prendre des photos ou de filmer son parcours sous l'eau en direct, via sa caméra haute définition équipée de LED pour percer l'obscurité. Ce petit sous-marin se pilote facilement au moyen d'un iPad ou d'un PC portable (avec le pavé tactile) et envoie directement ses images sur l'écran, grâce à une liaison wi-fi. Sous l'eau, il se déplace à la vitesse de 9 km/h et peut tenir deux heures sans avoir besoin de recharger ses batteries.

Idéal pour inspecter l'état de la coque de son bateau ou préparer sa séance de plongée ; mais un peu juste pour jouer au capitaine Nemo du futur : le périmètre d'investigation de l'Hydroview est en effet limité par le câble, long de seulement 23 mètres, qui le relie à sa station d'alimentation. Un câble fourni en option permet toutefois d'élargir son rayon d'action jusqu'à 60 mètres.

S.Ba.

Prix : env. 3.100 € sans option (560 € en plus pour le câble de 60 mètres).

Rens. : www.aquabotix.com





Cette petite caméra sous-marine ne fait que 48 cm de longueur, pour 37 cm de largeur et 18 de hauteur.

Il nettoie vos gouttières tout seul

Plus besoin de monter et descendre sans cesse pour éliminer les feuilles mortes des gouttières : le Looj 330 de la société américaine iRobot s'en charge tout seul. Piloté à distance ou en mode automatique, ce robot équipé d'une foreuse à vrilles expulse à 500 tours/min tous les débris accumu-

lés, déblayant une portion de 9 m en près de cinq minutes. Grâce à sa forme allongée, il passe facilement sous les attaches et sur les trous des descentes. L'appareil n'est, pour l'instant, disponible qu'aux Etats-Unis. **G.S.**

Prix : env. 230 €.

Rens. : www.irobot.com/us/robots/home/looj.aspx

COIN DES PROTOTYPES

UNE PLAQUE À INDUCTION QUI MET LE FEU PARTOUT

Et si la table à induction était une voie prometteuse pour rendre nos cuisines plus simples à utiliser ? C'est ce que laisse penser ce prototype conçu par Panasonic sur lequel il n'y a plus de zones délimitées pour la cuisson. Avec sa diagonale supérieure à 1 m, cette plaque dispose en effet de 45 bobines, réparties sous la surface en vitrocéramique. Ainsi, il suffit de poser sa casserole n'importe où sur la plaque, elle est automatiquement chauffée, et à la température voulue. Le prototype utilise également une autre propriété de l'induction : il permet d'alimenter en énergie n'importe quel appareil de petit électroménager (presse-agrumes, mixeur...) en le posant directement sur la plaque. Fini les prises multiples dans la cuisine ! **J.J.**

Rens. : www.panasonic.fr/





Une station qui mesure la qualité de l'air chez soi

Comment s'assurer que l'air que nous respirons tous les jours à la maison ou au bureau est sain, sachant que ces lieux clos regorgent de sources polluantes (peintures, meubles, produits d'entretien...) ? Une réponse indirecte est donnée par Netatmo, la première station météo pour smartphone, qui mesure la qualité de l'air intérieur. Tout se passe dans son grand module cylindrique : placé à l'intérieur de la pièce, il renferme une station météo (thermomètre, baromètre, hygromètre) et un sonomètre pour évaluer le niveau sonore ambiant, ainsi qu'un spectromètre infrarouge qui mesure le taux de CO₂. Quand l'air est confiné, la concentration en polluants (composés organiques volatils) augmente. Un autre cylindre, plus petit, se place, lui, à l'extérieur où il mesure la température et l'humidité. Toutes les 5 minutes, les mesures, intérieures et extérieures, sont envoyées en wi-fi vers la boîte internet la plus proche. Elles sont ensuite hébergées sur les serveurs de la société Netatmo et transmises automatiquement au smartphone (iPhone, iPad ou Android) de l'utilisateur. Au-delà de 1000 ppm de CO₂, l'application conseille à l'utilisateur d'aérer la pièce. L.B.

Prix: env. 170 €.

Rens.: www.netatmo.com

Le vélo électrique quasiment increvable

Voici un vélo qui combine trois atouts de pointe : il est électrique, pliable et ses pneus – nouveau fer de lance de Michelin – sont pratiquement increvables. Baptisé "Protek urban", le pneu externe est renforcé par une bande de fibres d'aramide, des polymères aromatiques très résistants utilisés habituellement dans les gilets pare-balles et les gants anti-coupe. Quant à la chambre à air, elle a été primée au concours Eurobike 2011 : au profil bosselé, elle présente une section carrée qui la rend très facile à changer. Surtout, elle est capable d'annuler les effets d'une crevaison grâce à un liquide auto-obturateur.

