



JUILLET 2012 N° 1138 MONDADORI FRANCE

IL Y A PLEIN DE PETROLE EN FRANCE!

TOURISME SCIENTIFIQUE
8 DESTINATIONS PAS COMME LES AUTRES

GOOGLE LE NOUVEL EINSTEIN

ET SI LA SCIENCE
SE PASSAIT DU GÉNIE HUMAIN...

VIE SUR MARS

RÉPONSE IMMINENTE

France métro: 4,20 € - DOM surf: 4,80 € - DOM
avion: 6,90 € - BEL: 4,70 € - CH: 8,50 FS - CAN:
6,90 \$ CAN - DJ: 6,90 € - A: 5,30 € - ESP: 5,50 € - PIN:
6,20 € - GR: 4,70 € - ITA: 4,90 € - LUX: 4,70 € - MAR:
45 DH - MAY: 6,40 € - TOM/IS: 750 A/1400 CFB -
PORT.CONT: 4,90 € - TUN: 6,5 DTU

M 02578 - 1138 - F: 4,20 €





LA BERLINE COMPACTE

LE MONOSPACE 7 PLACES

LA PREMIÈRE FULL HYBRID

LA FAMILLE TOYOTA HYBRIDE S'AGRANDIT.

Bienvenue à la Toyota Yaris Hybride et à la Prius+.

Plus de 4 millions de conducteurs dans le monde ont déjà découvert une autre façon de conduire. Grâce aux véhicules de la gamme Toyota Hybride, vous aussi, vous pouvez maintenant économiser du carburant, bénéficier du bonus écologique et profiter chaque jour d'une conduite incomparablement calme et silencieuse en mode électrique. Il y a forcément une Toyota Hybride faite pour vous.



TOYOTA

TOUJOURS
MIEUX
TOUJOURS
PLUS LOIN



LA CITADINE MADE IN FRANCE

CONSOmmATIONS L/100 KM (NORMES CE) : NOUVELLE YARIS HYBRIDE : CYCLE MIXTE DE 3,5 À 3,7. ÉMISSIONS DE CO₂ (NORMES CE) : CYCLE MIXTE DE 79 À 85 G/KM (A). AURIS HYBRIDE : CYCLE URBAIN/EXTRA-URBAIN/MIXTE DE 3,8/3,8/3,8 À 4,0/4,0/4,0. ÉMISSIONS DE CO₂ (NORMES CE) : CYCLE MIXTE DE 89 À 93 G/KM (A). CONSOmmATIONS L/100 KM (NORMES CE) SOUS RÉSERVE D'HOMOLOGATION : NOUVELLE PRIUS+ : CYCLE MIXTE DE 4,3. ÉMISSIONS DE CO₂ (NORMES CE) : CYCLE MIXTE DE 96 G/KM (A). JANTES 16". NOUVELLE PRIUS : CYCLE URBAIN / EXTRA-URBAIN/MIXTE DE 3,9/3,7/3,9 À 4,0/3,8/4,0. ÉMISSIONS DE CO₂ (NORMES CE) : CYCLE MIXTE DE 89 À 92 G/KM (A).



RDV sur toyota.fr



1664

LE GOÛT À LA
FRANÇAISE

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



Il y a un temps pour tout, surtout pour le plaisir.
TENTEZ D'ATTEINDRE LE 16ÈME CIEL!

SUR  **LE 16ÈME CIEL**



EURÊK@ ?

Un horaire de train, une séance de cinéma... Vous pouvez tout demander à votre moteur de recherche. Vraiment tout ? Essayons plutôt : d'où vient que vous vous sentiez si léger dans l'eau de votre baignoire ? C'est à cause de la poussée d'Archimède, vous répondra-t-il en un instant, même s'il vous faudra chercher la réponse parmi de multiples offres de balnéothérapie.

Imaginons maintenant que vous lui posiez cette question plusieurs siècles avant notre ère, avant que les Grecs ne colonisent la Sicile. Qu'aurait répondu votre moteur de recherche avant qu'Archimède ne formalise sa célèbre loi ? Se serait-il exclamé "Eurêka !", avant d'ajouter : "Tout corps plongé dans un fluide au repos, entièrement mouillé par celui-ci ou traversant sa surface libre, subit une force verticale, dirigée de bas en haut et opposée au poids du volume de fluide déplacé" ? Eh bien, ce n'est pas impossible, si les disques durs de l'époque avaient contenu

toutes les données et expériences aujourd'hui disponibles sur les corps plongés dans les liquides et les gaz. Leur simple consultation aurait pu livrer automatiquement la solution.

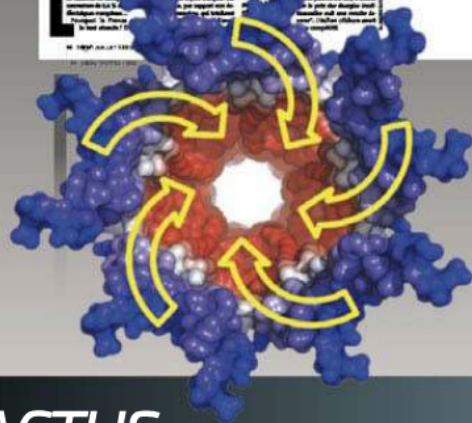
Et si vous aviez eu la curiosité d'esprit de vous demander pourquoi les pommes tombent des arbres, aurait-il été en mesure de répondre, bien avant la découverte de Newton, qu'elles ne doivent leur chute qu'à la force de gravité qui attire inmanquablement les corps massifs, avec une intensité inversement proportionnelle au carré de la distance qui les sépare ? Là encore, votre requête aurait pu aboutir...

Archimède, Newton et pour quoi pas Einstein, l'icône absolue du génie humain ? Avant sa découverte de la relativité, qu'aurait répondu votre moteur de recherche à la question de savoir ce qui peut bien expliquer qu'au retour d'un long voyage à grande vitesse, votre montre affiche un très léger retard ? Aurait-il pu vous révéler

que c'est en raison de la nature de l'espace et du temps qui, *in fine*, ne sont qu'une seule et même chose ? Allez savoir...

Revenons en ce début de XXI^e siècle. D'ingénieux algorithmes explorent à la vitesse de la lumière les quantités vertigineuses d'informations désormais accessibles dans d'innombrables serveurs interconnectés, et y font d'authentiques découvertes : gènes du cancer, nouveaux objets astrophysiques, lois du mouvement... Est-il possible qu'ils en arrivent à damer le pion aux plus grands esprits ? L'avenir le dira. Ce qui est sûr, c'est que les conditions de production des connaissances vivent aujourd'hui une révolution historique. Et que tout porte à croire que les plus belles découvertes attendues à l'avenir jailliront, non plus de géniales intuitions humaines, mais de l'examen minutieux de données stockées dans d'obscur disques durs. Bienvenue dans l'ère des "big data". **S&V**

44



40

GOOGLE LE NOUVEL EINSTEIN

De plus en plus de découvertes scientifiques sont désormais le fait de logiciels inspirés de Google. Des logiciels qui moissonnent aveuglément d'immenses bases de données, en quête de liens statistiques. Les prochaines révélations de la science seront-elles encore le fruit du génie humain ? La révolution des "big data" pose aujourd'hui la question.

PAR F. L'ASSAGNE, R. KONIKOFF, AVEC A. DEBROISE, M. GROUSSON, J. MICHAUX, M. POINTEZ

46

ACTUS

- 12 **LABOS**
L'astéroïde Vesta est une planète inachevée; le tore plat n'a plus de secret, etc.
- 22 **ON EN REPARLE**
Lune: aucun scénario ne tient plus
- 24 **TERRE**
La méduse n'est pas si invasive; du méthane s'échappe de l'océan Arctique, etc.
- 30 **ON TENAIT À VOUS DIRE**
Y a-t-il encore quelqu'un pour veiller sur la planète ?
- 32 **MÉDECINE**
Les "néo-neurones" dopent les capacités du cerveau, etc.

- 36 **FOCUS**
Appendicite: l'opération ne sera plus systématique
- 38 **TECHNOS**
Le bateau solaire a relevé le défi; M13, le virus qui produit de l'électricité, etc.
- 42 **IDÉE NEUVE**
"J'imagine communiquer au moyen de neutrinos"
- 44 **LES CLÉS POUR COMPRENDRE**
Eolien offshore: pourquoi la France s'y met maintenant

FONDAMENTAL

- À LA UNE
- 46 **GOOGLE**
LE NOUVEL EINSTEIN
- 64 **FEUILLETON**
VIE SUR MARS: ÉPISODE ULTIME ?
- 72 **ÉVÉNEMENT**
PÉTROLE: LE SOUS-SOL FRANÇAIS EN REGORGE !
- 84 **EXPLOIT**
LE DERNIER RÉCHAUFFEMENT RECONSTITUÉ

122



138



EN PRATIQUE

- 120 **BON À SAVOIR**
- 122 **ZOOM DU MOIS**
Tourisme scientifique : notre sélection pour l'été
- 128 **QUESTIONS / RÉPONSES**
- 134 **TECHNOFOLIES**
La première berline avec airbag piéton ; un reflex pour tutoyer les étoiles ; l'ordinateur qui veille à votre confort ; la première planche de surf pliable et gonflable ! ; la plaque à induction de table, etc.
- 140 **LE CIEL DU MOIS**
- 142 **Contre-sommaire**



72

- 90 **DÉCOUVERTE**
VENTS MAUVAIS : ILS SÈMENT DES MALADIES PAR-DELÀ LES OCÉANS !
- 96 **AVANT-PREMIÈRE**
"J'AI TROUVÉ L'ARBRE GÉNÉALOGIQUE DES GALAXIES"
- 102 **CASSE-TÊTE**
PRION : POUR LE PIRE... ET LE MEILLEUR

- 108 **LE POINT SUR**
La carte d'identité à 100 ans...
BIOMÉTRIE : QUEL RISQUE ?
Né en 1912 de la volonté de contrôler les populations nomades en France, le carnet anthropométrique d'identité a ouvert la voie à l'identification moderne : la biométrie. Avec un risque, celui de ficher des populations entières...



Quatre encarts, "S&V Voyages", "Santa Pénélope Turquie", "VPC Boutique" et "Multi-éditeurs abonnements" sont jetés sur les exemplaires de toute la diffusion abonnés France métropolitaine. Un encart "S&V Questionnaire barométrique" est jeté sur une partie de la diffusion abonnés France métropolitaine. Un livre "Les 100 Merveilles de la vie" est mis sous film sur 22 000 ex. de la vente au numéro France.

L'ESSENCE EST DEVENUE TROP CHÈRE



**NOUVELLE MÉGANE 2012,
NOUVEAU MOTEUR ENERGY dCi 110**
SEULEMENT 3,5L/100 KM
90g/KM CO₂

DÉCOUVREZ JUSQU'OU
UN PLEIN PEUT VOUS EMMENER.
FLASHEZ CE QR CODE



www.renault.fr



**CHANGEONS DE VIE
CHANGEONS L'AUTOMOBILE**



L'essence est devenue trop chère, c'est pourquoi Renault a développé le nouveau moteur Energy dCi 110, plus économe. En limitant les émissions de CO₂, cette technologie vous permet aussi de bénéficier de 400 € de bonus écologique pour un plaisir de conduite plus responsable et toujours intact.

Modèle présenté: Mégane Coupé Dynamique avec options. Consommation mixte (l/100 km): 3,5 et émissions CO₂ (g/km): 90 pour Mégane Energy dCi 110.
RENAULT QUALITY MADE: la qualité par Renault.

Renault présente **elf**

La pénurie de matière première ne laisse personne indifférent...

Notre dossier de mai dernier, qui dressait la liste des 26 éléments chimiques menacés de pénurie, a provoqué quantité de questions et réactions. Petit échantillon.

■ Dans la liste des éléments qui vont bientôt manquer de votre dossier du numéro de mai, n'avez-vous pas oublié du parler du lithium ?

Gilles Vienne,

Merville-Franceville-Plage

SV L'engouement pour les appareils électroniques portables et les voitures électriques a bien fait craindre de ne pas disposer de suffisamment de lithium pour leurs batteries. Mais, notamment depuis que l'on a appris à l'extraire des déserts de sel d'Amérique du Sud (voir S&V n° 1114), la menace d'une pénurie est écartée, avec près de 400 ans de réserve estimée.

■ Pourquoi s'inquiéter des ressources en uranium qui sont beaucoup plus importantes qu'on ne le dit habituellement, en particulier les ressources dites "non conventionnelles" ?

Patrice Bruneton,

retraité d'Areva, par Internet

SV Les sources alternatives d'uranium sont en effet nombreuses. La plus prometteuse, évoquée dans notre article, réside dans son extraction des gisements de phosphates, dont le potentiel pourrait se chiffrer en millions de tonnes d'uranium. Les

Etats-Unis vont en extraire de telles formations géologiques, et le Maroc est doté des plus vastes réserves de phosphate au monde. D'autres types de roches sont visées (schistes noirs, calcaires, charbons). Sans parler de l'uranium dissous dans l'eau de mer. Mais les contraintes sont si nombreuses (faible teneur des gisements, codes miniers, protection de l'environnement) que la production devrait peiner à satisfaire la demande à temps, justifiant son inscription dans notre liste des éléments qui risquent de manquer.

■ Etant donné la capacité des plantes à concentrer certains éléments, ne pourraient-elles pas servir à récupérer des métaux qui viendront à manquer afin de les recycler ? Est-ce farfelu ?

Nicolas Langlois, par Internet

SV Votre idée n'a rien de farfelu : elle fait même l'objet d'un projet de recherche au laboratoire de chimie de l'université de York (Royaume-Uni). Objectif : récupérer les métaux précieux contenus dans les produits électroniques usagés, grâce à la récolte et l'incinération des plantes "hyperaccumulatrices", telles les fougères, que

l'on fait pousser dessus. Un procédé déjà largement utilisé pour retirer plomb ou mercure des sols pollués de friches industrielles...

■ Permettez-moi de dénoncer une gabegie : les écrans couleur, dont vous indiquez qu'ils menacent les réserves d'euprium, de terbium et d'yttrium, me semblent n'obéir qu'à une seule loi : être hors-service le plus rapidement possible... Pour être plus vite remplacés par des écrans neufs.

Guy Liblin, par Internet

Il ne fait guère de doute que l'augmentation de la durée de vie des objets de la vie courante permettrait de réduire la pression sur les ressources planétaires.

S&V enquête actuellement sur ce thème intrigant de "l'obsolescence programmée".

■ Fin avril, la compagnie américaine Planetary Resources a dévoilé un projet d'exploitation des métaux précieux (platine, rhodium) dont regorgent les astéroïdes. Début des opérations prévues vers 2040. Qu'en pensez-vous ?

Jean Legrain, Maubeuge

SV L'idée d'exploiter les richesses des astéroïdes remonte à plusieurs décennies (voir S&V n° 1118). Mais, soyons clairs : les difficultés techniques sont titanesques, ne serait-ce que pour trouver sur place l'énergie nécessaire.



Origami

l'expérience mobile au top à prix smart

Bilan Conseil Personnalisé,

Orange vous contacte tous les 6 mois
pour réajuster votre forfait à vos besoins⁽¹⁾



Origami jet,
avec le réseau H+
surfez jusqu'à 3 fois plus vite
qu'avec la 3G+⁽²⁾



Origami jet,
l'international est inclus
dans votre forfait 24/7
avec le pack international⁽⁴⁾



Origami jet,
changez de smartphone
tous les ans à prix smart⁽³⁾



boutique Orange, mobistore, orange.fr

Offres soumises à conditions, valables en métropole jusqu'au 22/08/2012, sur réseaux et mobiles compatibles. Conditions sur orange.fr

⁽¹⁾ Hors clients version SIM. Premier contact dans les 6 mois suivant la souscription. ⁽²⁾ Débit maximum théorique de connexion en réception jusqu'à 42 Mbits/s, avec terminal compatible. 50 % de la population couverte en mars 2012. Liste des terminaux compatibles et des zones couvertes sur orange.fr. ⁽³⁾ Offre valable 12 mois après la souscription du forfait avec déduction des points du Programme «Changer de Mobile» et si le dernier renouvellement date de plus de 12 mois. Mobile attribué à prix préférentiel parmi les mobiles de la gamme Orange disponibles. Nécessite un réengagement de 12 ou 24 mois sur le forfait. ⁽⁴⁾ Pack international compris dans les forfaits à partir de 89,90€/mois avec engagement de 24 mois. Équivalent à un crédit de 25€ pour toutes les autres communications (appels, connexions internet mobile et SMS vers et depuis l'étranger, n° spéciaux...).



Jules Verne l'avait déjà dit !

Dans votre numéro de mai (S&V n° 1136), vous parlez d'une seconde Lune autour de la Terre. Mais n'oublions pas que le professeur Barbicane la mentionnait déjà en 1870, dans le roman *Autour de la Lune* de Jules Verne !

Michel Dequen, Amiens (80)

SV Il nous avait en effet échappé que plus de 100 ans avant Mikael Granvik, Jérémie Vaubailon et leur supercalculateur, un certain M. Petit, présenté par Jules Verne comme un "astronome français", avait établi que la Terre a un deuxième satellite naturel, comme le montre cet extrait :

"Qu'est-ce que ce globe prétentieux qui a failli nous heurter ?
— C'est, dit Barbicane, un simple bolide, mais un bolide énorme que l'attraction a retenu à l'état de satellite.
— Est-il possible ! s'écria Michel Ardan. La terre a donc deux Lunes comme Neptune ?
— Oui, mon ami, deux Lunes, bien qu'elle passe généralement pour n'en posséder qu'une. Mais cette seconde Lune est si petite et sa vitesse est si grande, que les habitants de la Terre ne peuvent l'apercevoir. C'est en tenant compte de certaines perturbations qu'un astronome français, M. Petit, a su déterminer



l'existence de ce second satellite et en calculer les éléments. D'après ses observations, ce bolide accomplirait sa révolution autour de la Terre en trois heures vingt minutes seulement, ce qui implique une vitesse prodigieuse." La simulation que nous annonçons comme une première vient donc seulement

confirmer les calculs réalisés par M. Petit... A un détail près : la deuxième lune accomplit sa révolution autour de la Terre en une quinzaine de jours et non en 3h20 comme le soutenait l'astronome fictif de Jules Vernes. Une imprécision qui doit sans doute être mise sur le compte de la médiocrité des instruments de l'époque...



Echec et... maths

Il semblerait qu'une erreur se soit glissée entre les lignes de votre dossier "Où en sont les maths modernes ?" Dans l'encadré n° 1 de la page 116 du numéro de ce mois-ci, l'équation " $2-3x^2+x^3=0$ " est prise en exemple. Or, les solutions ne sont pas 1, $\sqrt{2}$ et

$-\sqrt{2}$, comme vous l'écrivez, mais 1, $(1+\sqrt{3})$ et $(1-\sqrt{3})$. *Errare humanum est!*
Jean-Philippe Libert, par Internet

SV Vous avez été nombreux à nous signaler cette affreuse bourde. La seule excuse qu'il serait possible d'avancer pour justifier sa publication serait de souligner que l'objectif de l'article où elle s'insère était justement d'abandonner les calculs algébriques classiques comme celui-ci pour consacrer son attention sur

un raisonnement beaucoup plus abstrait et puissant, fondé sur la théorie des groupes imaginée par Evariste Galois il y a près de 200 ans ("Finis les calculs" disait le fougueux mathématicien)... Car, finalement, ce qui intéressait le jeune prodige était de déterminer si une équation est résoluble ou non, sans se préoccuper de valeurs numériques précises. Un moyen remarquable de ne pas perdre son temps avec des problèmes qui n'ont pas de solution. Avouons cependant qu'une telle excuse serait fallacieuse car la coquille fut involontaire.

La boutique
SCIENCE & VIE
NOUVEAU !

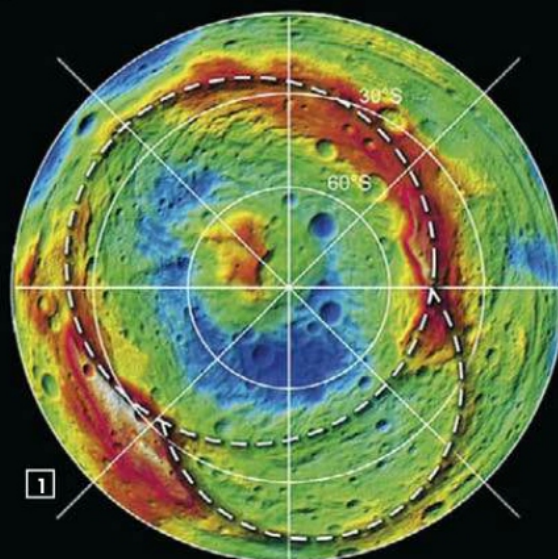
WWW
laboutiquescienceetvie.com

Livres
Idées cadeaux
Objets scientifiques ou insolites

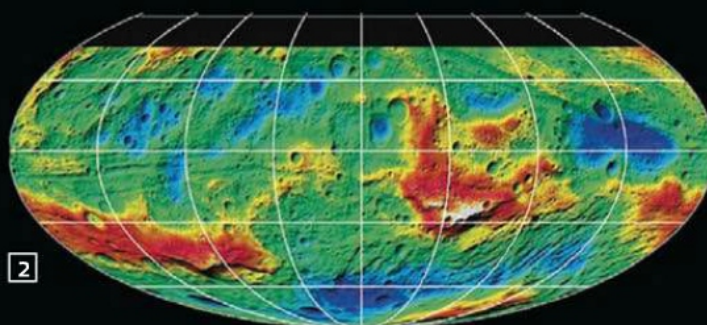
Veuillez adresser votre courrier à : sev.lecteurs@mondadori.fr

lactus labos

> Vesta est un astéroïde de 530 km de diamètre incroyablement rond. Sa surface révèle des cratères d'impact (pôle Sud, 1), comme beaucoup d'astéroïdes, mais aussi des montagnes et des vallées (planisphère, 2), comme une planète.