Cet "e-bike" est destiné à un usage urbain car, plié, il tient aisément dans le coffre d'une voiture ou dans un placard et peut aussi être transporté dans le métro. Il ne pèse que 17,6 kg, grâce à son cadre en alliage d'aluminium. Le moteur assiste le cycliste avec trois niveaux de puissance possibles, le propulsant à une vitesse maximale de 25 km/h, conformément aux normes. Et après 4 heures et demie de charge, la batterie lithium-ion atteint une autonomie de 45 km. F.G.

Prix: env. 1400 €.
Rens.: www.michelin-ebike.com



L'ÉCRAN DE PC D'UNE FINESSE RECORD

Epaisseur: 11 mm. Une prouesse que le moniteur Full HD du constructeur américain HP réussit en intégrant toute son électronique dans la partie basse. D'une diagonale de 24 pouces (61 cm environ), le x2401 est un écran rétro-éclairé par LED, qui affiche une définition de 1920 x 1080 pixels et offre un contraste statique de 5000:1 (10000000:1 en dynamique). Enchâssée dans une coque en aluminium brossé, sa dalle lui assure des angles de vision assez larges. Côté connectique, on retrouve un port HDMI ainsi qu'un port DisplayPort. Le x2401 pourra être accroché sur un mur ou tout autre support.



Prix: env. 270 €.
Rens.: www.hp.com



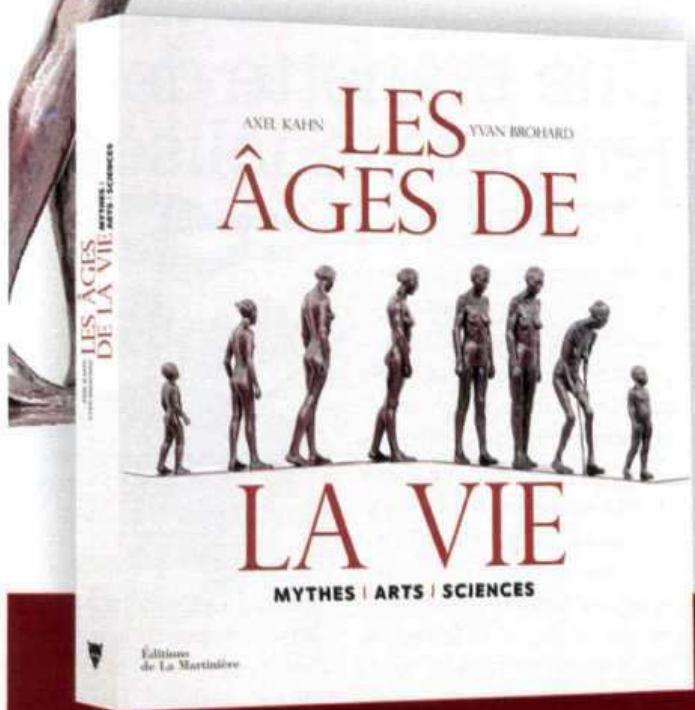
LES ÂGES DE LA VIE

Axel Kahn
& Yvan Brohard



Regards croisés
d'Axel Kahn et Yvan Brohard
sur les mystères de la vie.

En s'appuyant sur une riche iconographie, les mythes et les sciences, *Les Âges de la vie* retracent l'évolution et le développement psychique de l'homme, du temps de l'enfance à l'âge des seniors...



Éditions
de La Martinière



Le robot qui vous masse

Le WheeMe pourrait presque remplacer les mains d'un masseur. Ce petit robot de 330 grammes (avec 3 piles comprises) est équipé de 4 roues parcourues de lamelles en silicone. Destiné à relaxer, il se pose sur le dos de l'utilisateur et s'y balade pendant quinze minutes. Selon le mode de massage choisi, le WheeMe peut soit se déplacer à la vitesse de 4,5 cm/seconde... sans tomber du dos grâce à ses 4 capteurs infrarouges. Soit il peut vibrer et effectuer des rotations de roues qui font l'effet d'un massage par léger roulement. Pour se détendre, il est même possible de sélectionner un troisième mode, le chatouillement : WheeMe se contente alors de faire tourner ses tiges en Nylon.

Ph.R.

Prix : env. 70 €. Rens. : www.logicom-europe.com



De la taille d'une main, le WheeMe peut circuler sur le dos de son utilisateur pendant quinze minutes.

Une manette de jeu personnalisée

A l'intention des fans de jeux vidéo, le fabricant américain Mad Catz a conçu la manette Pro Circuit, en partenariat avec la ligue de joueurs professionnels MLG. Sa particularité : elle est entièrement personnalisable. Ses deux joysticks et sa croix directionnelle sont interchangeables, sans outils, ou peuvent être remplacés par d'autres boutons de formes et de textures différentes. De même, la façade, mate ou brillante, peut être changée pour modifier la prise en main. Le tout s'adapte ainsi aux préférences de chaque



joueur, mais aussi aux différents types de jeux (combat, course...). Elle existe en deux versions : pour Xbox 360 et PlayStation 3.

L.B.

Prix : env. 100 €.

Rens. : www.madcatz.com/mlg

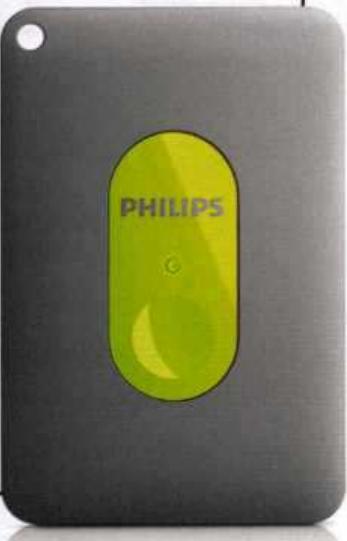
C'EST L'ANGE GARDIEN DE VOTRE SMARTPHONE

Destinée à faire communiquer deux appareils entre eux, la technologie Bluetooth peut aussi servir à ne pas perdre son smartphone. La preuve avec ce détecteur InRange de Philips. Rangé dans le portefeuille ou accroché à un porte-clés, il est relié en permanence, via une connexion Bluetooth 4.0, à votre iPhone ou iPad sur lequel est téléchargée l'application du même nom. Ainsi, dès qu'il s'en éloigne trop (la sensibilité est réglable de 1 à 20 mètres), il sonne. Et ça fonctionne aussi dans l'autre sens : on peut retrouver les clés accrochées au détecteur, en se servant de son iPhone.

L.B.

Prix : env. 50 €.

Rens. : www.philips.com





Mini-
décodeur
intégré

Télévision **numericable**^{THD} **Sans câble.**



Plus besoin de décodeur externe, une seule télécommande suffit.

Intégrez le décodeur dans votre téléviseur Loewe et profitez d'une simplicité d'utilisation sans précédent : nous vous offrons le mini-décodeur Numericable pour tout achat d'un téléviseur Loewe en association avec un abonnement Numericable. www.loewe.tv

Offre valable du 1er novembre au 31 décembre 2012 dans les points de vente agréés Loewe/Numericable participant à l'opération.

LOEWE.



UNE TABLETTE EN 3D

Avec la tablette zSpace de Infinite Z, les objets virtuels sortent de l'écran! Le procédé est le même qu'au cinéma: la 3D stéréoscopique (superposition de deux images légèrement décalées horizontalement). Equipé de verres polarisés (fournis avec la tablette), l'utilisateur choisit la position de l'objet et son angle de vue. Grâce à un stylo doté d'une LED infrarouge, il peut même "cliquer" dessus, l'agrandir, le déplacer... Cette tablette HD (1920x1080 pixels, 23,6 pouces de diagonale) est seulement compatible avec PC (Windows 7 et 8 Go de mémoire vive) et s'adresse surtout aux professionnels. Une plate-forme dédiée aux développeurs permet d'intégrer et de créer des applications. G.S.

Prix: env. 7000 €.
Rens.: <http://zspace.com/>



Cette tablette HD de 23,6 pouces utilise la même technologie que le cinéma en 3D.

Le piano revisité par des designers automobiles

Un piano profilé comme un concept automobile... C'est ce que propose la manufacture française Pleyel en partenariat avec le laboratoire de design de Peugeot. Présenté pour la première fois au Mondial de l'automobile, fin septembre, ce demi-queue a été entièrement repensé. Exit ses trois pieds au profit d'un mono-pied en porte-à-faux qui donne la sensation que l'instrument entre en lévitation. Le couvercle, sur leviers, s'inspire, lui, des hayons de voiture, ce qui permet de se passer du bâton de couvercle. Côté matériaux, couvercle et pied sont en fibre de carbone. Mais, que les puristes se rassurent, le corps et la table d'harmonie restent en bois. Enfin, sous le capot, le mécanisme a été abaissé pour être aligné avec les touches du clavier. Résultat: le spectateur peut admirer les mains du pianiste depuis n'importe quel angle de vue, et celui-ci profite d'une propagation du son plus immédiate. E.T.-A.