Altitude (km)
- 22,3 19,1



Altitude (km)
- 22,3 19,1

ASTRONOMIE

L'ASTÉROÏDE VESTA EST, UNE PLANÈTE INACHEVÉE

Voici le chaînon manquant entre un astéroïde et une planète! Vesta, astre bosselé évoluant entre Mars et Jupiter, est un astéroïde, mais il possède un cœur de fer, un manteau et une croûte; il a été secoué de mouvements tectoniques qui ont créé des vallées, des rifts et des montagnes... tout comme une planète. "On s'en doutait,

mais les analyses réalisées par la sonde Dawn, en orbite autour de lui depuis juillet 2011, ont enfin prouvé que Vesta est le seul exemple d'un intermédiaire entre une planète et un astéroïde!", se félicite Christopher Russell, membre de la mission à la Nasa. Durant dix mois, la sonde a braqué ses spectromètres sur la surface de Vesta,

détaillé la composition de ses cratères et découvert que la densité de ses roches augmente avec la profondeur. La preuve en est: l'astéroïde s'est différencié. Comme la Terre, Mercure ou Mars, Vesta a vu ses roches fondre sous l'effet de sa propre gravité. Ses matériaux ont alors lentement migré jusqu'à former des couches, de la plus dense

au centre à la plus légère en périphérie, avant de se solidifier. "Nous devons considérer Vesta comme un vestige de ce qu'était la Terre avant même qu'elle n'achève sa formation: une protoplanète." Juste retour des choses pour ce petit astre qui, au XIX^e siècle, a été considéré pendant 40 ans comme une planète, avant d'être rétrogradé... **M.F.**

MATHÉMATIQUES

LE TORE PLAT N'A PLUS DE SECRET

Quatre mathématiciens français ont enfin réussi à représenter en 3D un tore carré plat! Pour apprécier l'exploit, quelques notions de base: un tore, c'est une surface en forme de chambre à air. Quant au tore carré plat... Pensez au jeu vidéo Pac-Man: lorsque le personnage disparaît d'un côté de l'écran pour réapparaître de l'autre, il évolue en réalité sur un tore carré plat. Soit une surface dont il suffit de joindre les côtés opposés pour obtenir un tore ordinaire... sauf que les distances sont alors déformées. Le tore plat

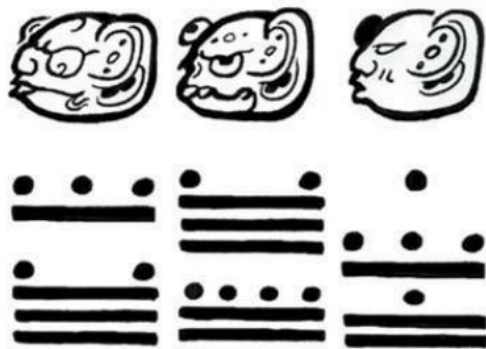
semblait donc impossible à visualiser en 3D... jusqu'à ce que des chercheurs du CNRS parviennent à le replier correctement! Résultat: un drôle d'objet qui ressemble à un tore, mais avec des séries de vaguelettes de plus en plus fines. Bref, une sorte d'objet fractal, mais parfaitement lisse. *"Rencontrer un tel objet a été un ravissement"*, confie Francis Lazarus. Plaisir des yeux, mais aussi promesse de résolution d'inextricables équations, voire d'outils pour analyser la croissance du cerveau, aux plis semblables. **M.G.**

ARCHÉOLOGIE

LE PREMIER ÉPHÉMÉRIDE MAYA

Les Mayas compilaient des chiffres relatifs au mouvement des astres dans des tables astronomiques: elles apparaissent, déjà abouties, dans des codex postérieurs au XIV^e s. Aucun document équivalent datant du classique (400-1000), période phare de la culture maya, n'avait jamais été trouvé... jusqu'à

la découverte, en 2011, d'un édifice de type inconnu sur le site guatémaltèque de Xultun (IX^e s.). Sur ses murs, des archéologues américains ont découvert des personnages peints et des textes en rapport avec des calculs astronomiques. L'épigraphiste David Stuart a pu reconstituer des tables concernant



Représenté en 3D (à gauche vu de l'extérieur, ci-contre vu de l'intérieur), le tore plat ressemble à un pneu recouvert de vaguelettes.

LE PLUS PETIT DES MAMMOUTHS

Les restes du plus petit mammouth ont été découverts en Crète. Avec ses 310 kg (contre de 3 à 5 t pour ses congénères), il a d'abord été pris pour un éléphant. Mais l'analyse de ses dents et de ses os a révélé sa nature. *Mammuthus creticus*, qui vivait il y a plus de 800 000 ans, est un exemple de nanisme insulaire.

A.Du.

LES TORTUES ET LES OISEAUX SONT COUSINS

Les tortues sont génétiquement plus proches des archosauriens (crocodiles et oiseaux) que des lépidosauriens (serpents et lézards). Une équipe de l'université de Boston a clos le débat en comparant 1 145 éléments génétiques présents chez la tortue, le lézard, le crocodile, le serpent, le poulet... et l'homme !

A.Du.

DINOSAURES : ILS ÉTAIENT DES USINES À GAZ

Et si les flatulences des dinosaures herbivores avaient contribué à réchauffer le climat il y a 150 millions d'années ? Des chercheurs britanniques ont estimé que ces énormes ruminants ont dû émettre quelque 520 millions de tonnes de méthane par an, soit l'équivalent des émissions actuelles.

O.D.

DATE DU IX^e SIÈCLE

la Lune (ci-contre, les traits et les points correspondent à des chiffres, les têtes à des divinités ou phases lunaires), et sans doute Mars et Vénus. Vu les nombreuses couches de plâtre, des corrections ont été apportées au fil du temps. De quoi comprendre la genèse de ces listes, étonnantes de précision.

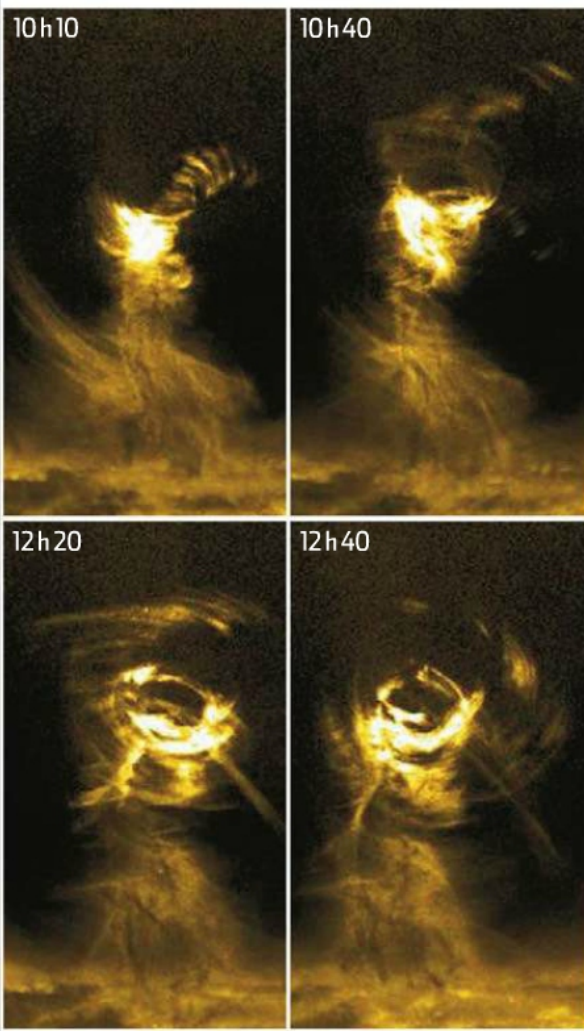
E.R.

PHYSIQUE SOLAIRE

UN SATELLITE A FILMÉ DES IMAGES INÉDITES D'UNE TORNADE SOLAIRE

Des gaz chauffés jusqu'à 2 millions de degrés, tourbillonnant à 200 000 km d'altitude et à une vitesse pouvant atteindre des pics de 300 000 km/h : voilà les caractéristiques herculéennes de la tornade solaire filmée le 25 septembre dernier par les instruments du satellite américain *SDO* (*Solar Dynamic Observatory*), qui observe le Soleil à partir de son orbite terrestre. De tels phénomènes sont connus – ils déclencheraient notamment des tempêtes solaires sur notre planète, perturbant nos satellites –, mais c'est la première fois que des images de l'un d'entre eux ont été enregistrées.

A.D.



BORELLI, JABRANE, LAZARUS, THIBERT - D-STUART - ROYAL ASTRONOMICAL SOCIETY

L'atmosphère
de Titan, lune de
Saturne, rappelle
celle de la Terre il
y a 2,45 milliards
d'années.

PALÉOÉCOLOGIE

LA PLANÈTE BLEUE A ÉTÉ ORANGE

Il y a 2,45 milliards d'années, l'atmosphère terrestre était impénétrable, irrespirable... et orange! C'est ce qu'a découvert une équipe de l'université anglaise de Newcastle en analysant des sédiments marins sud-africains âgés de 2,5 à 2,65 milliards d'années. "Ces roches nous apprennent que la Terre n'a cessé d'osciller entre des périodes où elle était plongée dans un gigantesque brouillard de méthane et des périodes où son atmosphère était oxygénée", relate Aubrey Zerkle, qui a dirigé les recherches. Il pourrait s'agir d'une phase de transition durant laquelle

les microbes producteurs de méthane ont laissé la place à des organismes photosynthétiques relâchant de grandes quantités d'oxygène – des cyanobactéries. "Cent millions d'années plus tard, elles avaient produit assez d'oxygène pour qu'il prédomine dans l'atmosphère." Dans sa jeunesse, la Terre a donc eu des allures de Titan, la plus grosse des lunes de Saturne. Mais de là à imaginer que Titan pourrait un jour avoir un climat aussi hospitalier que le nôtre... Encore faudrait-il qu'elle abrite de l'eau liquide, vitale pour les cyanobactéries. **M.F.**

BIOLOGIE VÉGÉTALE

Et c'est ainsi qu'éclosent les bourgeons à fleurs...

Il y a 5 ans, on identifiait l'hormone qui déclenche la floraison, le florigène, mais sans pouvoir expliquer son acheminement jusqu'au bourgeon. Yu Hao, biologiste à l'université de Singapour, vient d'isoler chez la plante *Arabidopsis* une protéine indispensable au transport du florigène jusqu'aux vaisseaux qui irriguent le bourgeon floral. Baptisée FTIP1, elle offre un nouveau levier pour contrôler la production de fleurs, qui limite la croissance de la plante. **E.H.**

ÉTHOLOGIE

LE MANCHOT PYGMÉE PÊCHE ENTRE DEUX EAUX

Eudyptula minor se révèle capable d'utiliser les brusques variations de température dans l'océan pour mieux pêcher. La thermocline, zone de transition thermique entre les eaux de surface et les eaux profondes, constitue en effet une barrière physique naturelle où se concentrent ses proies, les petits poissons. L'équipe franco-australienne de Laure Pelletier, de l'Institut pluridisciplinaire Hubert-Curien à Strasbourg, a installé des capteurs sur le dos de 43 manchots pygmées afin d'enregistrer leurs accélérations et la température de l'eau. Lorsque la thermocline se situe à une profondeur accessible, entre 25 et 50 m, l'oiseau marin la détecte, et sa pêche est alors nettement plus efficace! **R.B.**

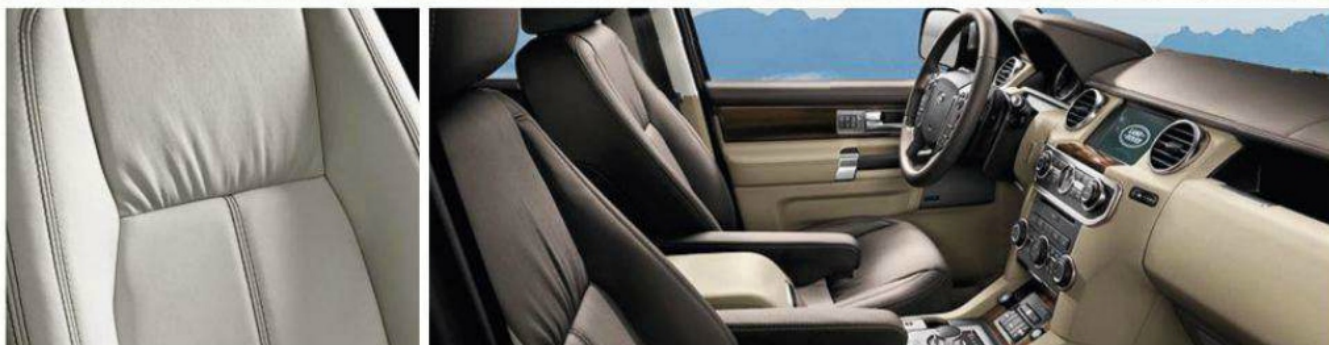
> L'oiseau
marin repère
ses proies grâce
aux variations
de température
dans l'océan.



DISCOVERY 4 ÉDITION LUXURY

GRAND STANDING. VUE IMPRENABLE.

Aux cimes de l'efficacité, le Discovery 4 offre ses talents à tous les partisans de l'action. 7 places, une capacité de remorquage exceptionnelle, un plancher plat jusqu'à 2 mètres, tout devient chaque jour possible. L'Édition Luxury SDV6 de 256 chevaux ajoute à l'aventure l'extrême raffinement. Les finitions extérieures chromées sont l'annonce d'un espace intérieur tendu de cuir jusqu'au sommet de la planche de bord, baigné par la lumière du toit ouvrant et réservant par exemple le rare confort d'un volant chauffant. Seuls 100 d'entre vous partiront vers les sommets du luxe.



www.landrover.fr



Consommation mixte Norme CE 1999/94 (L/100km) : 8,8 - CO₂ (g/km) : 230. RCS Nanterre 509 016 804.



GÉNÉTIQUE

LES MÉLANÉSIENS AUSSI ONT LEUR GÈNE DE LA BLONDEUR

Sur les îles Salomon, dans le Pacifique, 5 à 10 % des habitants sont blonds en dépit d'une couleur de peau très foncée. Mais, contrairement à ce que l'on pensait, cette caractéristique n'est pas due à l'introduction d'un gène de la blondeur par des explorateurs européens. Une équipe américaine dirigée par Sean Myles, généticien à l'université Stanford, vient en effet d'identifier, au sein de cette population, la mutation

génétique à l'origine de la blondeur. Et bien qu'elle soit localisée sur un gène impliqué dans la pigmentation de nombreux mammifères, y compris l'homme, ce gène ne fait pas partie de ceux responsables de la blondeur des Européens. *« Cela signifie que la blondeur est apparue à au moins deux reprises dans l'histoire de l'humanité »,* précise Sean Myles. Pour le chercheur, la découverte de cette mutation, absente

en dehors de Mélanésie, est aussi la preuve que les recherches génétiques, jusqu'à présent surtout menées sur des populations européennes, doivent être élargies à l'ensemble de la population mondiale. *« Si l'on peut trouver un gène de la blondeur qui n'existe qu'en Mélanésie, il est probable que d'autres gènes, liés à certaines maladies, aient eux aussi une telle répartition hétérogène »,* conclut le chercheur. **C.H.**

▲ La blondeur de 5 à 10 % des habitants des îles Salomon est due à une mutation génétique propre à cette population.

BACTÉRIOLOGIE

ON A CAPTÉ LA PLUS LENTE DES RESPIRATIONS

Au fond du Pacifique Nord, des chercheurs danois pensent avoir repéré la respiration de bactéries prises dans de la boue sédimentaire datant de... 86 millions d'années. C'est justement cette respiration aérobie (à base d'oxygène) très lente (à peine 0,001 micromole d'oxygène par litre de sédiment et par an) qui leur permettrait de survivre très longtemps. Avec un métabolisme aussi bas, ces bactéries mettraient dix ans à consommer l'équivalent d'une seule de nos respirations ! Reste à mettre la main sur ces extrêmophiles, afin de déterminer leur âge exact. **A.Du.**

PLANÉTOLOGIE

Les météorites géantes ont longtemps bombardé la Terre

L'astéroïde de 15 km qui a provoqué l'extinction des dinosaures il y a 65 millions d'années n'était qu'un soubresaut d'une longue série, bien plus ancienne ! Selon Brandon Johnson et Jay Melosh, de l'université de Purdue, la Terre aurait été frappée par des astéroïdes massifs durant la moitié de sa vie. Ils ont découvert sur des roches des gouttes de minéraux fondus, vestiges de la vaporisation de sept projectiles géants, dont le plus massif avait un diamètre de 70 km ! Une extension de la ceinture d'astéroïdes aurait fourni les munitions pour ce bombardement... jusqu'à épuisement, il y a 1,8 milliard d'années. **M.F.**

▼ Ces gouttes de minéraux fondus sont des vestiges d'astéroïdes massifs.



Samsung GALAXY S III

designed for humans*



Il vous comprend, il répond à vos attentes, il reste attentif à ceux que vous aimez et vous permet de revivre chaque moment.

Observer, écouter, comprendre, partager : entrez dans l'univers du Samsung Galaxy S III.

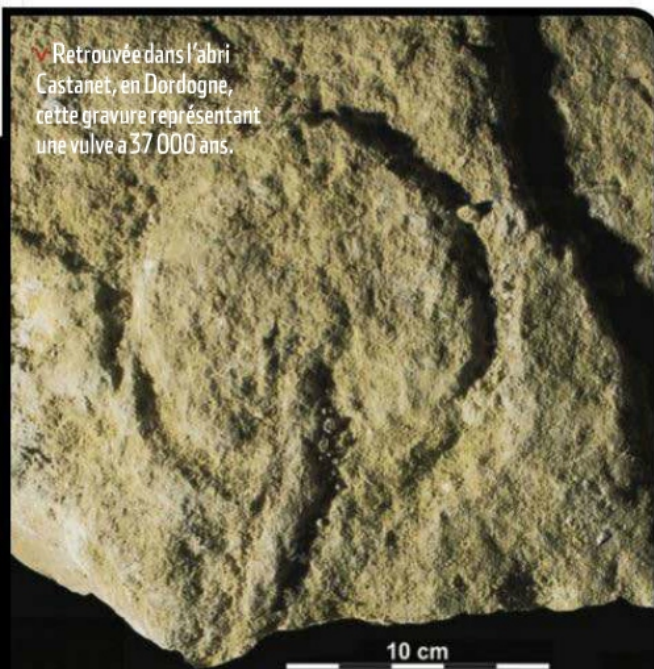
Ecran 4.8" Super AMOLED HD | Processeur Quad Core 1,4 GHz | Appareil photo intelligent



* Pensé pour vous comprendre.

DAS = 0.342 W/kg. Le DAS (débit 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, 93458 La Plaine Saint Denis Cedex. RCS Bobigny 334 367 497. SAS au capital de 27 000 000 €. Visuels non contractuels. cmi.fr

Retrouvée dans l'abri Castanet, en Dordogne, cette gravure représentant une vulve a 37 000 ans.



PALÉONTOLOGIE

UN ABRI ROCHEUX FAIT RECULER L'ORIGINE DE L'ART

Les plus anciens vestiges d'art pariétal n'ont pas été retrouvés dans une grotte, mais dans un simple abri-sous-roche! L'équipe de l'anthropologue américain Randall White vient ainsi d'annoncer la présence de gravures et de traces d'ocre de plus de 37 000 ans dans l'abri Castanet, en Dordogne. Voilà qui repousse de plusieurs centaines d'années le record détenu jusqu'ici par la grotte Chauvet (Ardèche). Ce renforcement rocheux, connu depuis un siècle, a déjà été l'objet de deux brèves campagnes de fouilles. Après 80 ans d'arrêt, les recherches y ont repris en 2007. Avec son équipe d'archéologues français, Randall White a dégagé pas moins de

18 000 fragments de pierres taillées, d'os, de coquillages et de perles d'ivoire, ainsi qu'une nouvelle gravure de vulve féminine. La grande chance des chercheurs vient du fait qu'un énorme pan du plafond de l'abri s'est écroulé peu après l'abandon de la place par les hommes de l'Aurignacien qui s'y étaient installés. Certes, une partie du matériel a ainsi été détruite, mais l'abri a du même coup été protégé de toute altération, ce qui a donc permis de réaliser des analyses chimiques et une datation fiable au carbone 14. Une découverte qui pousse à voir d'un autre œil ces abris, et aide à mieux cerner la richesse de l'art préhistorique, dès son origine. **E.R.**

GÉNIE GÉNÉTIQUE

Six molécules artificielles pourraient remplacer l'ADN

L'ADN et l'ARN, essentielles à la vie terrestre, ne sont plus les seules maîtresses de l'hérédité et de l'évolution! Car six molécules capables d'assumer ces fonctions viennent d'être créées. Nommées CeNA, ANA, FANA, TNA, LNA et HNA, elles peuvent porter le même code génétique que l'ADN et l'ARN, sauf que les molécules reliant leurs 5 bases sont nouvelles. Pour Philipp Holliger, de Cambridge, qui a dirigé les recherches, "la vie pourrait théoriquement se passer de l'ADN et de l'ARN". **E.A.**



> Le cheval de Przewalski est le plus proche cousin actuel d'*Equus ferus*, l'ancêtre sauvage des chevaux domestiques.

ETHNOZOOLOGIE

VOICI COMMENT L'HOMME A DOMESTIQUÉ LE CHEVAL

La domestication du cheval a commencé dans les steppes eurasiennes il y a environ 6 000 ans. Puis elle s'est répandue en Europe et en Asie, *Equus ferus* s'accouplant au passage avec des congénères restés sauvages. C'est ce qu'a démontré Vera Warmuth, de Cambridge, en analysant l'ADN de plus de 300 chevaux actuels d'Europe et d'Asie. Cette conclusion parvient à réconcilier les deux thèses en vigueur: les preuves archéologiques témoignaient en effet d'un foyer d'expansion unique, situé entre l'Ukraine, la Russie et le Kazakhstan; les études génétiques, elles, révélaient que la domestication s'était faite à plusieurs endroits et à différents moments. **R.B.**

SWIFT

So' Color



Votre Swift a du style ? Montrez-le !

En 3 ou 5 portes, personnalisez votre Swift So' Color selon vos goûts et vos envies, choisissez parmi ses 15 combinaisons de teintes de carrosseries et donnez à votre citadine un look unique ! Vous serez séduit par sa ligne exclusive, son haut niveau d'équipements et son prix accessible. À vous d'annoncer la couleur !

Modèles présentés: Swift 1.2 VVT So' Color 3 portes: 14 240 €. Prix TTC conseillé clés en main, tarif au 02/04/2012. Consommations mixtes CEE (l/100 km): 4,2 - 5,6. Émissions CO₂ (g/km) : 109 - 128.
*Way of Life!: Un style de vie!

GARANTIE ASSISTANCE 3 ANS
ou 100 000 km au 1^{er} terme échu

www.suzuki.fr



SCIENCE & VIE

N° 1129
OCTOBRE 2011

Science & Vie se faisait l'écho, en octobre dernier, de la découverte de grandes quantités d'eau dans le manteau de la Lune. Une révélation qui avait alors fait vaciller le scénario favori des spécialistes, dit de "l'impact géant", qui postulait que notre satellite serait né d'une collision entre la Terre et une planète plus petite. Si la présence d'eau sapait donc déjà cette hypothèse, l'analyse du titane lunaire lui porte aujourd'hui un coup fatal, relançant un scénario minoritaire, celui d'une naissante conjointe de la Terre et de son satellite.

TOUT EST RELANCÉ!

En effet, en étudiant des échantillons datant des premières missions Apollo, des chercheurs de l'université de Chicago viennent de découvrir qu'ils contiennent exactement les mêmes isotopes du titane que le manteau terrestre. "Ce qui contredit le seul modèle qui pouvait encore sauver le scénario de l'impact géant!", s'exclame Junjun Zhang, principal auteur de l'étude. Ce modèle envisageait la formation, après la collision, d'un gigantesque nuage de gaz qui aurait équilibré la composition des deux astres. "Ce mécanisme peut expliquer pourquoi ils ont la même composition en eau ou en n'importe quel élément volatil... mais pas en titane,

LUNE

AUCUN SCÉNARIO NE TIENT PLUS

La Lune n'est pas née comme on l'a cru d'une collision géante. La découverte d'eau sur notre satellite l'avait déjà suggéré. L'analyse de son titane le confirme aujourd'hui. Mais aucun des scénarios de rechange n'est pour l'heure assez solide.



précise le chercheur. Sa température de condensation étant très élevée, il n'a pas pu se mélanger sous forme gazeuse."

Devant l'évidence, deux autres scénarios voient leur cote remonter. Selon le premier, la Terre et la Lune seraient nées de concert, émergeant d'un même nuage de gaz et de poussières... Mais dans ce cas, il faudrait expliquer pourquoi les densités mesurées sont différentes entre les deux astres. Enfin, second scénario, nommé "hypothèse de la fusion", la Lune pourrait n'être qu'un morceau du manteau de notre planète: à peine formée, ses roches encore en fusion, la jeune Terre aurait

▲ Dans des échantillons lunaires, des chercheurs américains viennent de découvrir des isotopes du titane identiques à ceux du manteau terrestre.

vu une partie de son manteau lui échapper sous l'effet de sa rotation rapide sur elle-même; celui-ci se serait alors aggloméré en orbite, formant son satellite. Mais, là encore, reste à comprendre pourquoi on ne détecte aucune trace dans le mouvement actuel du système Terre-Lune d'une telle rotation. Comme le constate non sans plaisir Bernard Marty, du Centre de recherches pétrographiques et géochimiques de Nancy: "Il faut étudier d'autres éléments, chrome, tungstène, molybdène... et faire tourner les modèles en tenant compte de cette nouvelle contrainte. Bref, tout est relancé!" **M.F.**

L. DE GRANGE/CHICAGO NEWS

Reportage exclusif pour

skypix

Carte du ciel • actu • encyclopédie



Revivez les 15 jours de reportage de **Serge BRUNIER** dans le plus grand observatoire mondial situé à **Cerro Paranal** au Chili.