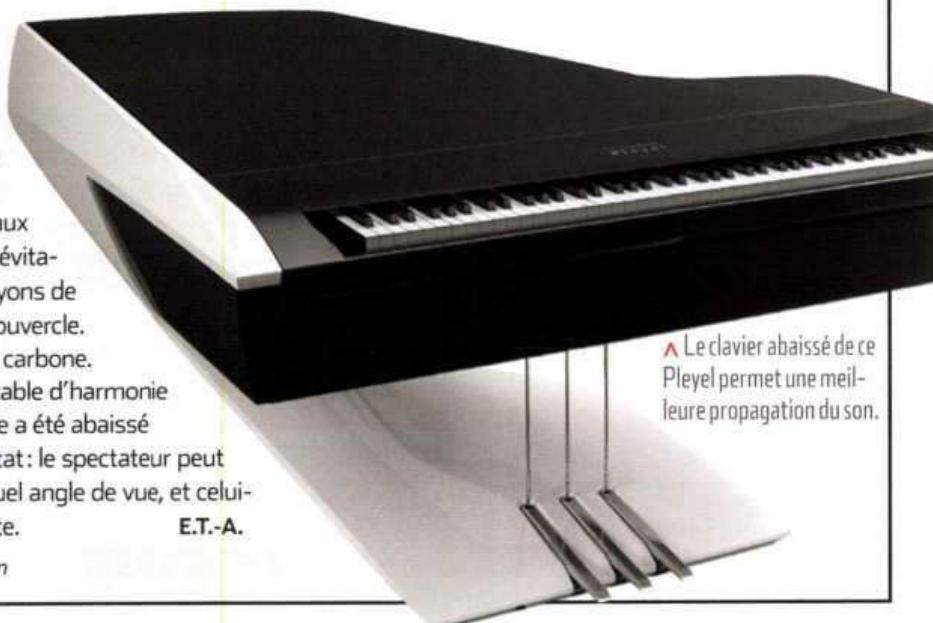
Prix: env. 165 000 €. Rens.: www.peugeotdesignlab.com

Le premier cyberlivre interactif

Le Wonderbook ressemble à un bouquin ordinaire. Sauf que ce nouvel accessoire de jeu vidéo destiné à la PlayStation 3 de Sony ne contient ni texte ni illustration... mais des cartes de réalité augmentée. Ces sortes de cryptogrammes vont immerger le lecteur directement au cœur de l'histoire. Le principe? Le joueur s'installe avec le livre devant un écran de télé ou d'ordinateur, équipé d'une webcam. Les pages sont analysées par la caméra puis déchiffrées par la PS3. Sur la télé, le lecteur se retrouve alors propulsé dans un décor inspiré d'*Harry Potter*: le livre prend l'apparence d'un vieux grimoire et la manette de jeu, celle d'une baguette magique. L'aven-

ture peut commencer: les pages du livre s'animent en relief. L'utilisateur use de sa baguette pour jeter des sorts et relever des défis grâce à un système de détection de mouvements. Destiné aux enfants, ce livre sera suivi de deux autres (l'un sur les dinosaures, l'autre sur une enquête policière) dont la sortie est prévue l'an prochain. Mais attention, le Wonderbook nécessite une manette PlayStation Move et une caméra PlayStation Eye. S.Ba.

Prix: env. 40 €.
Rens.: <http://playstation.com/ps3/games>



Le clavier abaissé de ce Pleyel permet une meilleure propagation du son.