Deux semaines durant, au mois de juin, notre journaliste Serge Brunier a tenu un blog quotidien depuis les observatoires chiliens de l'ESO (Observatoire européen austral). Ce road-movie, de plus de deux mille kilomètres depuis la côte du Pacifique jusqu'à la cordillère des Andes, est toujours consultable sur l'application Skypix et sur notre site. Vous pouvez y suivre l'histoire de la plus grande institution astronomique du monde, qui fête cette année son premier cinquantenaire. Serge Brunier a commencé son périple à l'observatoire de La Silla, la toute première station d'observation de l'ESO, où se trouve aujourd'hui le plus important instrument de découverte d'exoplanètes. Puis, remontant plein nord la fameuse Panamerica, traver-

sant le désert d'Atacama, il a partagé la vie des astronomes de l'observatoire de Cerro Paranal, le haut-lieu de l'astronomie mondiale contemporaine... Là, au milieu des huit télescopes que constitue le réseau VLT (Very Large Telescope), Serge Brunier nous a fait partager la vision à couper le souffle du plus beau ciel de la planète... Tous ses conseils pour photographier vous-même le ciel cet été sont à retrouver sur son log book. En exclusivité pour Skypix, Serge Brunier a reçu l'autorisation de séjourner seul au sommet du Cerro Armazones, cette montagne isolée au cœur du désert, qui doit accueillir, dans une décennie, le plus grand télescope du monde, le E-ELT (European Extremely Large Telescope). Enfin, c'est à Llano de Chajnantor, à plus de 5000 mètres d'altitude, que ce blog s'est achevé, au beau milieu du champ d'antennes d'Alma, le tout nouvel instrument international qu'Européens, Américains et Japonais érigent actuellement, au cœur des volcans géants des Andes.

Skypix, l'application sur le ciel de Science&Vie, est la seule application iPhone et iPad à vous proposer toute l'actualité astronomique et spatiale ainsi qu'une analyse approfondie de la politique spatiale et de la recherche astronomique. A chaque nouvelle news postée, vous recevez une alerte. Vous pouvez explorer le ciel entier en naviguant dans une photo HD à 360° et consulter des centaines de fiches d'objets célestes illustrées de photos exceptionnelles et proposées également en lecture audio. Véritable encyclopédie, la banque de données de Skypix répertorie des milliers d'objets célestes des catalogues astronomiques Hipparcos, NGC et l'intégralité du catalogue Messier. Skypix vous propose également des tutoriaux vidéo commentés par Serge Brunier, pour apprendre comment photographier le ciel, comprendre la lune au fil des nuits ou bien les saisons du ciel...

Carte du ciel, actualités et encyclopédie, **Skypix** est l'application 3 en 1 indispensable pour vos prochaines explorations du ciel d'été. Retrouvez également toute l'actualité du ciel sur notre site skypix.science-et-vie.com



À tous les astronomes amateurs !

Envoyez-nous vos plus belles photographies d'étoiles, de nébuleuses et galaxies. Les visuels sélectionnés seront publiés sur l'application Skypix, accompagnés de votre nom.

Merci d'envoyer vos photos à skypix.scienceetvie@mondadori.fr en précisant vos coordonnées complètes et autorisation de publication.



Disponible sur
App Store



Retrouvez-nous
sur **Facebook**

HYDROLOGIE

LES ZONES HUMIDES ONT RECULE DANS LE MONDE

Marais, tourbières, mangroves, estuaires, lagunes marquent le pas. Bien qu'elles ne couvrent qu'une infime partie du globe, ces zones humides jouent un rôle majeur dans les activités humaines, la biodiversité, le climat, et le cycle de l'eau. Or, la surface occupée par les zones humides a diminué globalement de 6 % entre 1993 et 2007 d'après le constat dressé par Catherine Prigent (Observatoire de Paris) et son équipe. Un recul qui serait en grande partie à mettre sur le compte de la démographie galopante, en particulier dans les régions tropicales et subtropicales d'Amérique du Sud et d'Asie du Sud. Assèchement des marécages, accroissement du pompage des eaux de surface sont autant de causes à cette régression. Plus surprenant, l'évolution de ces surfaces inondées a été irrégulière au cours des quinze années de suivi : elles ont diminué de manière franche jusqu'en 2002, avant de connaître un léger essor ensuite, sans toutefois revenir au niveau initial. *"Nous n'avons pas d'explication à ce changement de tendance, reconnaît Catherine Prigent. Ces résultats n'apportent donc pas de réponse quant à l'évolution de la situation sur le long terme".*

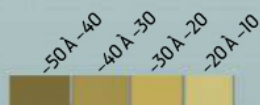
Pa.G.



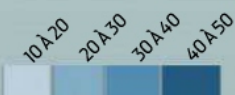
ZONE AFRIQUE
ET EUROPE

Evolution de la surface occupée par des zones humides sur la période 1993-2007

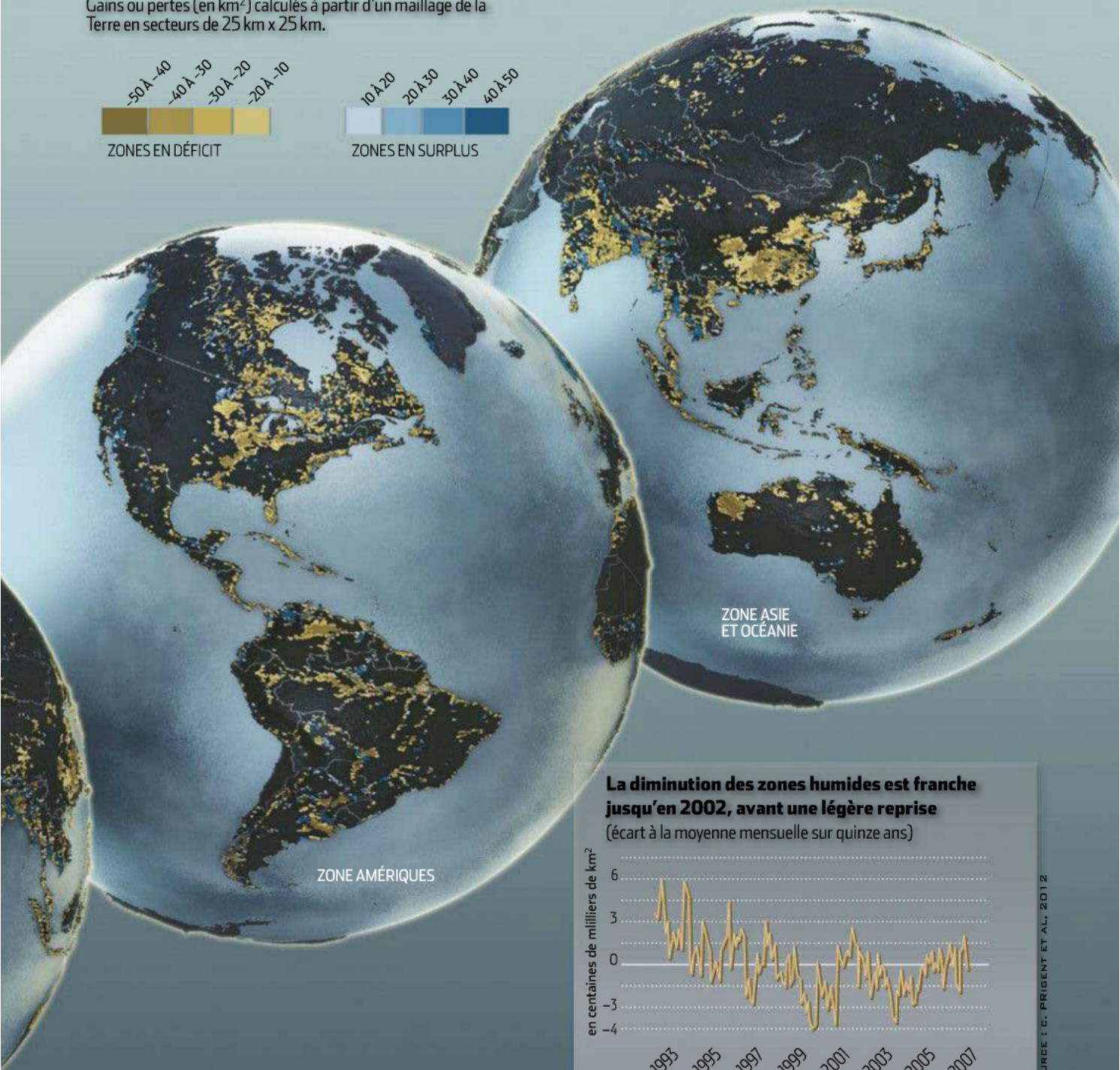
Gains ou pertes (en km²) calculés à partir d'un maillage de la Terre en secteurs de 25 km x 25 km.



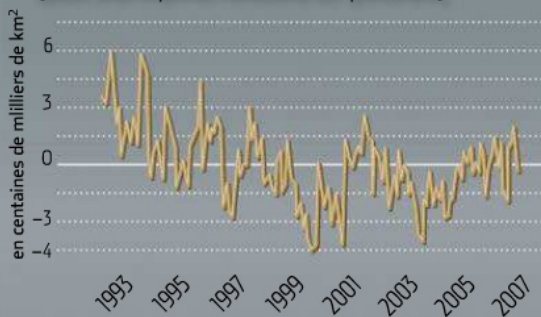
ZONES EN DÉFICIT



ZONES EN SURPLUS



La diminution des zones humides est franche jusqu'en 2002, avant une légère reprise
(écart à la moyenne mensuelle sur quinze ans)



SOURCE : C. PRIGENT ET AL., 2012

5 % des terres émergées sont occupées par des zones humides.

331 milliers de km² de zones humides ont disparu entre 1993 et 2007.

250 espèces de poissons vivent dans les zones humides d'Europe.

Océanographie

LA MÉDUSE N'EST PAS SI INVASIVE

Les méduses sont-elles réellement en train de proliférer dans les océans du monde entier ? Au terme d'une longue enquête, une quinzaine de scientifiques pilotés par Robert Condon, du Dauphin Island Sea Lab (Etats-Unis) n'en sont pas si sûrs. Ils affirment en tout cas qu'il n'existe pas assez de preuves pour parler d'une explosion démographique du zooplancton gélatineux à l'échelle de la planète. Certes, des concentrations exceptionnelles de méduses ont été observées ces dernières années : en mer Noire, dans la Méditerranée, en mer de Béring ou encore au large du Japon. Ces épisodes "spectaculaires" ont sans aucun doute contribué à donner l'impression d'une invasion mondiale,

attribuée à la perturbation des écosystèmes marins par l'homme. Néanmoins, l'examen des données fossiles et de la littérature sur le sujet suggère que de tels foisonnements occasionnels ont toujours existé, et ce dès le Cambrien, il y a quelque 500 millions d'années ! Prudents, les chercheurs reconnaissent qu'ils manquent d'informations et déplorent l'absence de consensus au sein de la communauté scientifique. Ils soutiennent donc un programme de surveillance et de collecte de données, la "Jellyfish Database Initiative". L'aide du grand public est la bienvenue : il suffit de recenser, sur le site internet "jellywatch.org", chacune de ses rencontres avec une méduse.

R.B.



100

C'est le nombre par lequel la concentration de déchets plastiques au milieu de l'océan Pacifique Nord a été multipliée depuis quarante ans. Selon Miriam Goldstein (université de Californie), cette soupe de débris pèserait désormais plusieurs dizaines de millions de tonnes et s'étendrait sur 3,4 millions de kilomètres carrés, soit six fois la superficie de la France !

S.B.

Écologie

Cette fourmi va aider la végétation à se reconstituer

Près de trois ans après la fuite d'un oléoduc dans la plaine de la Crau (Bouches-du-Rhône), la végétation reprend peu à peu ses droits. Et pour l'y aider, des chercheurs du CNRS ont eu l'idée de faire appel à... une fourmi ! A l'automne dernier, ils ont implanté dans le sol des reines fécondées de *Messor barbarus*. Celles-ci donneront naissance à des milliers d'ouvrières qui, en rapportant des graines jusqu'à leur nid, devraient favoriser la dissémination des espèces végétales de cet écosystème unique en Europe.

C.H.



▲ La prolifération de méduses observée ces dernières années, notamment en mer Méditerranée, serait un phénomène cyclique.



CLIMATOLOGIE

ON CONNAÎT MIEUX LES CAUSES DE L'EXPANSION DES TROPIQUES

Avec le changement climatique, les conditions atmosphériques qui règnent dans la zone intertropicale tendent à gagner des latitudes plus élevées. Ainsi, entre 1970 et 2009, la ceinture tropicale s'est étendue de plus de 2,7 degrés de latitude, soit un écart presque équivalent à celui qui sépare Lyon de Perpignan. Un phénomène qui, dans l'hémisphère Nord du moins, serait dû non pas aux émissions de gaz à effet de serre, mais à celles de suie et d'ozone : c'est ce que révèlent les travaux menés par l'équipe de Robert Allen, climatologue à l'université de Californie, à partir de modèles climatiques. *"Même si l'on constate que ces modèles sous-estiment encore largement le phénomène d'expansion des tropiques par rapport à ce qui est observé, nos simulations montrent que la part de responsabilité de la suie et de l'ozone troposphérique [de basse altitude] dans l'expansion tropicale de l'hémisphère Nord est d'environ 70 %",* explique le chercheur. Derrière ce phénomène se cache en réalité une altération, via ces aérosols, de la circulation des courants atmosphériques. Conséquences : l'apparition de cyclones à des latitudes plus élevées, mais aussi le déplacement des zones subtropicales arides vers des zones tempérées, comme le bassin méditerranéen, le sud des Etats-Unis ou le sud de l'Australie.

C.H.



▲ Le climat subtropical aride se déplace vers des zones tempérées, comme ici aux Etats-Unis.

BIOPHOTO - R. ERITJA/AGE FOTOSTOCK - J. BRANDENBURG/MINDEN/CORBIS

CLIMATOLOGIE

DU MÉTHANE S'ÉCHAPPE DE L'OCEAN ARCTIQUE

Après les sols gelés et les sédiments des fonds océaniques, une troisième source d'émissions de méthane a été identifiée dans l'Arctique : les eaux de surface. D'après les mesures aéroportées effectuées par l'équipe d'Eric Kort (Harvard), les zones où la glace de mer est fracturée ou absente laisseraient échapper chaque jour dans l'atmosphère entre 0,5 et 8 milligrammes de méthane par mètre carré. Soit autant que ce qui est dégagé au niveau du plateau continental sibérien, et attribué à la dégradation du pergélisol

(le sous-sol gelé). Ici, le gaz serait produit directement dans les couches d'eaux superficielles par des bactéries, sans être dégradé ensuite en CO_2 . Or, le méthane est un gaz à effet de serre au pouvoir de réchauffement vingt fois supérieur à celui du CO_2 . Avec la hausse anticipée des températures, la couverture de glace de l'Arctique devrait régresser, et les auteurs entrevoient donc une possible amplification de ces émissions de méthane océanique. Ce qui favoriserait le réchauffement, et la fonte des glaces... **S.F.**

BIODIVERSITÉ : ELLE PROTÈGE DES ALLERGIES

Le risque d'allergies et de maladies auto-immunes augmenterait avec le déclin de la biodiversité. Un biologiste finlandais a souligné le rôle essentiel pour le système immunitaire des bactéries de la peau, plus variées chez les personnes vivant à la campagne. **A.Du.**

UN NANO-SOUS-MARIN QUI DÉVORE LE PÉTROLE

Huit micromètres de molécules auto-assemblées et autotrophes : tel est l'engin qui pourrait bientôt nettoyer les marées noires. Couvert d'une couche hydrophobique d'atomes de carbone, ce nano-sous-marin mis au point par Maria Guix (université de Californie) retient des gouttelettes d'huile jusqu'à dix fois plus volumineuses que lui. **A.Du.**

LES PREMIERS POLLINISATEURS

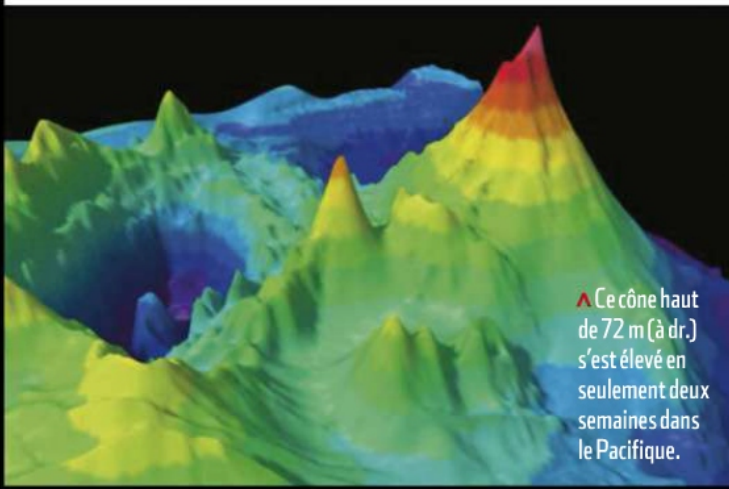
Du pollen de 100 millions d'années a été décelé sur des insectes de moins de 2 mm conservés dans de l'ambre, au Pays basque. Ces thysanoptères auraient collecté le pollen afin de nourrir leurs larves. De quoi éclairer la mise en place de la reproduction sexuée des plantes au Crétacé inférieur. **J.M.**

◀ La fonte de la couverture de glace de l'Arctique pourrait amplifier les émissions de méthane.

GÉOLOGIE

SOUS LA MER, LES VOLCANS NAISSENT ET MEURENT VITE

Au fond des océans, les volcans subissent des pulsations insoupçonnées. Ils peuvent s'élever et s'affaisser de plusieurs dizaines de mètres en quelques jours seulement, d'après les observations d'Anthony Watts (Oxford). À l'aide d'un sonar, ce géologue a suivi les changements survenus à 14 jours d'intervalle dans la morphologie d'un édifice de l'arc des Tonga-Kermadec, une chaîne de volcans sous-marins de 2500 km dans le Pacifique. À sa grande surprise, le cône principal a perdu près de 19 m entre les deux visites, alors qu'un nouveau cône, apparu à proximité, s'élevait déjà à 72 m. Des dizaines de milliers de volcans ponctuent le plancher océanique, mais la majorité échappe à l'observation. **B.B.**

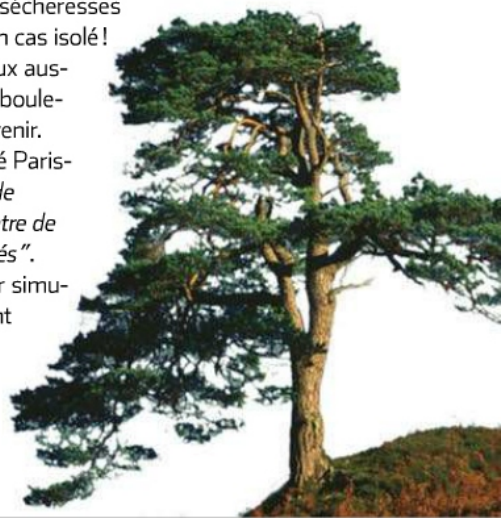


D.AURES/JACANA/EVEDEA - WATTS, UNIV. OXFORD - BIOSPHOTO

SYLVICULTURE

DANS 40 ANS, LE PIN SYLVESTRE SE FERA RARE EN FRANCE

Les projections sont sans équivoque : d'ici à 2050, le pin sylvestre aura totalement disparu des forêts de Bretagne et du Nord-Ouest, et se raréfiera dans celles du Nord-Est et du Centre. Le conifère devrait en effet subir de plein fouet les effets du réchauffement climatique, en particulier des sécheresses à répétition. Et ce n'est pas un cas isolé ! Hêtres et chênes devraient eux aussi voir leur aire de répartition bouleversée dans les décennies à venir. Selon Paul Leadley (université Paris-Sud), "les arbres des plaines de l'ouest, du sud-ouest et du centre de la France seront les plus touchés". Ces projections, obtenues par simulation numérique, permettront d'anticiper les évolutions de ces écosystèmes. **E.H.**



Y A-T-IL ENCORE QUELQU'UN POUR VEILLER SUR LA PLANÈTE?

Par Boris Bellanger



Triste anniversaire... Le 23 juillet 1972, la mise en orbite du satellite *Landsat-1* offrait aux hommes la possibilité de porter enfin un regard sur leur propre planète. Quarante ans plus tard, l'humanité a la vue qui baisse. Pour ne pas dire en berne. Car voici qu'elle vient de perdre l'un de ses principaux organes de la vision : *Envisat* ne répond plus.

Le 9 mai dernier, l'Agence spatiale européenne (ESA) a officialisé la perte du plus imposant satellite jamais dédié à l'observation de l'environnement. Il avait l'œil à la fois sur la température et le niveau des océans, la composition chimique de l'atmosphère, les glissements de terrain, etc. Autant d'observations qui deviennent aujourd'hui, si ce n'est impossibles, en tout cas beaucoup moins précises. Car *Envisat* était le seul à mesurer la composition en CO₂, ozone et méthane à différentes altitudes dans l'atmosphère. C'est aussi lui qui servait à étalonner entre eux les divers satellites chargés de mesurer la température de la surface des océans. Et du coup, c'est tout le suivi de la santé de la Terre, des dérèglements de son climat ainsi que les prévisions de son avenir qui s'en trouvent amoindris. Un comble, au moment même où l'état de notre planète n'a jamais exigé autant d'attention.

Et pour ne rien arranger, les remplaçants d'*Envisat* ne sont pas près d'arriver... Pourtant, le vaillant satellite avait miraculeusement tenu le cap pendant dix ans, soit le double de la durée initiale de sa mission. Malgré cette longévité inespérée, l'ESA n'avait pas correctement anticipé la perte de cet observatoire incontournable. Il faut dire qu'elle avait le secret espoir de maintenir le mastodonte en vie jusqu'en 2014. Si l'Agence a bien planifié la mise en orbite d'une constellation de satellites baptisés *Sentinelles* pour prendre sa relève, les premiers engins ne devraient être lancés que... fin 2013. Trop tard, donc, pour assurer

l'indispensable continuité dans l'observation spatiale de la Terre. Et encore, la relève tant attendue pourrait même ne jamais arriver! Le financement de ces coûteuses missions spatiales fait en effet actuellement l'objet d'âpres tractations. La Commission européenne refuserait ainsi d'allouer près de 6 milliards d'euros pour la phase opérationnelle du programme de surveillance GMES (Global monitoring for environment and security) qui s'appuiera sur les *Sentinelles*. De son côté, l'ESA hésite à lancer ces satellites tant qu'elle n'a pas l'assurance que les missions seront financées. Au sein de l'Agence, on n'hésite pas à parler de "défaillance collective".

L'Europe a la vue qui se voile. Et s'il n'y avait qu'elle... Perdre un œil, c'est dur, deux c'est pis! Or, outre-Atlantique, la cécité guette aussi.

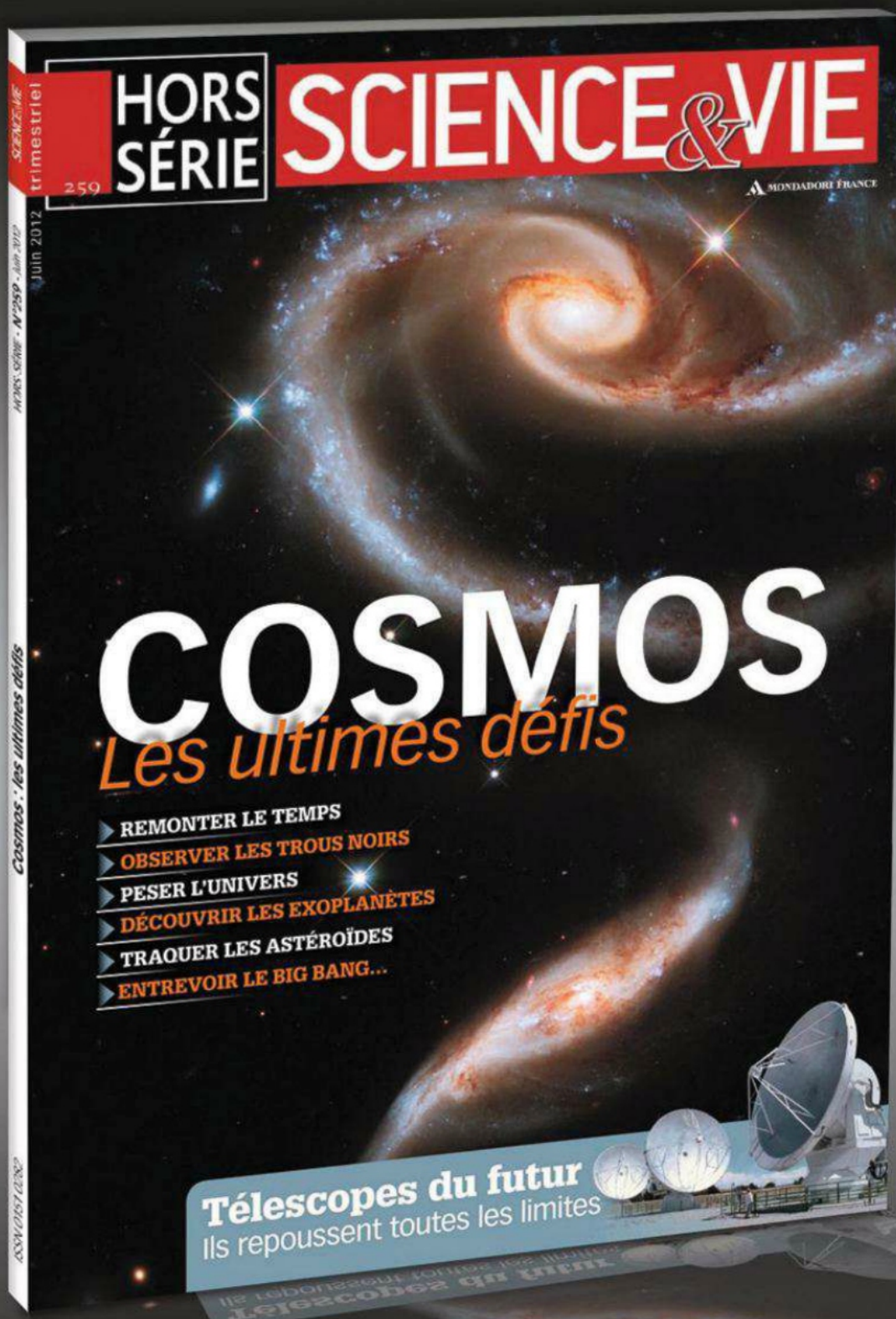
Un rapport du National Research Council publié au début du mois de mai prévoit en effet "un déclin rapide" de la capacité d'observation de la Terre par les Etats-Unis. D'ici à 2020, la présence des Américains

dans l'espace devrait se réduire à 6 missions, contre 25 aujourd'hui. Et le nombre d'instruments de mesure en orbite passerait lui de 90 à 20! Un sombre tableau qui résulte de la combinaison de retards, de coûts croissants et de coupes budgétaires. Déjà pénalisés par la perte au lancement de précieux satellites d'observation de l'environnement (*Cryosat-1* en 2005, *OCO* en 2009 et *Glory* en 2011), les hommes pourraient donc bientôt se retrouver, si ce n'est aveugles, du moins borgnes pour les dix ou vingt années à venir.

LA PERTE D'ENVISAT A RÉVÉLÉ UNE DÉFAILLANCE COLLECTIVE!

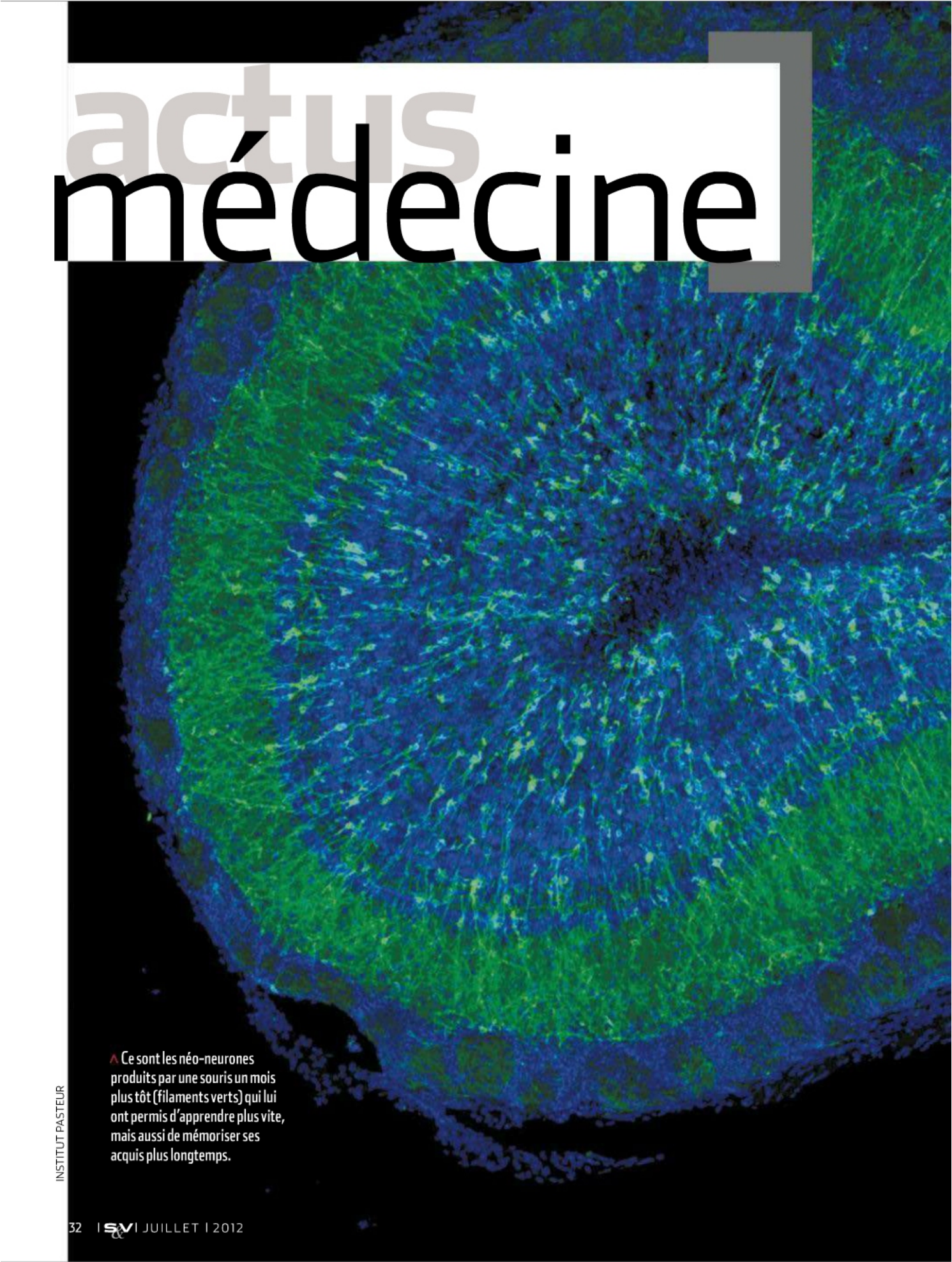
S. AQUINO

[VOIR AU-DELÀ]



EN VENTE ACTUELLEMENT

actus médecine



▲ Ce sont les néo-neurones produits par une souris un mois plus tôt (filaments verts) qui lui ont permis d'apprendre plus vite, mais aussi de mémoriser ses acquis plus longtemps.



NEUROSCIENCES

LES NÉO-NEURONES DOPENT LES CAPACITÉS DU CERVEAU

Si on sait grâce à des études épidémiologiques que l'activité intellectuelle a des effets protecteurs contre les maladies neuro-dégénératives telles que les maladies de Parkinson et d'Alzheimer, les rouages neurologiques de cette protection restaient inconnus... Pierre-Marie Lledo et son équipe, à l'Institut Pasteur, tiennent un début d'explication: ils ont mis en évidence l'implication

de neurones fraîchement produits dans l'apprentissage des souris adultes. Pour ce faire, ils ont eu recours à l'optogénétique qui, en mariant optique et génétique, permet de repérer les "jeunes" cellules avec un simple faisceau de lumière de couleur. Les chercheurs ont alors réussi à stimuler les néo-neurones identifiés dans le bulbe olfactif des souris. Conséquences: "Les animaux dont on active les

neurones produits un mois plus tôt voient leur temps d'apprentissage divisé par deux", explique Pierre-Marie Lledo. Plus intéressant encore, cet apprentissage reste ensuite vivace plus longtemps. Les rongeurs stimulés se souviennent parfaitement des exercices jusqu'à cinquante jours après l'arrêt des expérimentations, contre trente chez les souris non stimulées. "Ce qui démontre, selon le

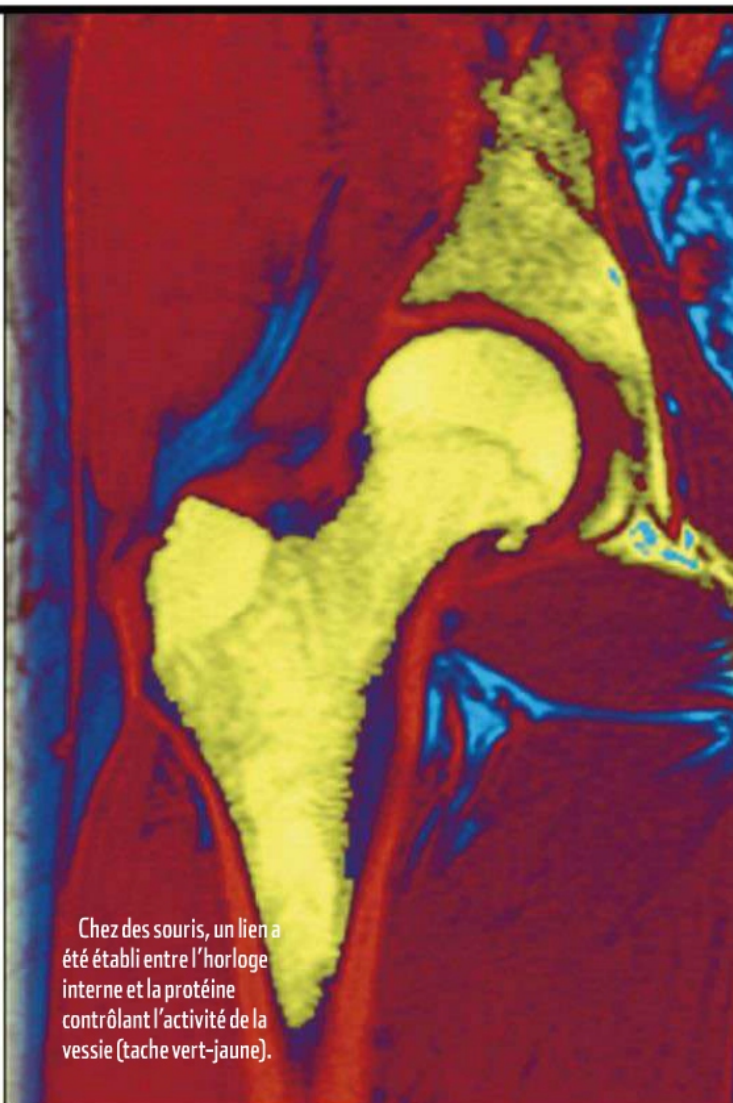
chercheur, que l'activité de quelques neurones produits chez l'adulte peut avoir un effet important sur les processus cognitifs et le comportement. Par ailleurs, on sait que plus on entretient son activité mentale, plus on produit de néo-neurones et plus on est capable d'acquérir de nouvelles compétences cognitives: c'est un cercle vertueux! Le cerveau ne s'use que lorsqu'on ne s'en sert pas!" **F.H.**

UROLOGIE

LE "PIPI AU LIT" DÉVOILE UNE CAUSE INTERNE

Dormir est une activité beaucoup plus complexe qu'il n'y paraît ! Pour y arriver, de nombreux paramètres doivent être régulés, comme celui de la fréquence d'urination, qui est en général fortement diminuée la nuit. Comment ? C'est ce que des chercheurs japonais viennent de découvrir : notre horloge biologique interne serait programmée afin d'augmenter la capacité de stockage de notre vessie pendant notre sommeil. En effet, chez des souris saines, la quantité de connexine 43, une protéine impliquée dans l'activité des cellules musculaires entourant la vessie, diminue pendant la période de sommeil. Ces muscles se contractent alors moins, et la vessie se vide moins souvent.

Cependant, chez des souris dont l'horloge interne est perturbée, la quantité de cette protéine reste constante et la fréquence d'urination élevée. Cette découverte ouvre une piste d'explication, et surtout de soins pour les "pipis au lit" trop fréquents de certains enfants, ainsi que pour les besoins d'uriner qui réveillent souvent les personnes âgées. En effet, *"l'horloge circadienne n'est pas encore tout à fait mature chez les enfants, et se voit souvent perturbée chez les personnes âgées"*, explique Akihiro Kanematsu, un des auteurs de l'étude. Ce chercheur poursuit actuellement une piste complémentaire qui impliquerait la régulation de la production d'urine par les reins. **E.A.**

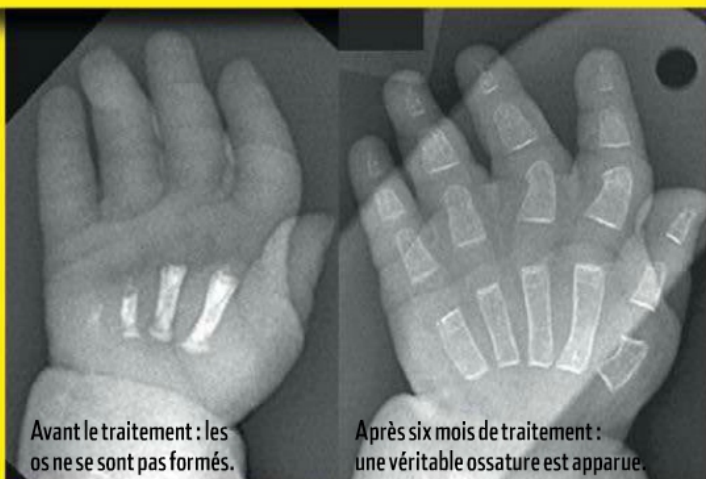


Chez des souris, un lien a été établi entre l'horloge interne et la protéine contrôlant l'activité de la vessie (tache vert-jaune).

PÉDIATRIE

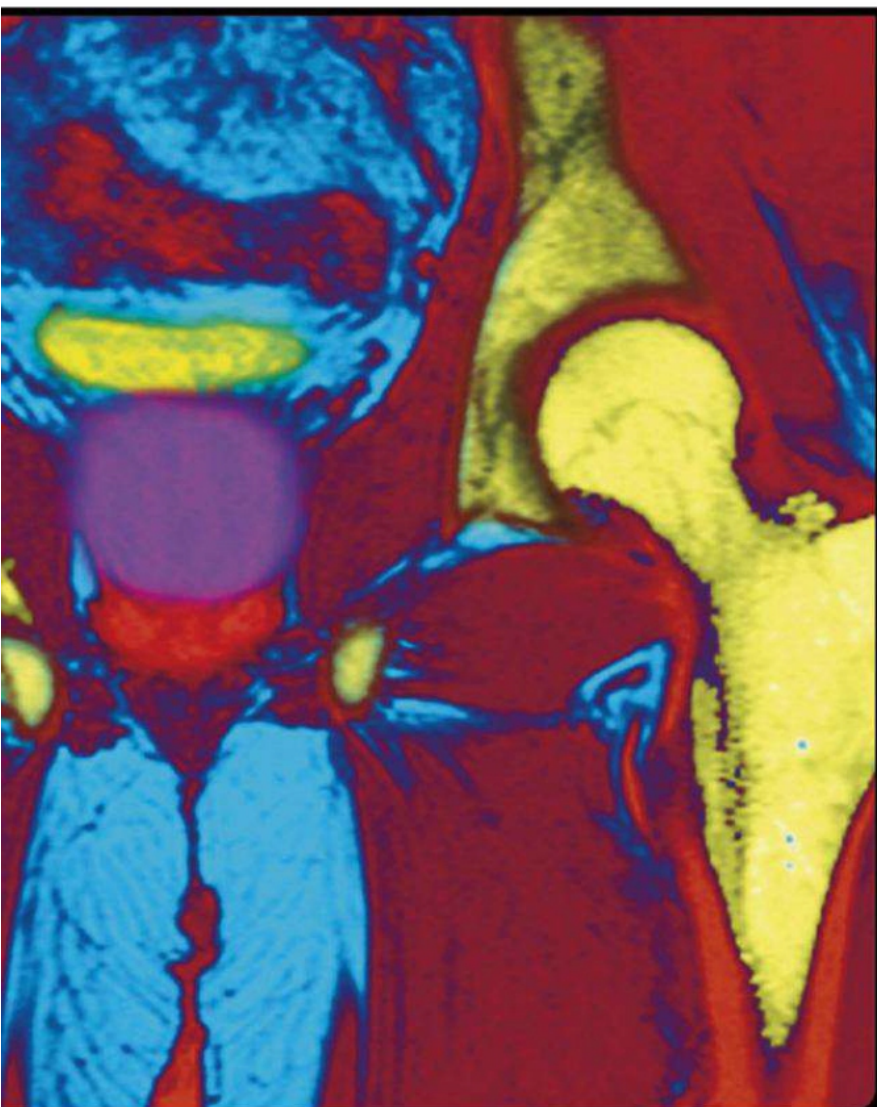
Une maladie rare des os va enfin pouvoir être traitée

L'hypophosphatasie, maladie génétique touchant les très jeunes enfants (1 sur 100 000), peut être mortelle et se traduire par des fractures, un rachitisme, une insuffisance respiratoire. Or, un traitement a enfin été testé avec succès. La maladie étant due à la malformation d'une enzyme cruciale dans la minéralisation osseuse, une forme synthétique de celle-ci a été administrée à 11 enfants. Après six mois, le rachitisme était réduit chez la plupart ; après un an, 6 respiraient sans assistance, rampaient ou marchaient. Reste à vérifier l'innocuité du traitement. **F.H.**



Avant le traitement : les os ne se sont pas formés.

Après six mois de traitement : une véritable ossature est apparue.



PHARMACOLOGIE

UN SIMPLE MÉDICAMENT PEUT PROTÉGER DU SIDA

Cet antirétroviral utilisé dans le traitement de l'infection du sida vient d'être autorisé en tant que traitement préventif aux Etats-Unis. Son efficacité a en effet été évaluée à 90 % sous forme de prise quotidienne (75 % s'il n'est pris que 4 jours sur 5). En France, le Conseil national du sida et le groupe d'experts sur la prise en charge du VIH s'y sont également déclarés favorables. Selon eux, ce traitement sera rentable s'il est réservé aux personnes à haut risque d'infection. Pour l'heure, le seul moyen d'y accéder gratuitement est de participer à l'essai clinique d'évaluation du Truvada par l'Agence nationale de recherche contre le sida. **P.C.**

N.BORDEN/DSIP - M.WHITE ET AL./MASSACHUSETTS MEDICAL SOCIETY - J.CHIN/AP/SIPA

15 millions

C'est le nombre de prématurés (avant 37 semaines) nés chaque année dans le monde, soit plus d'une naissance sur dix. Parmi eux, 1,1 million succombent, surtout dans les pays pauvres, et plusieurs millions souffrent de handicaps à vie. C'est donc la première cause de décès chez les nouveau-nés, et la deuxième chez les moins de 5 ans après la pneumonie. Or, selon un rapport de l'Onu, près des trois quarts pourraient survivre si des soins adaptés étaient développés. E.A.



APPENDICITE

L'OPÉRATION NE SERA PLUS SYSTÉMATIQUE

C'est plus sûr et c'est moins cher. Une étude vient de montrer qu'une simple cure d'antibiotiques permet dans 63 % des cas d'éviter l'appendicectomie. Le moyen de conserver demain son appendice... en attendant de savoir à quoi il sert !

Responsable de 80 000 hospitalisations par an en France, l'appendicite est la plus courante des urgences chirurgicales. Le passage au bloc pourrait pourtant devenir une exception. Selon une vaste étude internationale, l'inflammation de l'appendice (cette petite excroissance du gros intestin) se traiterait aussi efficacement par une simple cure d'antibiotiques ! Une révolution. Moins risquée et moins onéreuse, cette alternative présente également l'avantage d'éviter l'ablation de cet appendice, dont on ignore encore le rôle biologique exact.

Utiliser des antibiotiques : l'idée n'est pas neuve. Malgré des faiblesses méthodologiques, des études avaient déjà suggéré leur pouvoir dans 80 % des cas (appendicites aiguës non compliquées). La force des derniers travaux, réalisés par l'équipe de Krishna Varadhan du Queen's Medical Centre à Nottingham (Royaume-Uni), est qu'il s'agit d'une "méta-analyse" de quatre études antérieures publiées entre 1995 et 2011,

comptabilisant 900 patients. La moitié d'entre eux a été traitée par appendicectomie, l'autre par antibiotiques (amoxicilline et acide clavulanique ; céfotaxime et métronidazole ; ou céfotaxime et tinidazole). Résultat : le taux de succès à un an avec les antibiotiques est de 63 % ! Autrement dit, seuls 37 % des personnes traitées avec des antibiotiques ont dû être retraités, par antibiotiques ou chirurgie, du fait d'une reprise de leurs symptômes. Surtout, le risque de complications a été réduit de 31 % par rapport à la chirurgie.