Publicité



Fais pousser tes cristaux



Elève tes triops



Construis ta voiture à voile

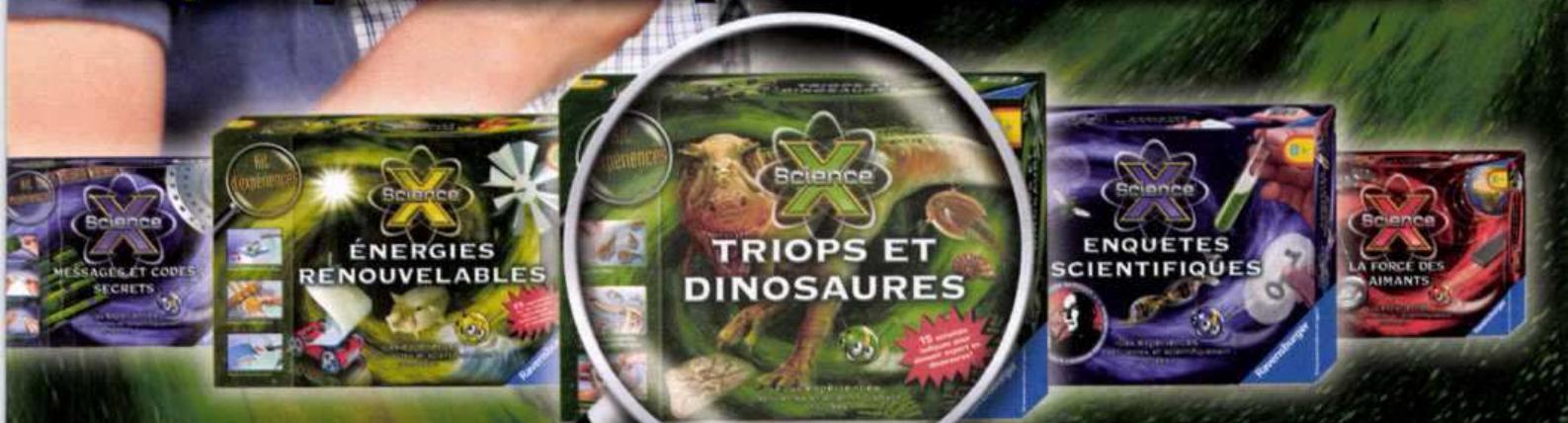
Creuse ton bloc de terre



Pratique une analyse ADN

Etonne tes amis avec Science X® !

Des jeux passionnantes pour des expériences extra !



Vu à la télé

Découvre un monde fascinant !