UN APPENDICE QUI FAIT DÉBAT

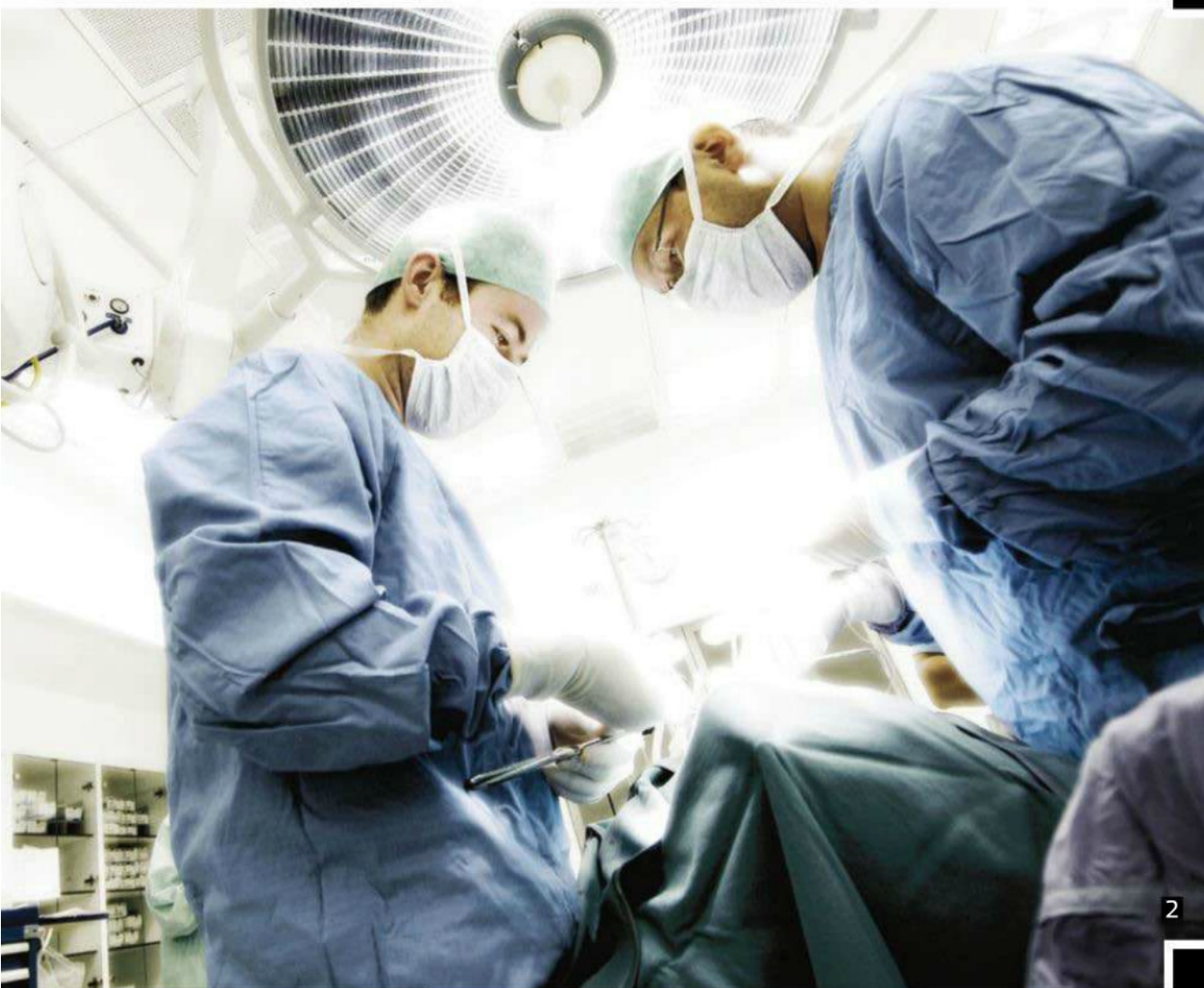
"Notre analyse montre que les antibiotiques peuvent être utilisés comme traitement de première intention pour l'appendicite non compliquée", expliquent les auteurs. Et cette étude est d'autant plus intéressante qu'à ce jour, la polémique sur l'utilité de l'appendice dans le fonctionnement du corps humain est loin d'être tranchée. Certains chercheurs sont

FAITS & CHIFFRES

Rare avant 5 ans, l'appendicite survient dans 70 % des cas avant 30 ans. Dans les années 1980, on comptait 300 000 appendicectomies par an en France ; en 2009, ce chiffre est tombé sous les 90 000 grâce à une amélioration du diagnostic due aux progrès de l'imagerie.

convaincus qu'il s'agit d'un vestige inutile de l'évolution, quand d'autres estiment qu'il jouerait une fonction biologique essentielle. En 2009, des chercheurs américains avaient ainsi avancé l'idée – sans la démontrer rigoureusement – que cette petite excroissance renfermerait de "bonnes bactéries" capables de recoloniser l'intestin quand sa flore est dévastée, par une diarrhée par exemple. D'où l'intérêt d'éviter au maximum son ablation. Mais les chirurgiens pourraient y perdre une véritable manne...





La vraie limite à la généralisation des traitements antibiotiques, ce sont les formes compliquées d'appendicite qui, elles, continueront d'être opérées en urgence. Or, pour l'instant, la seule façon de vérifier la gravité d'un cas est justement... d'opérer. Il faut donc surtout miser sur une amélioration de l'imagerie médicale et *"s'assurer que les scanners permettent de bien diagnostiquer les cas compliqués"*, précise Corinne Vons (hôpital Jean-Verdier, Bondy), auteure d'une des quatre études concernées. *"En attendant, alerte-t-elle, il ne faut surtout pas décider de se mettre tout seul aux antibiotiques."* **K.B.**

1 Plusieurs antibiotiques ont déjà fait leur preuve dans le traitement de l'appendicite : ils permettraient non seulement d'éviter l'opération, mais diminueraient de 31 % les risques de complications...

2 ... des risques qui restent inhérents à l'intervention chirurgicale.

LES ANTIBIOTIQUES TRAITENT DÉJÀ L'ULCÈRE

L'appendicite va-t-elle connaître la même révolution que l'ulcère ? Affectant 10 % des Français et correspondant à la formation d'une plaie à l'intérieur de la paroi de l'estomac (ulcère gastrique) ou de l'intestin (ulcère duodénal), l'ulcère a longtemps été traité presque systématiquement par voie chirurgicale... comme l'appendicite actuellement ! Jusqu'à ce qu'en 1985, deux Australiens, Robin Warren et Barry Marshall (prix Nobel de médecine en 2005), réussissent à démontrer que la plupart des cas d'ulcère étaient dus à une simple bactérie, baptisée *Helicobacter pylori*. Laquelle peut être éradiquée grâce à de simples antibiotiques (l'amoxicilline et la clarithromycine). Depuis, le recours à la chirurgie est réservé aux rares cas de complications (hémorragie ou rupture de l'ulcère).

actus technos





NAUTISME

LE BATEAU SOLAIRE A RELEVÉ LE DÉFI

Exploit accompli pour le catamaran *MS Tûranor PlanetSolar*! Arrivé à Monaco le 4 mai 2012 après plus de dix-neuf mois de navigation, il est le tout premier bateau à boucler le tour du monde en puisant uniquement son énergie des rayons du soleil. Pour y parvenir, il n'aura pas suffi de recouvrir la surface de son pont (537 m²) de panneaux photovoltaïques : *"Le défi technique était aussi de construire un bateau qui soit efficace énergétiquement, explique le Suisse Raphaël Domjan, à l'origine du projet. C'est pourquoi le PlanetSolar rassemble les dernières technologies existantes en matière d'hydro- et d'aérodynamique, de propulsion et de stockage d'énergie."* Pour l'alléger, sa structure

a été conçue en matériau composite à base de carbone. Pour le faire avancer, ses panneaux solaires alimentent quatre moteurs électriques de 120 kW, qui font tourner deux gigantesques propulseurs à hélice (deux fois plus grands que ce qui se fait habituellement). Et, pour qu'il navigue même par temps couvert (jusqu'à trois jours sans soleil), il embarque six blocs de batteries lithium-ion pour stocker le surplus d'énergie solaire. Bilan : ce catamaran de 31 m de longueur – le plus grand bateau solaire du monde – a filé à la vitesse moyenne de 5 nœuds (environ 9 km/h). *"Nous avons réussi à propulser un bateau de 9 t avec une puissance équivalente à celle d'un scooter",* résume Raphaël Domjan. **L.B.**

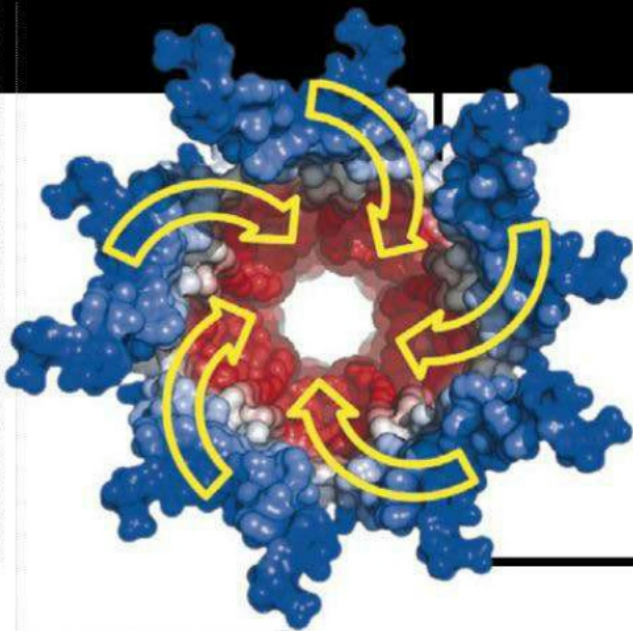
▲ Le *MS Tûranor PlanetSolar* est le premier bateau à boucler le tour du monde grâce à la seule énergie solaire : ses 9 tonnes ont filé à 9 km/h de moyenne pendant dix-neuf mois.

ARCHITECTURE

CETTE TOUR PEUT RÉSISTER À TOUT

Une pagode, une plate-forme pétrolière et un arbre ! Voilà les trois sources d'inspiration inédites qui ont guidé les architectes japonais de Nikken Sekkei pour construire la Tokyo Sky Tree. Avec ses 634 m de hauteur, cet édifice devient la tour de télécommunication la plus élevée du monde et le deuxième plus grand monument derrière la Burj Khalifa, à Dubaï. Pour tenir compte des risques de catastrophes naturelles (séismes, typhons...), les ingénieurs ont choisi de copier les pagodes traditionnelles, construites autour d'un pilier central. Cette colonne assure ainsi la stabilité de l'édifice en reliant tous les étages, comme une épine dorsale.

En cas de séisme, le pilier de béton sert d'amortisseur de masse, contrebalançant les mouvements de la structure externe. A l'extérieur, le treillis de tubes d'acier creux s'inspire, lui, des plates-formes pétrolières. Ces tubes offrent une moindre prise au vent que les poutres habituelles. Enfin, pour résister aux éléments, la tour compte sur ses racines : l'ossature extérieure se prolonge jusqu'à 50 m sous terre, tandis que le pilier central se ramifie et s'enfonce dans le sol. Des murs de béton enterrés relient également ensemble toutes les "racines de l'arbre". Preuve de sa stabilité : le terrible séisme de mars 2011 n'a pas du tout affecté sa construction ! **A.Du.**



ÉNERGIE

M13, LE VIRUS QUI PRODUIT DE

M13, un virus inoffensif pour l'homme, produit du courant ! La preuve : des chercheurs du Lawrence Berkeley National Laboratory (Californie) ont réussi à produire de l'électricité à partir d'un "sandwich" de M13 emprisonnés entre deux plaques pourvues d'électrodes et reliées à un écran LCD.

Une simple pression sur les plaques a suffi pour activer l'affichage de l'écran ! Le secret de cette expérience ? Il réside dans les propriétés piézoélectriques du virus : quand on exerce une pression sur lui, il se déforme et ses peptides libèrent des électrons (flèches jaunes)... faisant de lui une source

POUR NE PLUS GASPILLER LES FRUITS

Des chercheurs du MIT (Etats-Unis) ont mis au point un capteur composé de dizaines de milliers de nanotubes de carbone qui détecte précisément le niveau d'éthylène émis par les fruits lorsqu'ils mûrissent. Plus petit et surtout beaucoup moins cher que les dispositifs existants, il aiderait les distributeurs à gérer leurs stocks et à réduire le gaspillage. **L.B.**

LE TOMBEAU DE TCHERNOBYL

Vingt-six ans après la catastrophe, l'assemblage du nouveau sarcophage composé de poutrelles métalliques vient de commencer à Tchernobyl. Ces segments d'acier, de 300 t et 25 m de haut, vont être placés au-dessus du réacteur pour retenir les particules radioactives actuellement mal contenues par le sarcophage d'origine, fissuré. Fin des travaux en 2015. **A.Du.**

FINI LES TACHES

Un nouveau revêtement à base de coton vient d'être inventé par l'équipe de Yan Zhao de l'université de Deakin (Australie). Constitué de nanoparticules de silice, il fait rebondir, comme le Téflon, les gouttes de liquide et protège ainsi des taches. Il peut résister à 50 lavages ! **S.F.**

INTERFACE

UNE HANDICAPÉE A DIRIGÉ UN ROBOT PAR LA PENSÉE

Grande première: une femme victime depuis plus de quinze ans du *locked-in syndrome* (elle est entièrement paralysée mais parfaitement consciente) a réussi à manipuler un bras articulé... simplement en y pensant. En se concentrant sur un mouvement comme si elle dirigeait son propre membre, elle s'est saisie d'un thermos sur une table, l'a dirigé vers sa bouche et a aspiré son contenu avec une paille. Pour relever ce défi, une micro-puce de 4 mm constituée de 96 canaux a été implantée sur son cortex moteur, où les impulsions électriques du mouvement sont émises. Les signaux envoyés ont ensuite été interprétés par un ordinateur dont l'algorithme convertit les données en mouvements. La performance du système BrainGate, un projet américain mené par quatre universités, est triple: c'est d'abord la première fois qu'un humain coordonne les mouvements d'un bras articulé dans les trois dimensions de l'espace. Ensuite, elle contredit certains chercheurs qui doutaient qu'un patient atteint de ce syndrome depuis si longtemps puisse être capable de commander un tel mouvement. Enfin, implantée il y a cinq ans, la puce a montré qu'elle restait utilisable même si des tissus cicatriciels se formaient dans le cerveau, diminuant l'intensité du signal. Les patients touchés à la moelle épinière, tels les tétraplégiques, pourraient eux aussi bénéficier de cette avancée. Petits bémols tout de même: la machine doit être calibrée durant une demi-heure avant chaque utilisation, et le temps de réaction du bras par rapport au moment où la patiente "commande" le mouvement reste encore de dix secondes. **J.M.**

▼ Cette victime du *locked-in syndrome* a réussi à boire seule: une puce placée sur son cortex a envoyé des signaux, convertis en mouvements par un algorithme, à un bras articulé.



LBNL - KYODO/MAXPPP - BRAINGATE2.ORG

L'ÉLECTRICITÉ

énergétique biologique. "A l'avenir, nous pourrions décliner ce dispositif dans des chaussures, envisage Seung-Wuk Lee, qui a dirigé l'expérience. Ainsi, chacun de nos pas serait converti en électricité afin, par exemple, de recharger notre téléphone, pour peu qu'il soit connecté au système." **S.B.**

J'IMAGINE COMMUNIQUER AU MOYEN DE NEUTRINOS

SON IDÉE

DANIEL STANCIL, physicien à l'université Carnegie Mellon de Pittsburgh (Etats-Unis).

Science & Vie: *Quand vous est venue cette idée ?*

Daniel Stancil: Quand j'ai découvert que la machine pour communiquer avec des neutrinos existait ! Dès que les physiciens ont compris, à la fin des années 1950, que ces insaisissables particules baignaient l'Univers, ils ont imaginé qu'ils seraient des vecteurs idéaux pour envoyer des messages. Car les neutrinos ne rencontrent aucun obstacle : ils peuvent traverser la Terre entière, parcourir des centaines de kilomètres sous l'eau sans être déviés... Un physicien polonais, Mieczyslaw Subotowicz, avait proposé de les utiliser pour envoyer des messages vers les galaxies lointaines ! Mais il fallait d'abord réussir à en fabriquer.

S&V: *Et c'est possible désormais ?*

D.S.: En 2009, je me suis aperçu que le Fermilab, un laboratoire américain qui étudie

les propriétés fondamentales des particules, abritait la machine qui manquait à Subotowicz : un faisceau et un détecteur de neutrinos. J'ai proposé l'idée au responsable du laboratoire... Il m'a dit que c'était l'une des plus excitantes qu'il avait jamais reçue !

S&V: *Avez-vous essayé d'envoyer un message en neutrinos ?*

D.S.: Oui. En modifiant le faisceau du Fermilab afin qu'il produise des impulsions, nous avons codé avec mon équipe les lettres du mot... "neutrino" en langage binaire. Puis nous avons lu ce message avec le détecteur, à 1 km de là. La preuve est faite : communiquer avec des neutrinos est possible !

S&V: *Il ne s'agit pour l'instant que d'une performance de laboratoire...*

D.S.: Il est vrai que le détecteur du Fermilab pèse 170 t, est en-

Les neutrinos, ces particules dont les propriétés ne cessent d'étonner les physiciens, ont une particularité : rien ne les arrête. Elles traversent sans encombre des centaines de kilomètres de roches et d'eau. D'où l'idée de s'en servir pour envoyer des messages d'un bout à l'autre de la planète ou vers des sous-marins immergés plusieurs kilomètres sous la surface.

fou à 100 m de profondeur... Mais rien ne dit que des détecteurs plus compacts ne verront pas le jour. Car si nous parvenions à mettre au point un système de communication à neutrinos, nous pourrions envoyer des messages vers l'Australie en passant par le centre de la Terre, ou vers une sonde spatiale cachée derrière la Lune, ou encore vers un sous-marin immergé à grande profondeur !

S&V: *Un autre essai est-il prévu ?*

D.S.: Pas pour l'instant. Maintenant que nous avons prouvé que ça marche, nous nous concentrons sur la théorie. Nous sommes en train de formuler des modèles mathématiques pour optimiser la transmission du signal et nous allons les tester grâce à des simulations numériques. Comme ça, quand des détecteurs de neutrinos seront prêts, nous le serons aussi !

Propos recueillis par M.F.

L'ÉOLIEN OFFSHORE

POURQUOI LA FRANCE S'Y MET MAINTENANT

Doubler la part des énergies renouvelables d'ici à 2020 : l'engagement pris par la France passe par l'éolien. Or, l'offshore est deux fois plus efficace que le terrestre...

En scrutant l'horizon depuis les côtes françaises, vous apercevrez bientôt... des éoliennes. Les autorités on en effet décidé, en avril dernier, d'installer quatre parcs éoliens au large de Fécamp (Seine-Maritime), Courseulles-sur-Mer (Calvados), Saint-Nazaire (Loire-Atlantique) et Saint-Brieuc (Côtes-d'Armor). Il est vrai que la France est en retard par rapport à ses voisins d'Europe du Nord – Royaume-Uni et Danemark en tête – qui totalisent une cinquantaine de parcs, alors qu'elle n'en possède... aucun ! Mais *“l'éolien maritime n'en est qu'à ses débuts”*, tempère Jean-Louis Bal, président du Syndicat des énergies renouvelables. La filière ne cumule que 4 000 MW de puissance installée en Europe, soit une couverture de 0,4 % des besoins électriques européens...

Pourquoi la France a-t-elle tant attendu ? D'autant

que, avec 5 853 km de côtes et des vents parmi les plus forts, nous possédons le deuxième potentiel éolien d'Europe, après le Royaume-Uni. Réponse : près de 80 % de notre énergie vient du nucléaire. Tandis que nos capacités de production hydroélectrique sont importantes. A quoi bon, dès lors, développer de nouvelles sources d'énergie...

MISE EN SERVICE EN 2018

C'était avant que le Grenelle de l'Environnement, en 2010, ne fasse bouger les lignes. Son objectif ? Doubler la part des énergies renouvelables d'ici à 2020. Son projet ? L'installation d'une puissance électrique offshore de 6 000 MW, qui permettrait de satisfaire 3,5 % de la consommation des foyers français. Sachant que, par rapport aux éoliennes terrestres, qui totalisent près de 7 000 MW, une éolienne offshore produit deux fois plus



REPÈRES

En **1991**, le Danemark est le premier pays à déployer un parc éolien en mer (11 machines de 450 kW).

En **2010**, le Grenelle de l'Environnement (loi Grenelle 2) fixe pour mission d'identifier les zones propices au développement de l'éolien offshore en France.

En **avril 2012**, quatre sites maritimes sont confiés à des industriels pour y installer les premières éoliennes. Mise en service prévue à partir de 2018.

d'énergie du fait de sa taille. Décision a donc été prise de définir les zones propices à l'installation d'un tel parc. Puis d'attribuer aux industriels, via un appel d'offres en juillet 2011, les premiers sites d'une puissance totale de 2 000 MW. Les travaux commenceront en 2015, pour une mise en service en 2018. Un deuxième appel d'offres, pour Le Tréport et Noirmoutier, devrait suivre cette année. A ce rythme, Jean-Louis Bal le concède, *“l'objectif de 6 000 MW en 2020 sera difficilement atteignable”*...

Reste cependant que le prix de cette énergie est encore trop élevé. Ce qui pourrait se répercuter sur la facture... Mais *“ce tarif va diminuer et approcher celui du marché dans quelques années, assure Jean-Louis Bal, d'autant que le prix des énergies traditionnelles suit une courbe inverse”*. L'éolien offshore serait alors compétitif.

L.B.

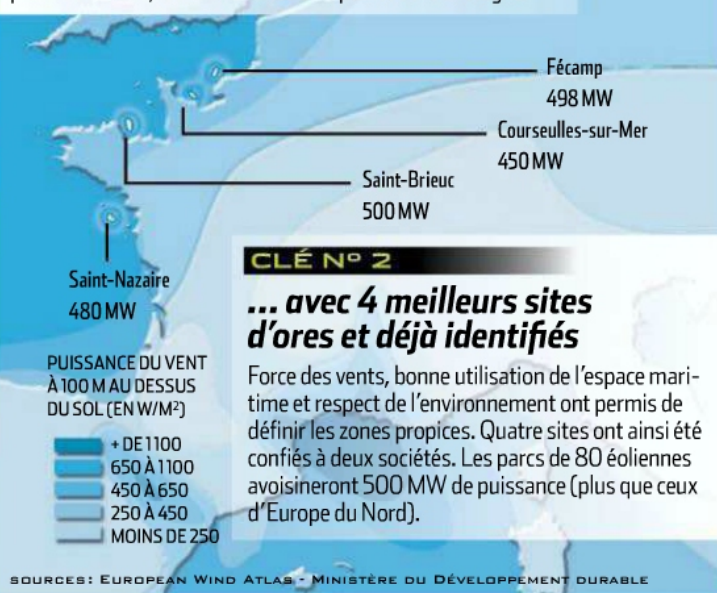
PLANGROCK/ZENIT-LAIF-RÉA - M.KONTENTE



CLÉ N° 1

Une façade maritime idéale pour installer des éoliennes offshore...

La France est le 2^e "gisement" éolien d'Europe, avec l'une des plus longues façades maritimes. Les côtes de l'Atlantique, de la Manche et de la mer du Nord s'avèrent les plus favorables à l'installation d'éoliennes. La trop grande profondeur des fonds exclut, pour le moment, la Méditerranée et la pointe de la Bretagne.



CLÉ N° 2

... avec 4 meilleurs sites d'ores et déjà identifiés

Force des vents, bonne utilisation de l'espace maritime et respect de l'environnement ont permis de définir les zones propices. Quatre sites ont ainsi été confiés à deux sociétés. Les parcs de 80 éoliennes avoisineront 500 MW de puissance (plus que ceux d'Europe du Nord).

▲ Si le Danemark (ici, un parc éolien près de Copenhague) et le Royaume-Uni sont aujourd'hui en pointe en matière d'éolien offshore, la France possède un potentiel élevé qu'elle compte désormais exploiter.

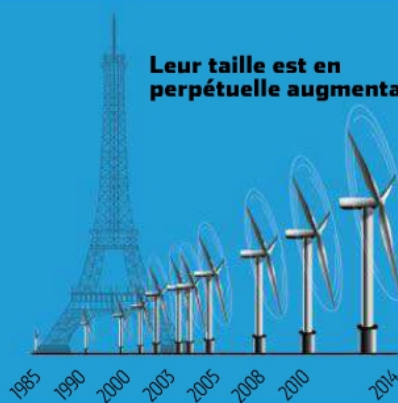
CLÉ N° 3

L'offshore permet aux éoliennes de gagner en puissance...

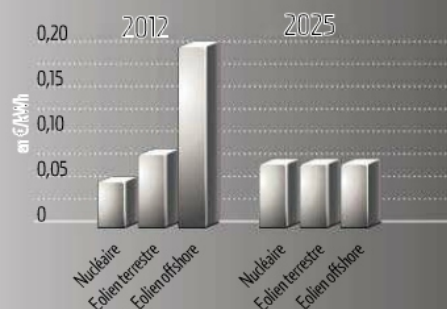
En mer, les vents sont plus forts et réguliers qu'à terre. Pour exploiter cette énergie, la taille, et donc la puissance, des éoliennes offshore n'a cessé d'augmenter au fil des années, atteignant aujourd'hui 6 MW pour 150 m de diamètre (contre 3 MW et 80 à 100 m de diamètre pour les éoliennes terrestres), ce qui permet de couvrir les besoins annuels en électricité de 6 600 foyers. Et cela devrait continuer, la seule limite étant la rentabilité économique de machines encore plus grandes.

SOURCE : EUROPEAN WIND ENERGY ASSOCIATION

Leur taille est en perpétuelle augmentation



Prévision des coûts de production



CLÉ N° 4

... Et l'Etat soutient les industriels en attendant que les coûts baissent

L'électricité offshore coûte encore cher, même face à l'éolien terrestre : 0,20 €/kWh contre 0,08, car implanter des éoliennes en mer est deux fois plus onéreux qu'à terre. Mais une réduction des coûts de production, et donc du prix, jusqu'à un niveau proche du marché est envisagé vers 2025. D'ici là, EDF s'est engagé à racheter cette électricité entre 0,18 et 0,20 €/kWh, l'Etat prenant en charge une partie de ce surcoût.

GOOGLE

LE NOUVEL EINSTEIN

De plus en plus de découvertes scientifiques sont désormais le fait de logiciels inspirés de Google. Des logiciels qui moissonnent aveuglément d'immenses bases de données, en quête de liens statistiques. Les prochaines révélations de la science seront-elles encore le fruit du génie humain ? La révolution des "big data" pose aujourd'hui la question.

PAR F. LASSAGNE, R. ICONIKOFF, AVEC A. DEBROISE,
M. GROUSSON, J. MICHAUX, M. FONTEZ



C'est un véritable génie de la science. Il est à la fois un généticien hors pair, qui a récemment découvert quatre gènes liés au cancer du foie; un grand neurologue, qui a ciblé dans le cerveau une origine probable de la migraine; un physicien distingué, qui a mis en équation des systèmes complexes; un épidémiologiste efficace, qui a détecté le premier de nombreux foyers de maladie; mais aussi un psycholinguiste de haute volée, un expert du plancton, un

spécialiste de la mécanique, un crack de la chimie, un as de l'astronomie...

Ce génie multidisciplinaire, c'est... Google! Ou plus exactement, c'est l'ensemble des logiciels inspirés du fameux moteur de recherche sur Internet, parfois produits par la firme californienne elle-même. Des logiciels qui, depuis quelques années, sont auréolés d'un nombre croissant de découvertes. Google se pare désormais de vertus scientifiques telles que d'aucuns voient →

→ en lui la meilleure chance qu'ait la science de défricher de nouveaux territoires. Le génie d'Einstein, qui au siècle passé a emporté le savoir vers de nouveaux horizons, se voit aujourd'hui relayé par celui des algorithmes analysant sans relâche des océans de données (ou "data"). Ce sont les machines qui, désormais, font les découvertes, là où les expériences, les théories ou les géniales intuitions, jalons traditionnels de l'apparition de nouvelles connaissances, semblent ne plus suffire pour aller plus loin. Est-ce le début d'une nouvelle façon de faire de la science, baptisée "big data" ("données massives")? Dans toutes les disciplines, en tout cas, des chercheurs s'en remettent à la méthode du plus performant des moteurs de recherche... qui est d'ores et déjà devenu l'un des plus puissants moteurs de "la" recherche! (voir infographie ci-contre) Une sorte de nouvel Einstein, dont le génie serait le traitement maximisé des données.

Sa puissance est facile à éprouver. Il suffit d'effectuer une requête sur Google. En quelques centièmes de seconde sont extraites les informations pertinentes à partir des 20 pétaoctets de données traitées chaque jour (soit 20 fois le volume total de données stockées par la Bibliothèque nationale de France). Le secret de cette efficacité? La capacité à analyser automatiquement, à très grande vitesse, les liens susceptibles de relier des informations entre elles au sein de ce magma de données. Une capacité assurée par des algo-

LA SCIENCE A BASCULÉ DANS L'ÈRE DES "BIG DATA": L'ÈRE DU DÉLUGE D'INFORMATIONS

algorithmes taillés sur mesure, voire par de gigantesques "fermes" de serveurs, abritant des dizaines de milliers d'ordinateurs connectés entre eux.

Il faut bien prendre la mesure de ce phénomène en termes de volume d'information. Au début des années 1990, la taille des disques durs se comptait en

mégaoctets (10^6 octets, un octet comptant 8 bits, un bit valant 0 ou 1). Elle est passée au gigaoctet (10^9) au début des années 2000 et atteint désormais le téraoctet (10^{12}), alors que Google mobilise des pétaoctets (10^{15}). Résultat: le volume de données explose. Comme le rappelait Eric Schmidt, le patron de Google, en 2010, "entre les débuts de la culture humaine et 2003, l'humanité a produit 5 exaoctets d'information [soit 5 000 pétaoctets]. Aujourd'hui, nous produisons autant d'information tous les deux jours". L'accès croisé à cette information devenant de plus en plus aisé, cette accélération inouïe de la production de données a fait entrer le monde dans l'ère des big data. L'ère du déluge d'informations.

UNE FORCE DE FRAPPE ILLIMITÉE

Cette manne, le marketing et la publicité en ont été les premiers exploitants. Analysés par un algorithme, les 30 milliards de documents ajoutés chaque mois sur Facebook, les 140 millions de messages quotidiens sur Twitter ou les 20 millions de SMS échangés par minute sont autant d'indicateurs pour vendre un produit ou un service. L'industrie s'est elle aussi très vite emparée de ces big data, avec des systèmes capables d'analyser ensemble et en temps réel des milliers de paramètres. Les services de renseignement ne sont pas en reste: le nouveau centre d'écoute de la NSA, l'agence de renseignement américaine, ambitionne par exemple d'analyser simultanément un yottaoctet (10^{24}), soit le contenu de mille milliards de disques durs actuels...

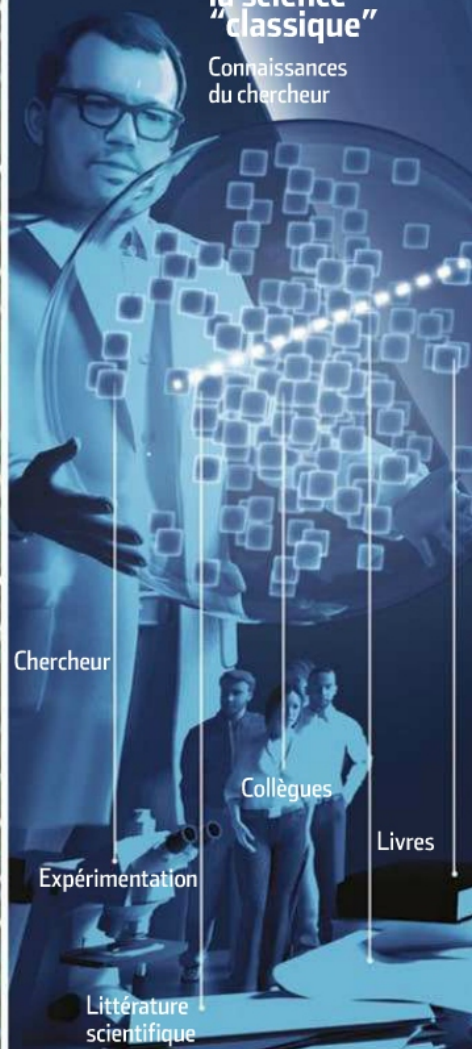
Mais c'est peut-être la science qui s'en trouve la plus profondément bouleversée. Génétique, médecine, climatologie, botanique, chimie, neurosciences... Tous les domaines sont en train de s'approprier cette force de frappe et de basculer dans l'ère des big data. Car là où les chercheurs interrogeaient jusqu'ici des bases de données modestes, soigneusement calibrées →

Avant : La découverte naissait de l'intuition d'un chercheur, confirmée par l'expérience

Le scientifique se posait une question précise concernant son domaine de recherche. Il fouillait alors dans l'ensemble de ses connaissances (publications, discussions avec des collègues, expériences passées, etc.), comparable à une sphère de savoir, afin d'y trouver des corrélations et de formuler une réponse hypothétique, logique et cohérente. Il testait ensuite cette hypothèse en laboratoire, au moyen d'expériences, de simulations et de calculs.

Sphère de la science "classique"

Connaissances du chercheur



Une nouvelle manière de faire des découvertes

Après : La découverte émerge automatiquement d'une grande masse de données mises en relation

Publications scientifiques, photos, vidéos, enregistrements bruts issus de capteurs... Les dizaines de milliers de bases de données qui cohabitent sur le Web contiennent les résultats d'innombrables expériences, avant même que celles-ci aient été réalisées : il suffit de mettre en relation les informations pertinentes. Une aubaine pour le calcul brutal et aveugle des ordinateurs, capable de faire ressortir les corrélations les plus inattendues. Si les statistiques sont suffisamment fortes, il n'y a même pas besoin de confirmer la corrélation par l'expérimentation directe : les découvertes émergent automatiquement.

Sphère de la science "big data"

Ensemble des données stockées par les ordinateurs du monde entier

Connexions aux bases de données sur Internet

Moteur de recherche de corrélations



→ à l'aune de leur domaine de recherche, ils disposent désormais d'un réseau gigantesque d'informations où s'agrègent en kaléidoscope des données aussi variées que le monde lui-même. Ces données sont issues de la masse considérable d'observations déjà stockées ou enregistrées en temps réel par les milliards de capteurs qui surveillent le moindre événement survenant sur Terre ou dans l'espace.

L'ÉTAT DU MONDE EN TEMPS RÉEL

L'ensemble de ces big data s'est donc agrégé en un miroir du monde de plus en plus détaillé, une version numérique qui se développe en continu et que les scientifiques peuvent manipuler dans tous les sens. *"Le Web contient une description exhaustive du monde présent et passé, au moins depuis que l'on s'est mis à tout stocker,* souligne Julien Laugel, spécialiste des big data chez MFG Labs, société cofondée par les mathématiciens Pierre-Louis Lions et Jean-Michel Lasry. *Et le niveau de 'granularité' est extrêmement fin : on peut zoomer et dézoomer à volonté sur un phénomène physique, biologique, épidémiologique ou social, passer de l'échelle microscopique à macroscopique en un seul geste."* Pour Henri

LE WEB OFFRE UNE VERSION NUMÉRIQUE DU MONDE... MANIPULABLE À VOLONTÉ

Verdier, autre cofondateur de la société, *"les big data réalisent de manière très concrète une certaine version du rêve de Pierre-Simon de Laplace : l'idée qu'une entité connaissant parfaitement l'état du monde passé et présent pourrait prévoir toute son évolution"*.

Ces données, l'esprit humain ne saurait les appréhender seul. Mais grâce à des logiciels "à la Google", rompus à faire apparaître les liens entre les données, il est possible d'embrasser ce déluge à la recherche de motifs qui émergent – des valeurs évoluant de concert, des corrélations entre groupes

de variables... De quoi relier statistiquement, ici un gène à une maladie, là la forme d'une galaxie à l'histoire de sa formation, ailleurs la composition d'une molécule aux effets secondaires d'un médicament. Bref, de quoi faire des découvertes scientifiques.

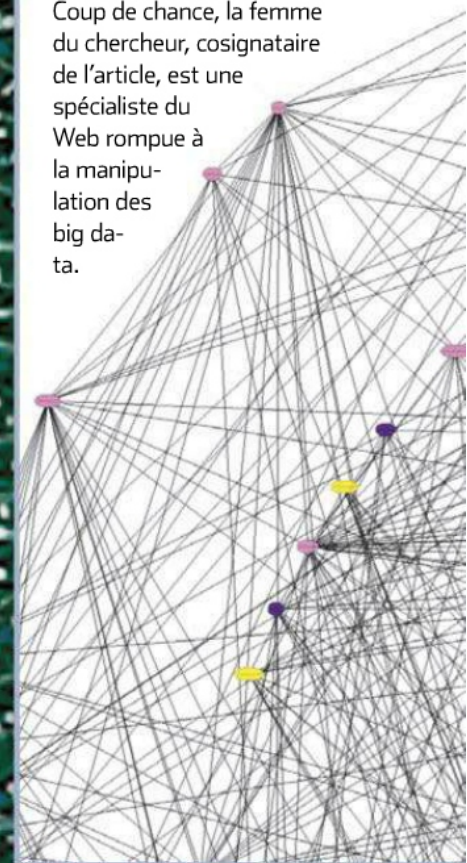
L'astronomie est un bon exemple de cette révolution. Les astronomes laissent déjà leurs ordinateurs partir seuls en quête d'événements inédits au cœur des gigantesques amas de données accumulées par les différents observatoires du globe. Et cela va s'accélérer. *"Je suis convaincu que la plupart des recherches seront portées par les données astronomiques mettant en jeu des téraoctets d'informations,* affirme Kirk Borne, professeur d'astrophysique et de sciences computationnelles à l'université américaine George-Mason. *Le Large Synoptic Survey Telescope, qui sera mis en service en 2022, va produire chaque nuit, et pendant dix ans, autant de données que l'une des plus importantes campagnes d'observation, la Sloan Digital Sky Survey, en huit ans. Nous devrions ainsi mettre le doigt sur des phénomènes rares, n'apparaissant qu'une fois sur 1 000 milliards!"*

La révolution des big data est en marche, et elle commence à remporter de véritables succès (voir les projets, pages suivantes). Ce qui ne va pas sans poser d'épineuses questions. La science ne risque-t-elle pas de se réduire à la mise en relief de multiples corrélations, sans que ces résultats ne soient intégrés, grâce à un modèle, dans un discours qui fasse sens? Et que reste-t-il du génie scientifique, celui qu'incarne si bien Einstein, quand la tâche la plus noble de la science – découvrir l'organisation cachée dans le désordre du monde – passe désormais, en premier lieu, par la force de frappe brutale de centaines de milliers d'ordinateurs en réseau? Le débat, complexe, commence à traverser la communauté scientifique (voir p. 58-63). Mais, en attendant, c'est déjà le déluge. **F.L.**



Des pistes de

Prendre les mots de toutes les publications en neurosciences stockées sur Internet et les passer à la moulinette jusqu'à ce qu'émergent des liens insoupçonnés entre les régions du cerveau et certaines pathologies mentales : tel est le projet big data de Jessica et Bradley Voytek, informaticienne et neurologue à l'université de Californie. Un projet si peu conventionnel que leur article a d'abord été refusé 17 fois, avant d'être accepté en mai dernier par le *Journal of Neuroscience Methods*. A l'origine, une question posée à Bradley Voytek lors d'une conférence, en 2010, sur les moyens d'exploiter l'énorme littérature publiée dans le domaine des neurosciences. Coup de chance, la femme du chercheur, cosignataire de l'article, est une spécialiste du Web rompue à la manipulation des big data.



Big data Les premiers exploits d'une révolution

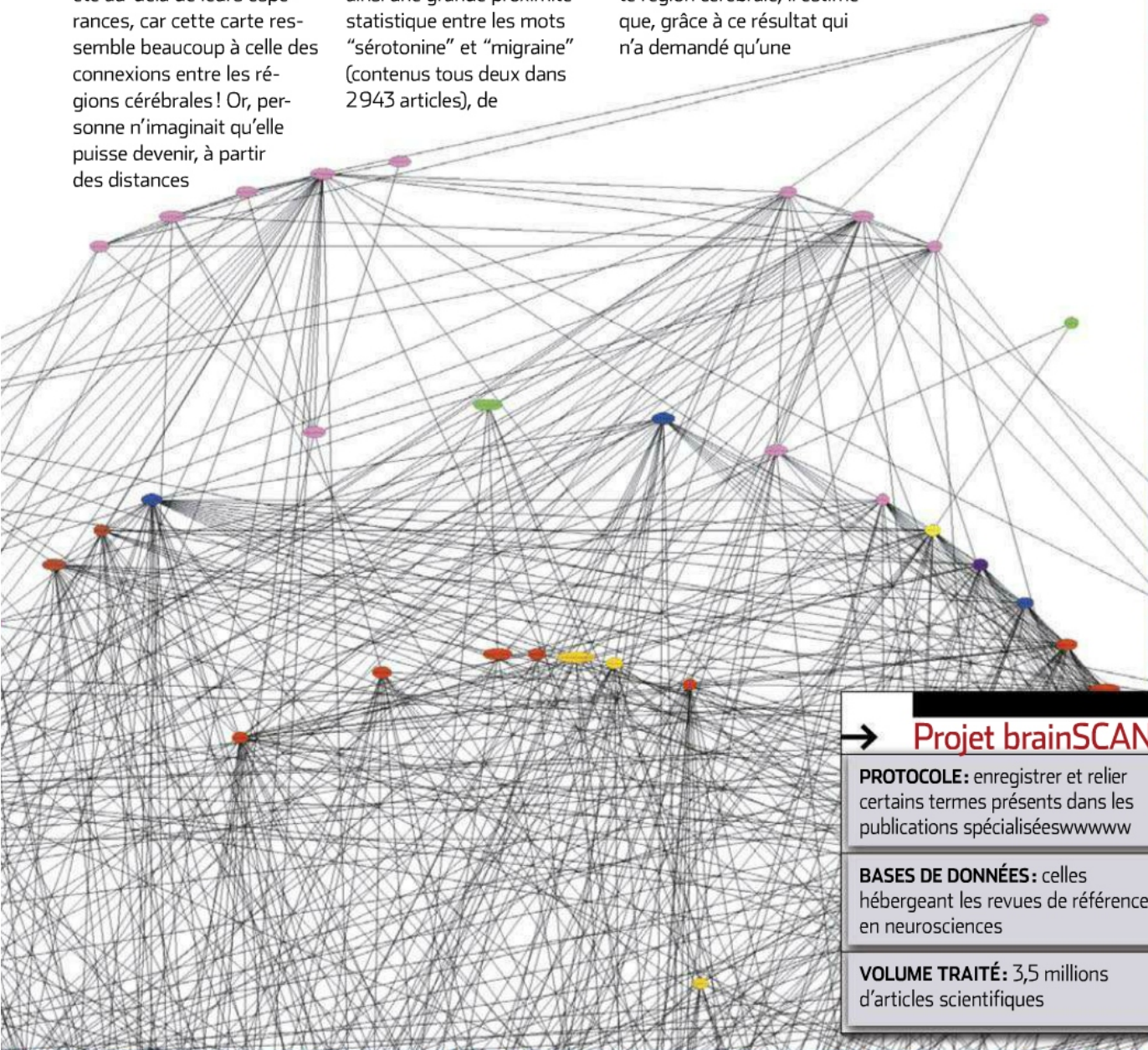
guérison totalement inédites ont été trouvées

C'est le début de l'aventure. Objectif : voir ce qui sortirait d'une synthèse effectuée par un algorithme, en dessinant une carte de "proximité statistique" entre les termes neuroscientifiques apparaissant dans les publications. Les résultats ont été au-delà de leurs espérances, car cette carte ressemble beaucoup à celle des connexions entre les régions cérébrales ! Or, personne n'imaginait qu'elle puisse devenir, à partir des distances

terminologiques uniquement, une formidable aide à l'intuition, un "générateur semi-automatique d'hypothèses". L'invention, baptisée brainSCANr ("Brain Systems, Connections, Associations and Network Relationships"), montre ainsi une grande proximité statistique entre les mots "sérotonine" et "migraine" (contenus tous deux dans 2943 articles), de

même qu'entre "sérotonine" et la région du "striatum" (4 782 articles). Pourtant, "striatum" et "migraine" n'apparaissent simultanément que dans 16 articles ! Si Bradley Voytek ne prétend pas avoir démontré un lien entre la migraine et cette région cérébrale, il estime que, grâce à ce résultat qui n'a demandé qu'une

semaine de programmation et "11,75 dollars", des chercheurs pourraient réorienter utilement leurs travaux. Selon lui, *"la neurologie a peut-être raté une connexion"* susceptible d'éclairer d'un jour nouveau les connaissances sur la migraine. **R.I.**



→ **Projet brainSCANr**

PROTOCOLE : enregistrer et relier certains termes présents dans les publications spécialisées www.brainSCANr.org

BASES DE DONNÉES : celles hébergeant les revues de référence en neurosciences

VOLUME TRAITÉ : 3,5 millions d'articles scientifiques



La déforestation désormais traquée en tout point du globe

Feux de forêts, déforestation, densité végétale, sécheresse, inondation... Rien n'échappe à l'œil des satellites *Aqua* et *Terra*, dont les capteurs balaient la totalité de la surface du globe tous les deux jours. Avec une précision de 1 km à 250 m (suivant le type de fréquences électromagnétiques mesurées), ils renseignent sur le taux de chlorophylle, l'humidité, la nature du sol (plus ou moins recouvert de végétation), la température de l'air, celle du sol, la présence de flammes ou de fumée... Une montagne de données, que des chercheurs de l'université du Minnesota, en partenariat avec le géant de l'informatique Cisco, ont pris à bras-le-corps. Depuis 2009, leur système PlanetarySkin fouille automatiquement dans les

7 téraoctets de données des satellites, et complète sa collection de variables à la vitesse de 30 Go tous les quinze jours. Résultat : les algorithmes détectent, en comparant les données les plus récentes avec celles enregistrées, sur des périodes de 6 à 8 semaines, les changements brutaux de végétation (feux, déforestations, inondations) comme les variations progressives (rendements d'une culture, érosion). De quoi donner des éléments de contrôle aux autorités en charge des lois sur la déforestation, des clés aux biologistes pour comprendre la dynamique des forêts, ou des indications aux agriculteurs. A l'état de prototype, cette plate-forme de détection des changements végétaux sera à terme consultable en ligne,

via une carte interactive (voir ci-contre). Sur cette carte, le système affiche, grâce aux 580 milliards de données à sa disposition, les points pour lesquels il a découvert des changements : feux, recul de la forêt, nouvelle étendue d'eau... Un travail que l'œil humain serait incapable de faire seul. Il permet aussi de "voyager dans le temps", pour comparer l'état de la végétation à divers moments. **J.M.**

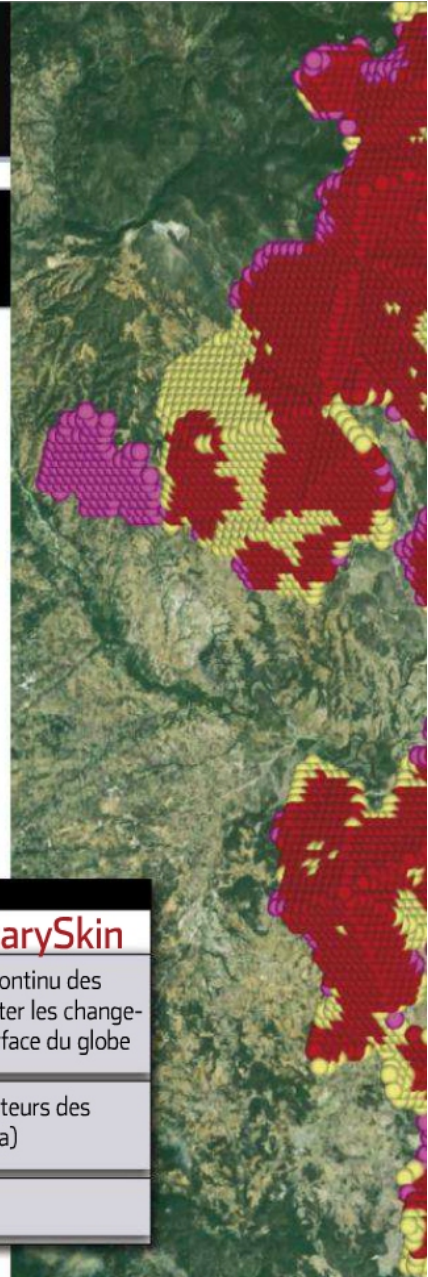


Projet PlanetarySkin

PROTOCOLE : comparer en continu des données satellite pour détecter les changements de végétation à la surface du globe

SOURCE DES DONNÉES : capteurs des satellites *Aqua* et *Terra* (Nasa)

VOLUME : 7 téraoctets



Un suivi astronomique quasiment en direct



Projet LSST

PROTOCOLE : scanner de très grandes zones du ciel avec une caméra à très haute précision

SOURCE DES DONNÉES : un télescope de 8,4 m sur le Cerro Pachón (Chili)

VOLUME TRAITÉ : 30 To chaque nuit

En astronomie, la révolution des big data est une nécessité. "Actuellement, les astronomes doivent composer avec 5 à 10 événements inattendus ou inconnus par semaine, explique Kirk Borne (université George-Mason, Etats-Unis). Mais rien qu'avec le

projet LSST, c'est entre 10 000 et 100 000 événements qui chaque nuit mériteraient une plus grande attention des spécialistes. Sans un bon système de classement de l'information, l'astronomie sera enterrée sous un déluge de données et loupera cer-

taines des plus importantes découvertes des vingt prochaines années." L'astrophysicien et ses collègues travaillent justement à la mise au point d'un algorithme capable de passer à la loupe les 6 Go de données recueillis toutes les 20 s à partir de 2016, d'y



Micro-organismes marins



Leur diversité génétique dévoile des mystères de l'évolution

Il a pêché des génomes pendant 3 ans : de 2003 à 2006, le biologiste Craig Venter, un des pères du premier séquençage du génome humain, a fait le tour du globe en bateau. Tous les 300 km, les scientifiques congelaient un échantillon, afin qu'il soit analysé à terre. Environ 6 millions de gènes ont ainsi été séquencés. Les données du Global Ocean Sampling sont désormais mises à disposition des scientifiques. Ils ont d'abord cherché ce qu'ils connaissaient déjà. Surprise : 85 % des séquences de ces micro-organismes marins sont inconnues. Le code de millions de protéines a ainsi été dévoilé. Une

mine de données inédites qui va permettre de multiplier les découvertes, mais qui pose déjà des questions et renverse des dogmes. Ainsi, en faisant tourner des algorithmes de comparaisons entre les séquences de ces organismes, les chercheurs découvrent une diversité étonnante dans les communautés microbiennes. Des sous-types d'une même espèce sont répartis un peu partout sur la planète, alors que d'autres coexistent dans les mêmes environnements. Pourtant, la loi de la spéciation voudrait que les sous-types se distinguent de l'espèce qui leur a donné naissance en s'en éloignant géographiquement.