Ravensburger



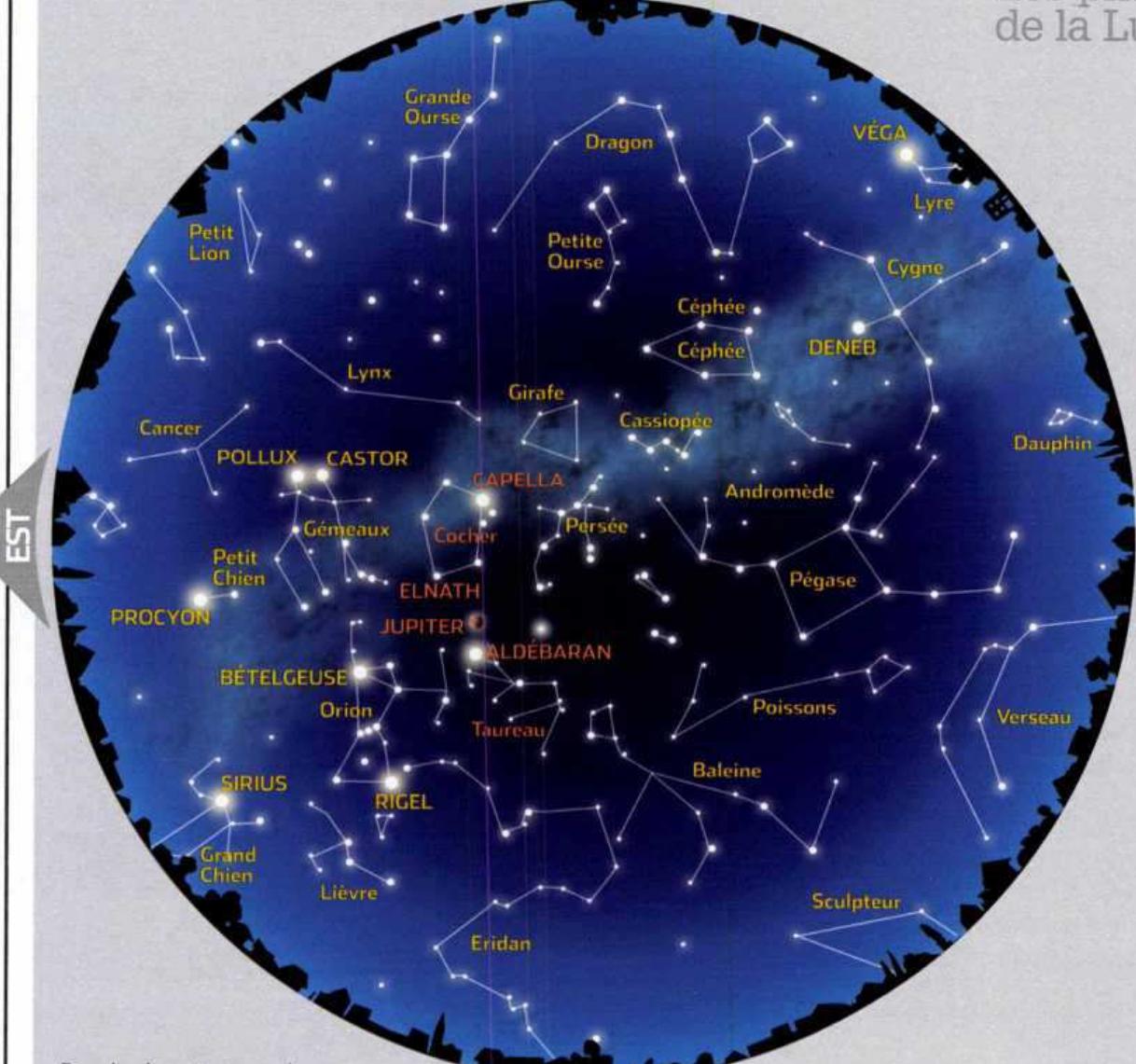
EN PRATIQUE

CIEL DU MOIS

Par Serge Brunier

NORD

Les phases de la Lune



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

Carte exacte le 15 à 23 heures

SUD

À NE PAS MANQUER... LE 3

Dans sa course annuelle dans le ciel, Jupiter est au plus près de la Terre; le 3, elle se trouve à 600 millions de kilomètres. Cet hiver, des semaines durant, la planète géante brillera dans les parages de l'amas des Hyades et d'Aldébaran du Taureau, la planète jaune surpassant en éclat l'étoile rouge. Avec une lunette grossissant de 25 à 100 x, Jupiter révèle ses quatre satellites, que l'on peut voir se déplacer au fil de la nuit, ainsi que ses formations nuageuses qui défilent sur le globe elliptique de la planète gazeuse.

< Jupiter brille tout le mois de décembre, au-dessus d'Aldébaran du Taureau.





▲ La jeune géante bleue Elnath apparaît entre ses brillantes voisines, Capella et Aldébaran.

ENTRE TAUREAU ET COCHER...

La brillante étoile Elnath du Taureau est bien visible à l'œil nu, même en pleine ville. Elle se trouve à la jonction du Taureau et du Cocher, à mi-chemin de ses éclatantes voisines, Capella et Aldébaran... C'est une jeune étoile géante bleue, située à 130 années-lumière de la Terre. Environ cinq fois plus grande et massive que le Soleil et sept cent fois plus brillante que lui, elle brûle son combustible nucléaire à un rythme effréné. Dans quelques millions d'années seulement, elle deviendra une éblouissante géante rouge, avant de s'éteindre progressivement... Attention, ce mois-ci, Jupiter s'invite dans le champ d'Elnath et d'Aldébaran !



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

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

L'ÉCOLE DES EXPERTS EN BIOTECHNOLOGIES

UN TREMPLIN VERS DES MÉTIERS D'AVENIR

FORMATION EN 5 ANS APRÈS BAC

La santé, l'environnement, l'agro-alimentaire, les cosmétiques, les matériaux innovants sont les moteurs de l'économie de demain. Ces biotechnologies, secteurs en pleine expansion, représentent l'avenir des nouvelles industries. Ceux qui sauront marier les fondamentaux des connaissances à un esprit entrepreneurial seront les futurs experts en biotechnologies recherchés et reconnus.

TITRE HOMOLOGUÉ PAR L'ÉTAT NIVEAU 1 (CNCP)

Etablissement d'enseignement supérieur privé. Cette école est homologuée par l'Etat.

66 rue Guy Môquet - 94800 Villejuif
01 44 08 00 66 - 01 80 51 71 08

www.supbiotech.fr



CONTRE-SOMMAIRE

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

- | | | | |
|------------------------------------------------|--------|-----------------------------------|--------|
| 1,8 zettaoctet | p. 93 | La tête de l'Inca | p. 109 |
| 100 000 agents | p. 139 | Le portrait de sa mère | p. 78 |
| 99,999 % | p. 96 | Les mains des femmes | p. 142 |
| Baguette magique | p. 150 | Mamba noir | p. 44 |
| Barbe drue | p. 92 | Mégalo | p. 92 |
| Botox | p. 45 | "N-2" | p. 139 |
| Brûlé les ailes | p. 18 | Oeufs de cailles | p. 34 |
| C'est une supercherie ! | p. 118 | Oeuvres d'art | p. 140 |
| Calme trompeur | p. 104 | Ongles du souverain | p. 106 |
| Cape d'invisibilité | p. 53 | Or 24 carats | p. 22 |
| Ceinture pelvienne | p. 141 | Pas besoin de mourir | p. 81 |
| Chatouillement | p. 148 | Pas de cervelle | p. 26 |
| Commandant | | Petite déprime | p. 81 |
| Cousteau | p. 144 | Pilleurs amateurs | p. 29 |
| Coupe-coupe | p. 130 | Plus frileuses | p. 142 |
| "Couronne d'épines" | p. 32 | Polygone | |
| <i>Cupriavidus metallidurans</i> (photo) | p. 22 | de sustentation | p. 140 |
| Demi-queue | p. 150 | Pop-up | p. 135 |
| Dernier sursaut | p. 33 | Poser sa casserole | p. 145 |
| Deux narines | p. 142 | "Publish or perish" | p. 124 |
| Devant frapper | p. 139 | Question de sécurité | p. 143 |
| Dinosaures à bec de canard | p. 24 | Qui est l'œuf | p. 43 |
| Epoustouflante machine Z | p. 51 | Rio tumultueux | p. 104 |
| Extraits de la Bible | p. 95 | Rôtissoire automatique | p. 131 |
| Fibres d'aramide | p. 146 | Saucissonner | p. 95 |
| Flotte de Louis XIV | p. 28 | Splendides macchabées | p. 134 |
| Foreuse à vrilles | p. 145 | Substance gluante | p. 26 |
| Furieusement | p. 124 | Tige du concombre (photo) | p. 20 |
| Général Benalcazar | p. 107 | Tombé du ciel | p. 78 |
| Habile canular | p. 118 | Tonnerre d'applaudissements | p. 118 |
| Happé par le monstre | p. 26 | Un grand singe | p. 118 |
| "Homme de l'aurore" | p. 118 | Un roman de Dickens | p. 95 |
| "Il était une fois" | p. 78 | Une lumière jaillit | p. 78 |
| Jules César | p. 20 | Vaisseau amiral | p. 28 |
| L'intégrité de son corps | p. 105 | Vieux grimoire | p. 150 |
| La mère du Soleil | p. 81 | Xénon manquant | p. 34 |