Leurs génomes sont légèrement différents : ils devraient être différemment adaptés à un même milieu. Et un sous-type devrait dominer sur les autres. Or, ce n'est pas le cas. Pourquoi ? Autre interrogation : comment ces sous-types restent-ils bien distincts, alors qu'ils vivent les uns à proximité des autres, dans un milieu où l'échange de gènes entre micro-organismes est fréquent ? Les spécialistes de l'évolution vont devoir tester de nouvelles hypothèses. Et trouver des mécanismes qui maintiennent la diversité des espèces microbiennes, pour sans doute accroître la stabilité de la population dans son ensemble. **A.D.**

Image © 2010 European Space Imaging
© 2010 Cnes/Spot Image

repérer une éventuelle modification par rapport aux clichés antérieurs, de dire si elle renvoie à un phénomène connu, et d'établir un classement des priorités pour des études approfondies. Cet automate a été testé avec succès sur des catalogues de données existants. **M.G.**



→ Projet GOS

PROTOCOLE : récolter des micro-organismes dans toutes les mers du monde, séquencer leurs gènes, puis les comparer et les analyser automatiquement

BASES DE DONNÉES : séquences génétiques, salinité, pH, température, localisation

VOLUME TRAITÉ : près de 2 téraoctets



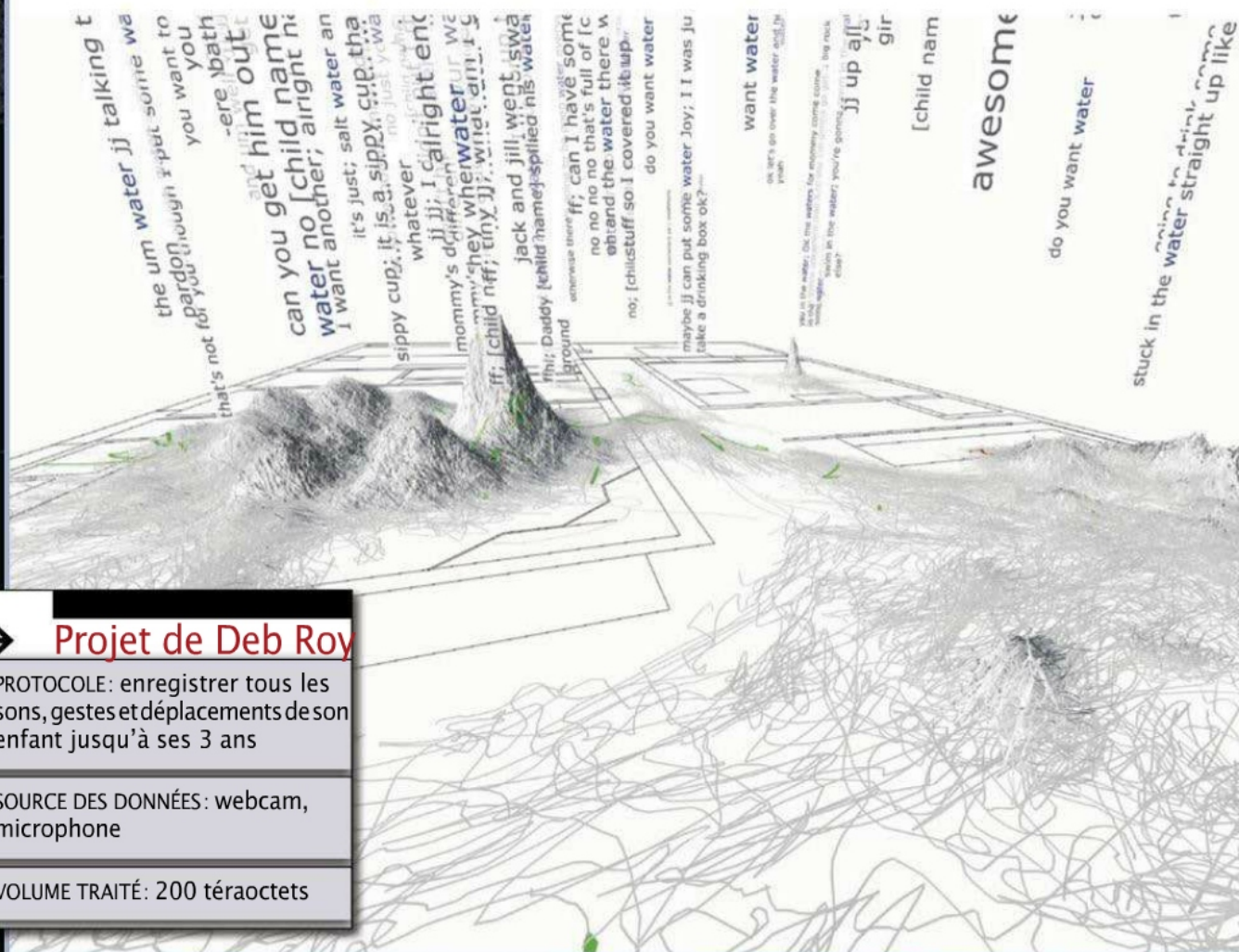
On sait maintenant dans quel contexte les mots émergent

Deb Roy, sa famille et son équipe de chercheurs se sont engagés dans un projet pour le moins exotique : rompre aux technologies informatiques des big data, ce cogniti-ciend du Massachusetts Institute of Technology afin de enregistrer la vie de son nouveau-né pendant trois ans, jour et nuit, sans rien perdre des babillages ni des gestes et déplacements. Résultats : 90 000 heures de vidéo, 140 000 heures d'audio,

70 millions de mots prononcés et retranscrits automatiquement. Des logiciels de traitement d'informations ont ensuite été lancés à l'assaut de ce magma de données pour filtrer, pister et visualiser des occurrences significatives dans le processus d'apprentissage du langage. L'objectif de ce projet étant d'étudier les liens structurels entre cet apprentissage et le contexte physique, familial et culturel, un sujet classique en psycho-

linguistique. Deb Roy a présenté en 2011 ses premiers résultats : ils permettent de visualiser de façon totale et inédite l'assimilation et l'évolution du langage chez les humains... Dans ce corpus unique en son genre, il a ainsi pu identifier après coup dans quelles conditions son enfant a appris à prononcer le mot "eau" et à en comprendre le sens. On peut ainsi entendre en accéléré la métamorphose du babillage "baba" en "water" (eau), et

se plonger dans le "paysage linguistique et topologique" qui entoure ce nouvel acquis (illustration), l'apparition du mot étant suivie à la trace. Ainsi apparaît ce qui manquait tant aux spécialistes : l'influence du contexte sur l'apparition et l'ancrage des mots dans un répertoire. Deb Roy veut maintenant mettre à la disposition de ses collègues son "big album" de famille. Il leur propose de tester leurs modèles sur ses



→ Projet de Deb Roy

PROTOCOLE : enregistrer tous les sons, gestes et déplacements de son enfant jusqu'à ses 3 ans

SOURCE DES DONNÉES : webcam, microphone

VOLUME TRAITÉ : 200 téraoctets



Substances chimiques



Des liens de cause à effet avec des maladies ont pu être identifiés

20 téraoctets de données qui, grâce à ses compétences en big data, deviennent un nouveau champ d'expérience naturel, infini et très peuplé. "Ce type de travail est encore un ovni pour la science traditionnelle", reconnaît Jean Véronis, professeur de linguistique et d'informatique à l'université d'Aix-Marseille, tout en étant persuadé d'assister à la naissance d'une nouvelle façon d'étudier comment les mots prennent peu à peu leur place dans la bouche. R.I.

ff; have sc
with your
ff; hm
wanna uncover it for
there's no water left



Projet BSrC

PROTOCOLE : réaliser une multitude de réactions biochimiques virtuelles à partir des répertoires de propriétés des molécules

BASES DE DONNÉES : la banque de données américaine PubChem

VOLUME TRAITÉ : 100 millions de molécules et substances répertoriées

Pour les chimistes, le monde des big data est une gigantesque éprouvette où la manipulation des données permet de mélanger et faire réagir des myriades de substances à un rythme effréné. En janvier dernier, une équipe du Biomedical Sciences Research Complex (Ecosse) a exploité cet immense labo virtuel pour éclairer les liens entre les substances de certains médicaments contre la dépression, l'angine, la malaria, le cholestérol, et un effet secondaire, la "phospholipidose" (surproduction et accumu-

lation de lipides par les cellules à l'origine de maladies du foie, des reins, des yeux...). Ici pas de réactions sur la paillasse, mais des calculs statistiques sur les informations stockées dans le Web, et notamment dans la grosse banque de données américaine PubChem. Les chercheurs ont filtré le corpus entier pour ne garder que les informations contenant des mots clés liés à la phospholipidose, et isolé 241 145 substances chimiques. Ils leur ont alors associé, par le même procédé, une liste de 1 923 molécules

présentes dans les cellules, qui réagissent avec ces substances. Les ordinateurs ont ensuite combiné les informations liées aux substances avec celles liées aux molécules (plus de 450 millions de combinaisons), pour en extraire un schéma statistique des liens de cause à effet possibles. Autrement dit, des pistes de compréhension des causes, et donc de traitements, de la phospholipidose. Mais pour valider ces liens, il faudra retourner faire des expériences classiques... sur une vraie paillasse. R.I.



Quatre gènes ont dévoilé une implication inattendue

La génétique du cancer a un problème: elle accumule trop d'informations sur l'ADN des tumeurs. "Le volume des banques de données génomiques double tous les 18 mois", remarque Gilbert Déléage, spécialiste de bioinformatique structurale. Un terrain de jeu typique de la science des big data qui a déjà produit une belle découverte: l'identification inopinée de 4 gènes impliqués dans un grand nombre de tumeurs malignes du foie. Des gènes qui ont tous subi le même type de modification, ce qui suggère l'implication d'un même agent toxique (chimique ou infectieux). Brutale, globale et statistique, l'approche qui a permis cette découverte ne part d'aucun *a priori* sur le

rôle de tel ou tel gène. Elle a consisté d'abord à rassembler des données utilisables. Pas simple: "Cette biologie à grande échelle génère des données très hétérogènes regroupées dans des banques de données qui manquent de cohérence", souligne Gilbert Déléage. C'est pour cette raison que s'est créé en 2007 le Consortium international de génomique du cancer (ICGC) qui vise à rassembler les données génétiques cohérentes sur de plus de 25 000 tumeurs de 50 types de cancers. En mars, les données de plus de 3 400 tumeurs étaient disponibles en ligne, avec les parties codantes de l'ADN d'une cellule cancéreuse et d'une cellule saine du même individu séquencés. Génome normal et

tumoral peuvent ainsi être comparés pour identifier leurs différences "On utilise ensuite des algorithmes pour identifier les petites mutations ou les grands déplacements de séquences d'ADN intervenant dans la cellule cancéreuse", explique Philippe Hupé, bioinformaticien à l'Institut Curie. Cette méthode permettrait aussi d'établir des liens entre traitements et profil génétique... A.D



Projet ICGC

PROTOCOLE: trouver les causes des cancers en comparant les séquences génétiques de cellules cancéreuses et normales

SOURCE DES DONNÉES: les banques de données issues de 47 projets nationaux

VOLUME : 200 téraoctets



Leur apparition détectée en temps réel



Projet Healthmap

PROTOCOLE: analyser en temps réel le maximum de sources d'informations disponibles sur l'apparition de maladies

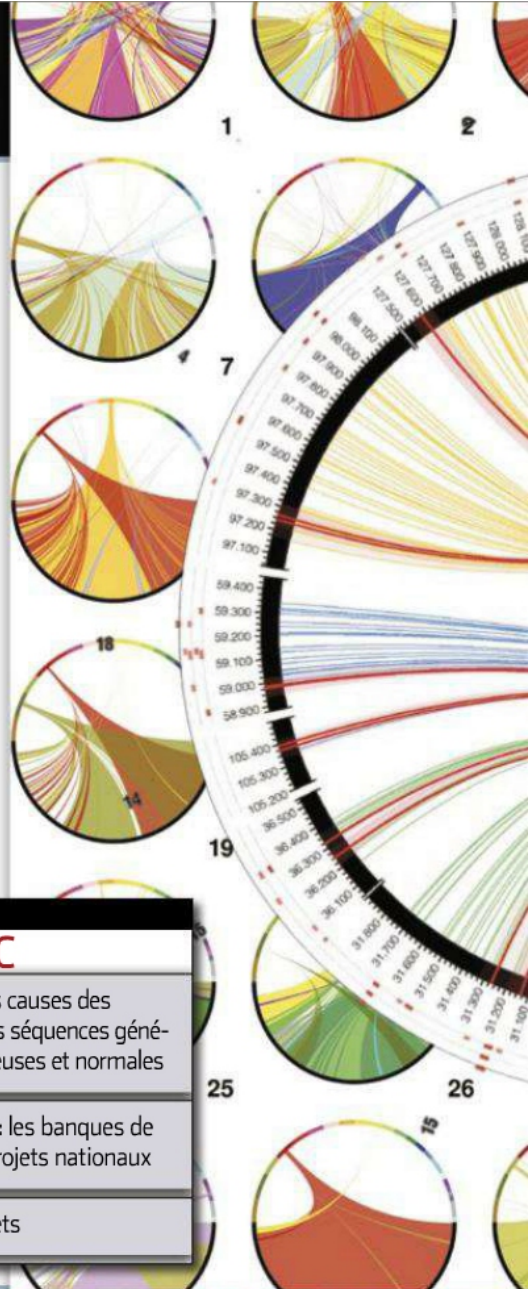
SOURCE DES DONNÉES: Web, SMS, Twitter (à l'étude)

VOLUME : 1 téraoctet

Il est capable d'identifier les débuts d'épidémie plusieurs jours avant les organismes officiels comme l'OMS. Après le séisme en Haïti en 2010, il a même suivi la progression du choléra avec environ 2 semaines d'avance sur les rapports officiels des

travailleurs de santé sur le terrain. Ce lanceur d'alerte expert, c'est le logiciel Healthmap, développé depuis 2006 par des chercheurs de l'hôpital des enfants de Boston, aux Etats-Unis. Son principe: agréger et traiter en temps réel un maximum de

sources d'informations sur l'apparition des maladies afin de dresser une carte mondiale, remise à jour toutes les heures et disponible sur Internet, qui pointe les foyers de grippe, de choléra, de dengue, etc. Les sources? Des portails (comme Google





Lois physiques



Des équations émergent quasiment toutes seules

"Trouvez la formule cachée derrière vos données!", scande le site de Michael Schmidt. Pour y voir clair dans des monceaux de mesures, cet ingénieur en robotique de l'université Cornell a conçu Eureka, un logiciel qui jongle avec les opérateurs algébriques (+, -...) et les fonctions analytiques (sinus, logarithme...) pour fabriquer toutes les équations qui pourraient lier un échantillon de données avant de pointer la plus pertinente. Lorsqu'en 2009, Michael Schmidt lui a fourni la trajectoire et la vitesse d'un pendule en train d'osciller, Eureka a recraché la loi fondamentale de la dynamique, celle de Newton! Particularité: peu de données expérimentales, mais des combinaisons innombrables (10^{108} équations possibles!), et donc un algorithme très astucieux. Depuis, de nombreuses données ont obtenu de mystérieuses expressions mathématiques. Peut-être qu'une nouvelle loi de la nature se cache derrière l'une d'elle... **M.F.**

→ Projet Eureka

PROTOCOLE: enregistrer le mouvement d'un ressort, sa vitesse et son accélération

BASES DE DONNÉES: caméra et logiciel de capture de mouvement

VOLUME TRAITÉ: 2 mégaoctets

News), des rapports de témoins (Geosentinel), des discussions entre experts, des rapports officiels validés, les interrogations sur Google, et, bientôt, les messages sur Twitter. Le logiciel extrait, en 10 langues, les informations clés pour actualiser sa carte. Healthmap a ses défauts: sous-évaluation du nombre de cas

une fois quand la maladie suscite moins d'intérêt médiatique; mauvaise couverture des zones peu équipées en accès internet ou smartphones. Mais plusieurs études ont démontré l'intérêt et la relative fiabilité de cet outil. A l'heure des big data, les contagions ne sauraient aller plus vite que l'information. **A.D.**



GOOGLE VA-T-IL REMPLACER LE GÉNIE HUMAIN ?

Les "big data" augurent-elles d'une science déshumanisée ? Une chose est sûre : elles modifient le rôle du chercheur. Brutalement.

L'avènement de la science à la Google, où ce sont les machines qui produisent des découvertes (voir article 1), sonnet-il le glas du génie humain ? La question se pose quand, face aux "big data", notre pauvre cerveau semble bel et bien dépassé. En neurologie, en génétique, en astronomie, en chimie, en épidémiologie et dans d'autres domaines de plus en plus nombreux, la capacité à déceler des liens cachés – sources d'éventuelles découvertes scientifiques – dans d'immenses volumes de données hétéroclites ne dépend plus des intuitions profondes d'esprits agiles, mais du labeur obstiné et répétitif de "têtes chercheuses" algorithmiques qui parcourent inlassablement des millions de disques durs à la recherche de liens statistiques, de corrélations entre variables consciencieusement enregistrées dans des serveurs répartis un peu partout dans le monde. Comme le résume David Weinberger, chercheur au centre Berkman sur Internet et la société à l'université Harvard, "la plupart des domaines scientifiques vont devoir analyser des volumes de données toujours plus grands, parmi lesquels, grâce aux moteurs de recherche, les chercheurs vont pouvoir découvrir des corrélations inattendues, qui survivront ensuite à l'examen et aux tests faits pour les vérifier expérimentalement". Plus

qu'un nouvel outil, il s'agit là d'une manière de faire la science radicalement nouvelle.

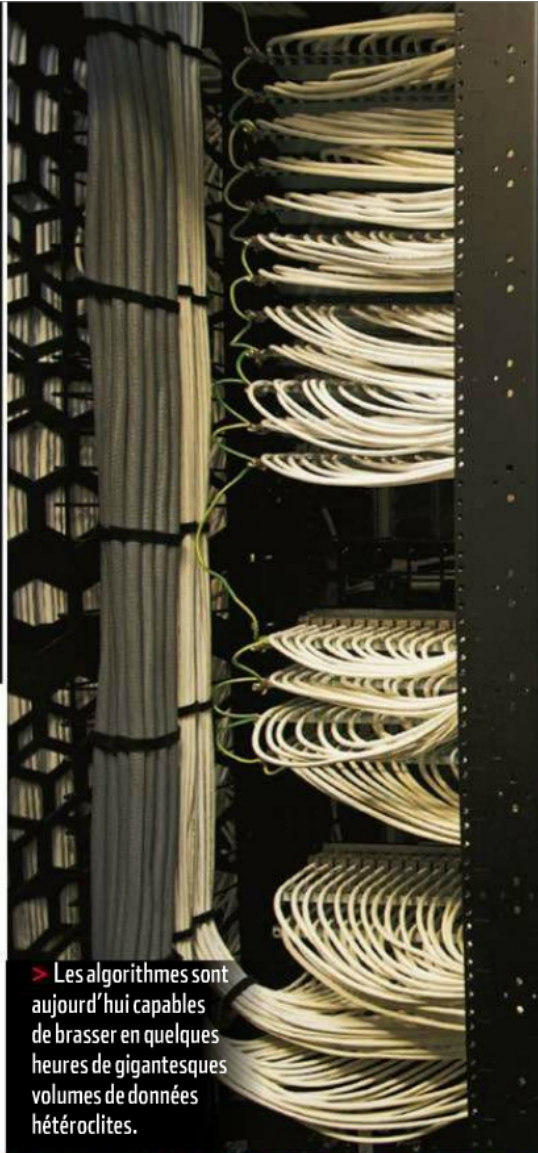
En premier lieu parce que le questionnement soigneusement formalisé des savants, première étape essentielle de la démarche scientifique, tend désormais à s'effacer au profit d'interrogations moins construites. L'acte initial de la découverte scientifique devient non pas la formulation inspirée d'une hypothèse précise, accompagnée de la conception d'une expérience ou d'un calcul théorique susceptible de lui apporter du crédit, mais une simple requête, indiquant seulement à un ordinateur une liste minimaliste de variables ou de mots clés. Le spécialiste du cancer du foie listera par exemple "foie", "cancer", "membranes cellulaires", "facteurs de croissance", "alcool", "âge"... Et laissera des algorithmes, conçus avec les informaticiens, s'ap-

UNE SCIENCE DES MOTS CLÉS, SANS HYPOTHÈSE À ÉTAYER NI THÉORIE À ÉLABORER

roprier cette liste. Ces algorithmes seront alors lancés par des milliers d'ordinateurs se répartissant la tâche à l'assaut d'un fantastique ensemble de données disparates (répertoires de caractéristiques cellulaires, séquences de gènes, statistiques sanitaires...)

> Les algorithmes sont aujourd'hui capables de brasser en quelques heures de gigantesques volumes de données hétéroclites.

qu'aucun chercheur n'aurait jusqu'ici rêvé de consulter de front. En fin de chaîne, si les liens statistiques que les algorithmes auront mécaniquement traqués existent, le chercheur les visualisera sans avoir eu à les prédire, sans même avoir eu à les chercher (voir infographie p. 60). Ainsi, peut-être, l'impact de la consommation d'alcool sur la prévalence du cancer du foie se distinguera-t-il nettement à partir d'un certain âge. Ou bien un groupe de gènes que nul ne soupçonnait apparaîtra-t-il lié à une fragilité des cellules caractéristique d'un type de cancer. Cette mécanique imparable tire en fait sa force d'une approche qui se rit du contenu : "Les seuls paramètres pris en compte dans le calcul statistique sont les proximités entre données", souligne Claude-Henri Mélédo, spécialiste





DAVID WEINBERGER

CHERCHEUR AU CENTRE BERKMAN SUR INTERNET ET LA SOCIÉTÉ, À HARVARD

Dans ces volumes de données toujours plus vastes, seuls les moteurs de recherche permettent de découvrir des corrélations inattendues

en data visualisation de la société Aldecis. Le calcul effectué par les algorithmes consiste juste à comptabiliser les liens les plus fréquents entre les données, selon des paramètres assez généraux fixés par le chercheur. C'est donc aux crépitements de calculs bêtement répétitifs, et non à l'acuité du regard de l'expert que reviendra le mérite de cette découverte.