SCIENCE & VIE

Une publication du groupe

MONDADORI FRANCE

PRÉSIDENT : Ernesto Mauri

RÉDACTION

8, rue François-Ory
92543 Montrouge CEDEX
Tél. : 0146 48 48 48 - Fax : 0146 48 48 67
E-mail : svmens@mondadori.fr

DIRECTEUR DE LA RÉDACTION

Matthieu Villiers,
assisté de Christelle Borelli

RÉDACTEUR EN CHEF

Hervé Poirier

RÉDACTEURS EN CHEF ADJOINTS

Philippe Chambon, Grégoire Bouillier (édition),
François Lassagne

DIRECTRICE ARTISTIQUE

Yvonne Díazraon

CHEF DE SERVICE

Valérie Greffoz (actualités)

CHEF DE RUBRIQUE

Caroline Tourbe (médecine)

RÉDACTEURS

Elsa Abdoun, Boris Bellanger, Germain Chambost,
Mathilde Fontez, Vincent Nouyrigat, Emilie
Rauscher, Muriel Valin

SECRÉTAIRE GÉNÉRAL DE RÉDACTION

Jean-Luc Cloch

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 Julien (chef de service infographie)

DOCUMENTATION

Marie-Anne Guffroy

ONT COLLABORÉ À CE NUMÉRO

S. Aquindo, S. Barge, K. Bettayeb, L. Blanchard,
P.-Y. Bocquet, E. Bonnet-Vidal, B. Bourgeois,
S. Brunier, O. Capronnier, L. Cavicchioli, G. Crade,
A. Dagan, A. Debroise, E. Dorey, V. Etienne, S. Fay,
D. Florentz, F. Gracci, J. Grenèche, P. Grisot,
M. Grousson, E. Haentjens, C. Hancock,
J. Jongwane, M. Kerqaot, M. Kontesse,
A. Laymand, P. Lefevre, C. Martin, M. Martin,
E. Monnier, M. Mayo, A. Rambaud, A. Rebmann,
P. Richard, J.-M. Sabatier, M. Saemann, 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 Leclerc (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, Grégoire Gourse, Anne-Sophie Chauvière (opérations spéciales)

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

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

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

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

FABRICATION

Gérard Creck, Valérie Bruneaut, Nathalie Lemaire

FINANCE MANAGER

Guillaume Zaneskis

DÉPARTEMENT INTERNATIONAL

Mathilde Janier-Bonichon, Murielle Luche

ÉDITEUR 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 Pozzani, 11

24034 Cisano Bergamasco (Bergamo)

N° ISSN : 0036-8369

N° DE COMMISSION PARITAIRE :

1015 K 79975. Tarif d'abonnement légal :

1 an, 12 numéros : 42,80 €;

1 an, 12 numéros + 4 HS : 52,80 €.

Dépôt légal décembre 2012

RELATIONS CLIENTÈLE ABONNÉS

Par mail : relations.clients@mondadori.fr

Par téléphone : 01 46 48 49 96.

Par courrier : Science & Vie Abonnements

B341, 60643 Chantilly Cedex.

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

Etats-Unis et Canada : Express Mag, Tél. : 1800

363-1310 (français) et 1877 363-1310 (anglais).

Suisse : Edigroup, 022 860 84 50 - mondadori-suisse@edigroup.ch. Belgique : Edigroup Belgique, 070 233 304 - mondadori-belgique@edigroup.be

Autres pays : nous consulter.

À NOS ABONNÉS

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

À NOS LECTEURS

RENSEIGNEMENTS

Par courrier : 8, rue François-Ory,

92543 Montrouge Cedex.

Par mail : se.lecteurs@mondadori.fr

COMMANDE D'ANCIENS NUMÉROS, RELIURES ET VPC

tél. : 01 46 48 49 97

relations.clients@mondadori.fr

OJD
PRESSE PAYANTE

Diffusion Certifiée
2011
www.ojd.com



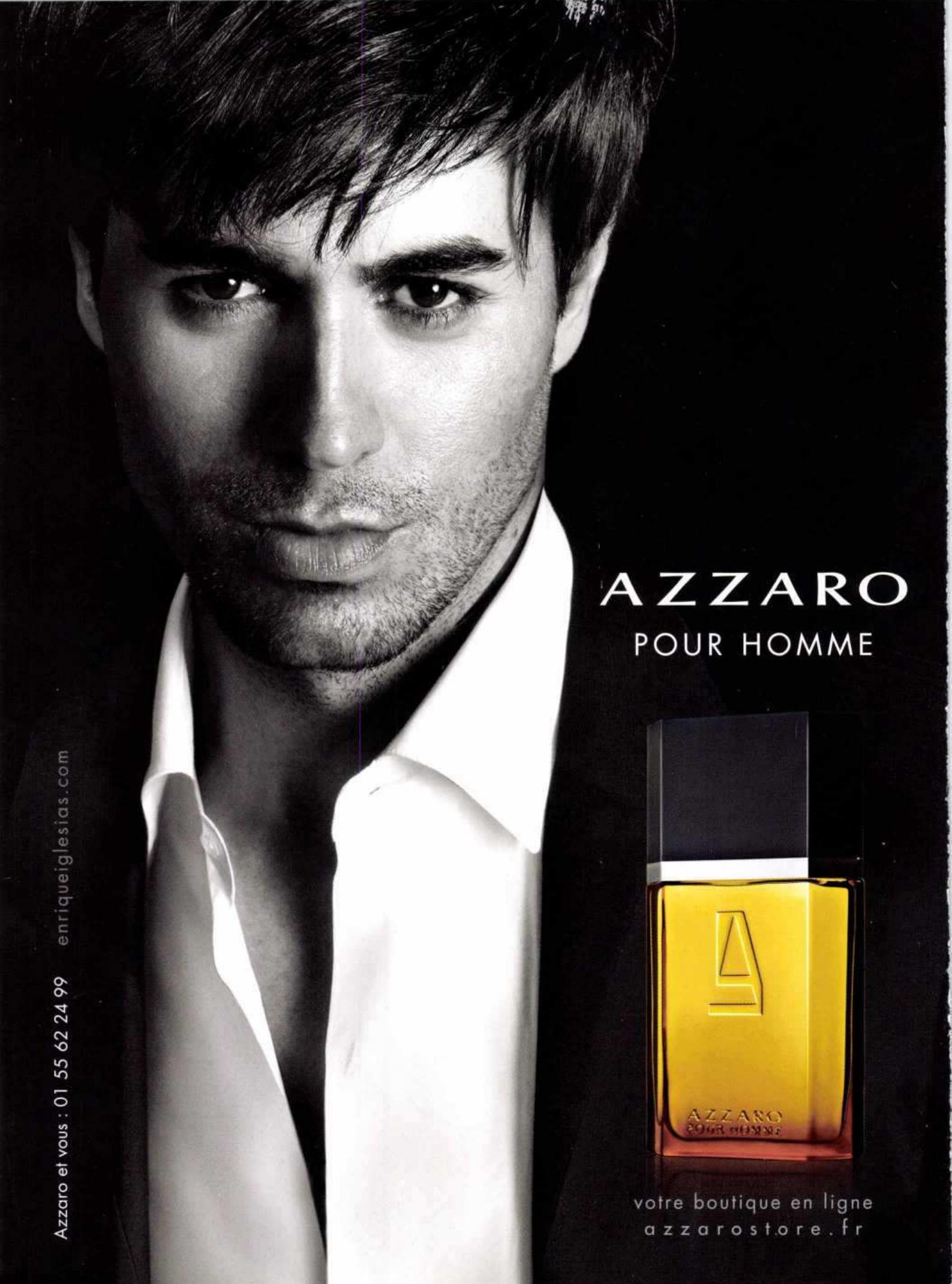


ACTES SUD Beaux-livres

Christian Lacroix, La Source Ballet de l'Opéra de Paris // Penti Sammalahti // Titien

Les chefs-d'œuvre de la donation Yvon Lambert

Cheveux chéris // Rêveries italiennes



AZZARO
POUR HOMME



votre boutique en ligne
azzarostore.fr