DES DONNÉES CROISÉES À L'AVEUGLE

Et ce n'est pas seulement l'esprit du chercheur, mais aussi sa main et son œil qui semblent exclus de cette nouvelle science à la Google. Car, avec les big data: plus de paillasse de laboratoire à nettoyer, de cellules à cultiver, de séquençages de gènes à effectuer ou de radiotélescope à régler... C'est la deuxième rupture radicale avec la

méthode scientifique traditionnelle: le but est dorénavant de moissonner aveuglément l'immense répertoire d'observations déjà effectuées, ou enregistrées en temps réel, mais que l'on n'avait jamais pu jusqu'ici croiser entre elles. Un court-circuit de l'expérimentation que permettait déjà la simulation numérique, largement utilisée depuis la fin des années 1980 en physique, biologie, neurosciences, →



JEAN VÉRONIS

PROFESSEUR DE LINGUISTIQUE ET D'INFORMATIQUE, UNIVERSITÉ D'AIX-MARSEILLE

Ce qui peut effrayer dans une démarche 'à la Google', c'est l'idée d'une science qui prédirait sans expliquer

Les 6 étapes clés des big

→ mécanique... A ceci près – et la différence est de taille – qu'ici, on ne produit que des modèles particuliers, sans jamais accéder à la théorie globale qui les sous-tend. Les données analysées sont prises là où elles sont, telles quelles, dans l'univers des big data, miroir de notre monde.

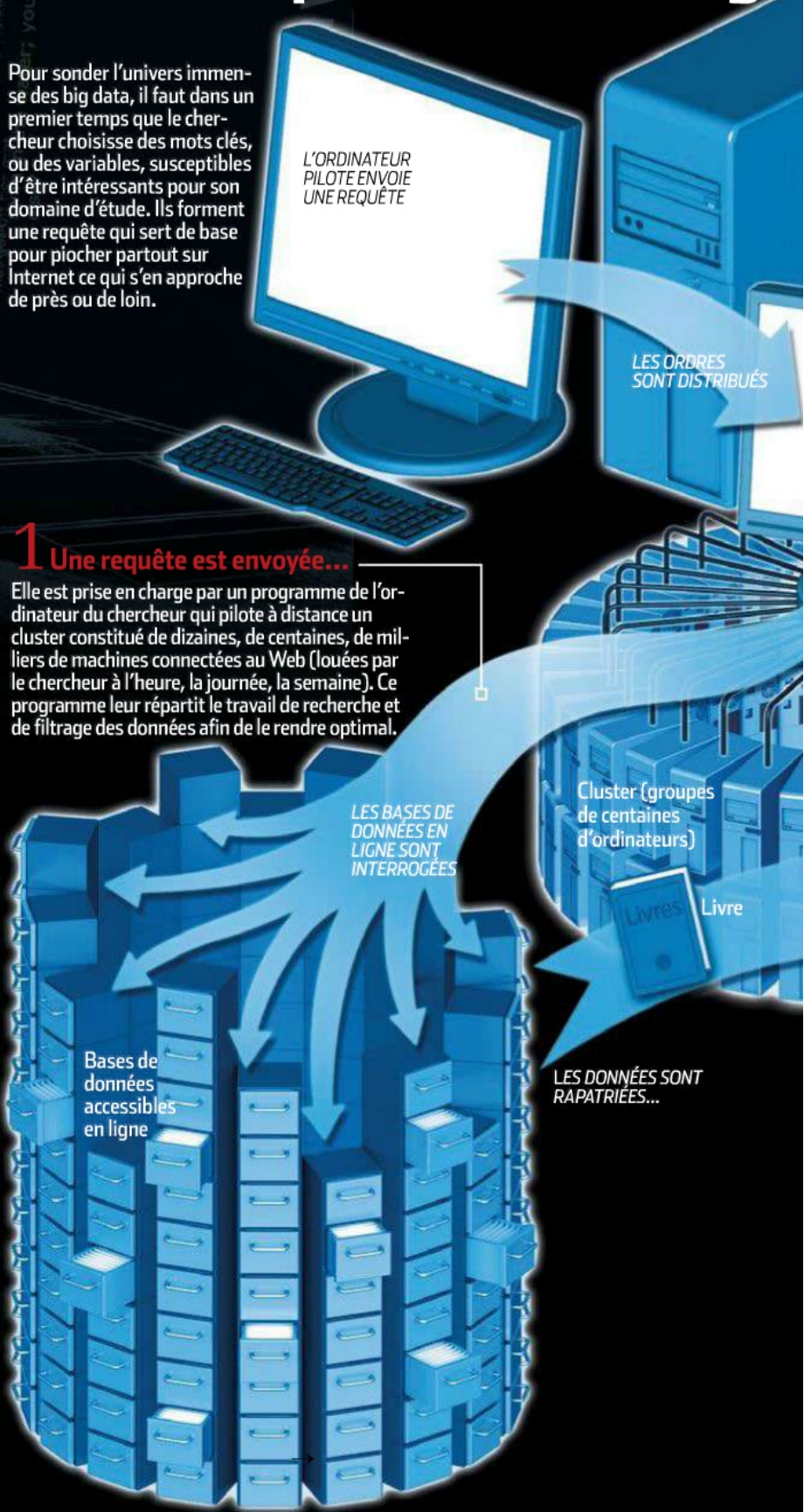
LE RETOUR EN FORCE DE L'EMPIRISME

Il y a enfin une troisième rupture, encore un peu plus déshumanisante : non seulement il n'y a plus d'hypothèses spécifiques à formuler avant, non seulement il n'y a plus d'observations expérimentales à réaliser pendant, mais il n'y a souvent plus rien à comprendre après. Car ce que les algorithmes d'analyse statistique trouvent automatiquement dans les données peut se suffire à lui-même : la mise en évidence d'un lien entre un ensemble de gènes et une maladie donnée, par exemple. Au point que la quête de théories pourrait s'effacer progressivement de l'agenda des scientifiques. *"C'est un retour en force de l'empirisme"*, observe ainsi Jean Véronis, professeur de linguistique et d'informatique à l'université d'Aix-Marseille, praticien des big data. L'empirisme, doctrine ébauchée par l'Anglais Roger Bacon au XIII^e siècle et formalisée par son compatriote Francis Bacon au XVI^e siècle, promeut justement ce type de démarche purement expérimentale. Elle va même jusqu'à considérer que l'abstraction théorique menace de faire sombrer dans l'illusion d'une raison qui se croit toute puissante : il ne faut pas chercher la règle générale des choses au-delà des phénomènes, dit l'empiriste, mais s'en tenir aux règles particulières inspirées directement par ceux-ci... Pour Jean Véronis, *"c'est exactement la démarche du scientifique utilisant les big data. Et en fin de compte, ce qui peut effrayer dans l'empirisme effréné de la science 'à la Google', c'est l'idée de construire une science qui prédirait sans expliquer, qui se contenterait du 'ça marche même si je ne →*

Pour sonder l'univers immense des big data, il faut dans un premier temps que le chercheur choisisse des mots clés, ou des variables, susceptibles d'être intéressants pour son domaine d'étude. Ils forment une requête qui sert de base pour piocher partout sur Internet ce qui s'en approche de près ou de loin.

1 Une requête est envoyée...

Elle est prise en charge par un programme de l'ordinateur du chercheur qui pilote à distance un cluster constitué de dizaines, de centaines, de milliers de machines connectées au Web (louées par le chercheur à l'heure, la journée, la semaine). Ce programme leur répartit le travail de recherche et de filtrage des données afin de le rendre optimal.



data

Ordinateur pilote du chercheur

LES RÉSULTATS SONT REPRÉSENTÉS SOUS FORME GRAPHIQUE

Visualisation globale des données

6...qui les rend enfin lisibles par le chercheur

Le volume d'informations récupéré par la machine pilote peut encore atteindre plusieurs téraoctets, c'est-à-dire une quantité absolument inaccessible à l'esprit humain. Des programmes de visualisation mettent alors en forme ces données et les représentent à l'écran de manière à ce que le scientifique puisse y détecter facilement des irrégularités, des zones particulières, des motifs... Grâce à la machine, les découvertes sautent alors automatiquement aux yeux.

Serveur central du cluster

LES RÉSULTATS DES ANALYSES SONT RAPATRIÉS

5...puis les agrège avant de les renvoyer dans l'ordinateur pilote...

Pour que le résultat puisse être appréhendé par le scientifique, le programme pilote commande à chaque machine de communiquer un résumé de son analyse. Ces informations s'agrègent et finissent dans la machine pilote.

4...et les analyse...

Lors de sa requête, le scientifique a indiqué au programme pilotant le cluster le type générique de travail qu'il voulait faire sur les données filtrées (recherche de corrélations, moyennes...). Pour ce faire, le programme répartit alors le calcul en fonction de la position des données dans le cluster, ce qui rend les calculs rapides.



Enregistrement

Courriel électronique

SMS

Formulaire

Vidéo

2... le cluster récolte les données...

Les ordinateurs rapatrient dans leur mémoire les données trouvées sur le Web à l'aide des mots clés et variables de la requête. La récolte est très abondante car la recherche, à l'instar de celle de Google, ne fait pas dans la nuance. Une étape comparable à la "pêche au chalut", qui ramasse sans distinction.

3...les structure...

Une requête génère un volume de données se chiffrant en pétaoctets, qui sont stockées sur les centaines de machines en ligne louées par le chercheur. Provenant de sources hétéroclites, elles sont de toutes natures et "détrutturées". Un programme les nettoie de leurs informations d'indexation d'origine et les classe grossièrement.

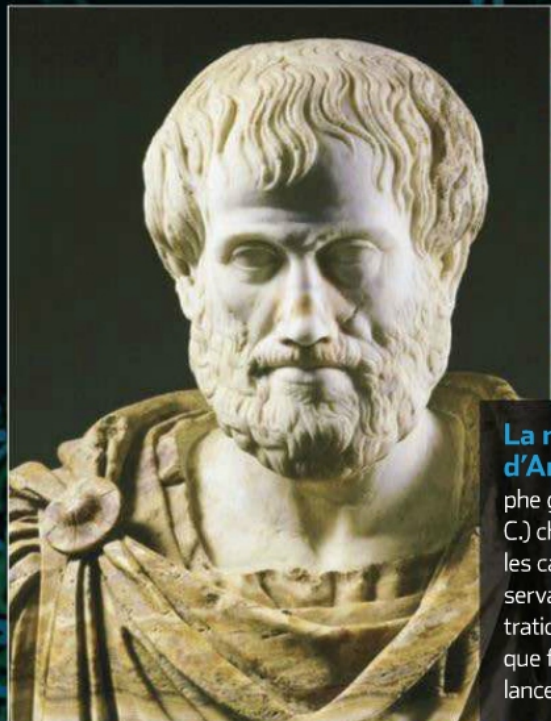
... ET STOCKÉES DANS LE CLUSTER...

... OÙ ELLES SONT ANALYSÉES

Liens statistiques entre les données

Données stockées en vrac dans le cluster

La science n'a jamais cessé de réinventer ses méthodes pour faire de nouvelles découvertes



La méthode logique d'Aristote Le philosophe grec (384-322 av. J.-C.) cherchait à découvrir les causes de ce qu'il observait par une démonstration fondée sur la logique formelle. Son fer de lance fut le syllogisme.

La méthode expérimentale de Roger Bacon Cet Anglais (1214-1294) ne se satisfaisait pas des raisonnements et recourait à des vérifications expérimentales. On lui doit ainsi la découverte de la diffraction de la lumière.



→ comprends pas comment'." Cette science sans foi ni loi, sans hypothèse à étayer ni théorie à élaborer, serait-elle alors prête à se passer de toute intelligence humaine? L'intuition aurait-elle fait son temps? L'expérimentation serait-elle obsolète? La volonté de comprendre désuète? Le génie ne se résumerait-il plus qu'à concevoir des machines toujours plus efficaces? Pas si vite.

D'abord, aussi minimaliste soit-elle, l'étape de conception de toute requête adressée aux big data naît d'un esprit humain. Un point que certains spécialistes de l'analyse de données appellent à ne surtout pas négliger. "Les big data induisent chez certains chercheurs la croyance qu'ils peuvent tout embrasser du regard depuis une hauteur de 10 000 m, écrivaient en 2011 Danah Boyd, de Microsoft Research, et Kate Crawford, de l'université de New South Wales, dans un

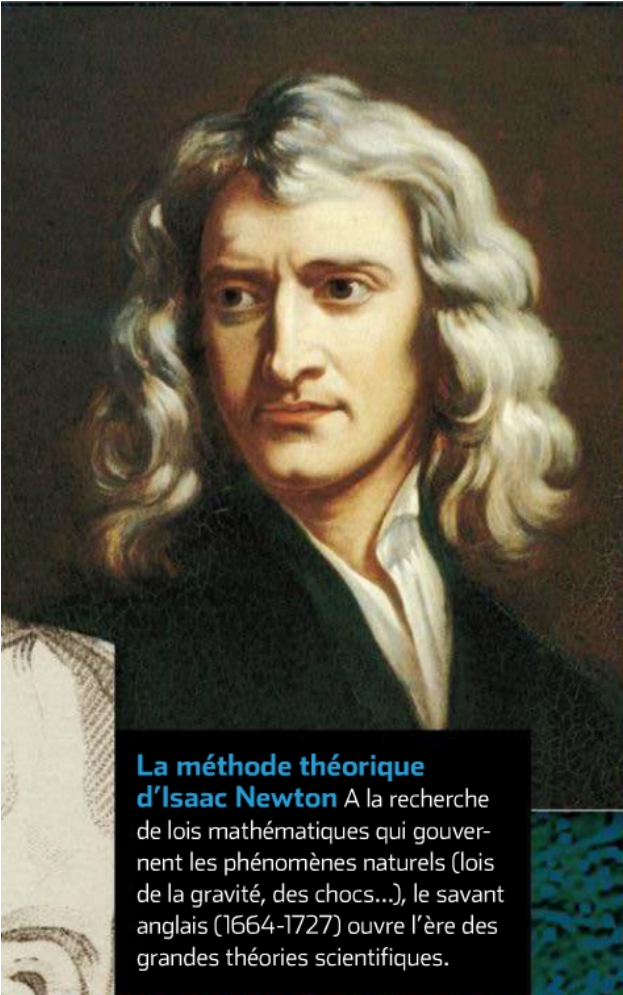
article de référence intitulé, "Six provocations pour les big data". Mais il est crucial de s'interroger sur les pré-supposés analytiques, les cadres méthodologiques choisis..." Une interrogation qui valait avant le déluge de données amorcé au début des années 2000, et dont l'importance s'accroît aujourd'hui. Car à la négliger, l'abondance de découvertes statistiques court le risque de se transformer en multitudes de prophéties autoréalisatrices: j'ai une idée *a priori* de ce que je veux obtenir, je m'arrange (consciemment ou non) pour filtrer les données dans ce sens, et j'obtiens ainsi "objectivement" ce que je voulais... "La pensée scientifique est toujours dans la boucle, nous rassure Jean-Daniel Fekete, directeur de recherche à l'Institut de recherche en informatique appliquée, spécialiste en visualisation des big data. Quand un scientifique fait une recherche sur le mode big data, la phase initiale de nettoyage des données reste

guidée par des modèles et des hypothèses a priori, on ne peut pas affronter autant d'informations sans aucune idée préalable."

UN NOUVEL ÉQUILIBRE À INVENTER

Tout l'enjeu consiste donc, pour le chercheur, à doser intelligemment la confiance qu'il accorde aux données, afin de ne pas perdre totalement de vue la réalité du phénomène étudié. Un équilibre à inventer: le travail qu'effectue désormais un neuroscientifique ou un physicien en confiant à des ordinateurs le soin de décortiquer des montagnes de données n'a rien à voir avec la démarche usuelle des chercheurs. "Aujourd'hui, relève Jean-Daniel Fekete, on peut être un très bon épidémiologiste sans jamais avoir mis un pied dans la rue, à condition d'être également informaticien."

Cette "aspiration" vers une science issue des données est appelée à se poursuivre. Car il va bien falloir se

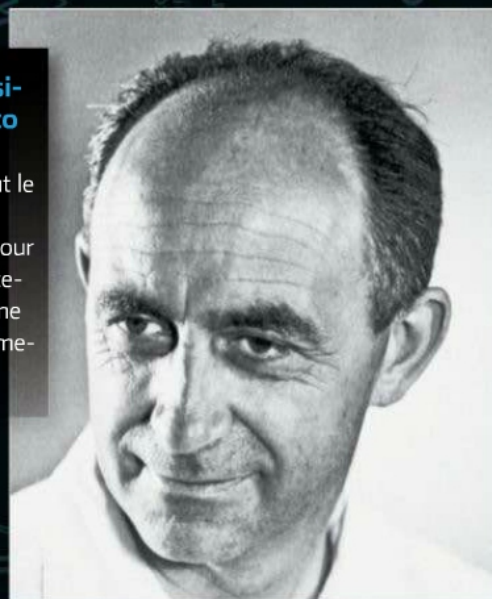


La méthode théorique

d'Isaac Newton A la recherche de lois mathématiques qui gouvernent les phénomènes naturels (lois de la gravité, des chocs...), le savant anglais (1664-1727) ouvre l'ère des grandes théories scientifiques.

La méthode de simulation d'Enrico Fermi

Le physicien italien (1901-1954) fut le premier à utiliser un modèle numérique pour découvrir le comportement d'un phénomène qu'il ne pouvait pas mesurer directement.



LA MÉTHODE D'ANALYSE DES LIENS DE GOOGLE

Depuis sa création en 1998, Google a développé des algorithmes capables de fouiller quasi instantanément des milliards de documents numériques épars, en utilisant les liens hypertextes du Web. Une technologie qui permet aux chercheurs de détecter automatiquement des relations inédites entre des données disparates.

faire à cette idée : sur l'arbre de la connaissance, la plupart des fruits les plus bas ont été cueillis. Les victoires les plus éclatantes, celles dont les auteurs sont passés à la postérité, ont été remportées. Galilée, Newton, Darwin, Einstein... les grandes lois qui gouvernent la nature ont été formulées. Hormis la réconciliation des théories qui expliquent l'infiniment grand (la relativité générale) et celles qui décrivent l'infiniment petit (la mécanique quantique), les découvertes fondamentales et bouleversantes semblent plutôt derrière nous. La nature n'a pourtant pas livré tous ses mystères, loin s'en faut. Mais, excepté quelques rares "fruits" presque à portée de main passés jusqu'ici inaperçus, ceux qu'il reste à récolter – des découvertes scientifiques potentiellement capitales – sont situés sur les

branches les plus élevées. Et pour les atteindre, les machines deviennent de plus en plus indispensables.

Car il est incroyablement compliqué de découvrir comment la loi de la chute des corps façonne la vie des galaxies, comment la thermodynamique et la mécanique des fluides gouvernent l'évolution du climat, comment des

LES GRANDES THÉORIES SONT DERRIÈRE NOUS, UNE SCIENCE DES DONNÉES EST INCONTOURNABLE

connexions entre neurones font fonctionner le cerveau humain, comment la cascade d'interactions moléculaires induites par un gène défectueux fait dégénérer toute une cellule. Il n'existe pas nécessairement de modèle qui permet de comprendre simplement le comportement de tels phénomènes globaux et complexes. Or c'est bien là que s'affirme la force des big data : s'attaquer

aux phénomènes qui se décrivent plutôt qu'à ceux qui se comprennent et se "plient" aux équations des modèles. Du moins est-ce sur ce terrain que se font leurs premières conquêtes. La science "à la Google" pourrait-elle également tirer parti des symboles mathématiques, de listes de lois physiques pour y déceler des relations et mettre sur la piste de découvertes purement théoriques ? L'avenir, seul, le dira.

En attendant, David Weinberger envisage sérieusement que le génie de ces machines soit un jour reconnu au même titre que celui d'Einstein : "Peut-on imaginer qu'un prix Nobel soit attribué pour la création d'algorithmes qui nous aident à extraire du sens d'énormes bases de données ? Cela me semble plausible." Car même si ce sont de drôles de fruits qui sont ainsi cueillis, ce sont les fruits du même arbre que celui dans lequel ont pioché les glorieux anciens.

R.I.

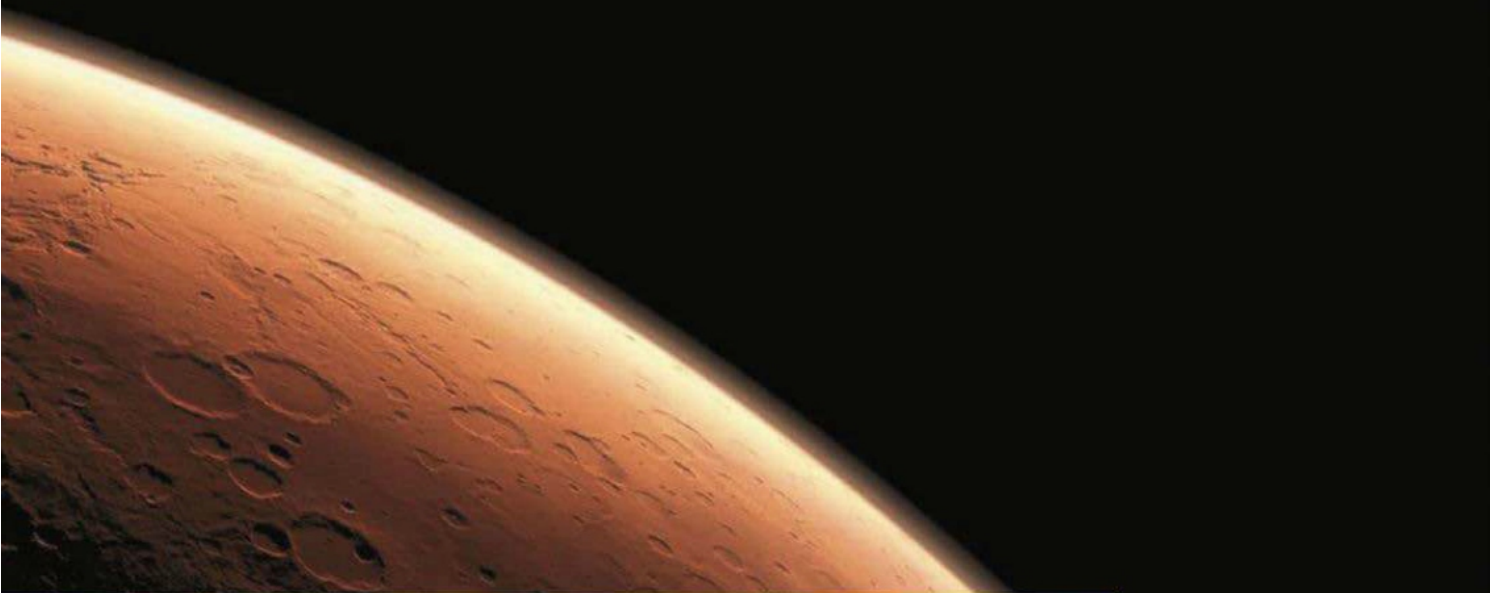


VIE SUR MARS

ÉPISEDE ULTIME ?

Avec sa sonde Curiosity, la Nasa a sorti le grand jeu pour – enfin ! – savoir s’il y a de la vie sur Mars. Equipements, autonomie, mission... tout a été prévu. Reste à réussir l’atterrissage. Début du suspense le 6 août...

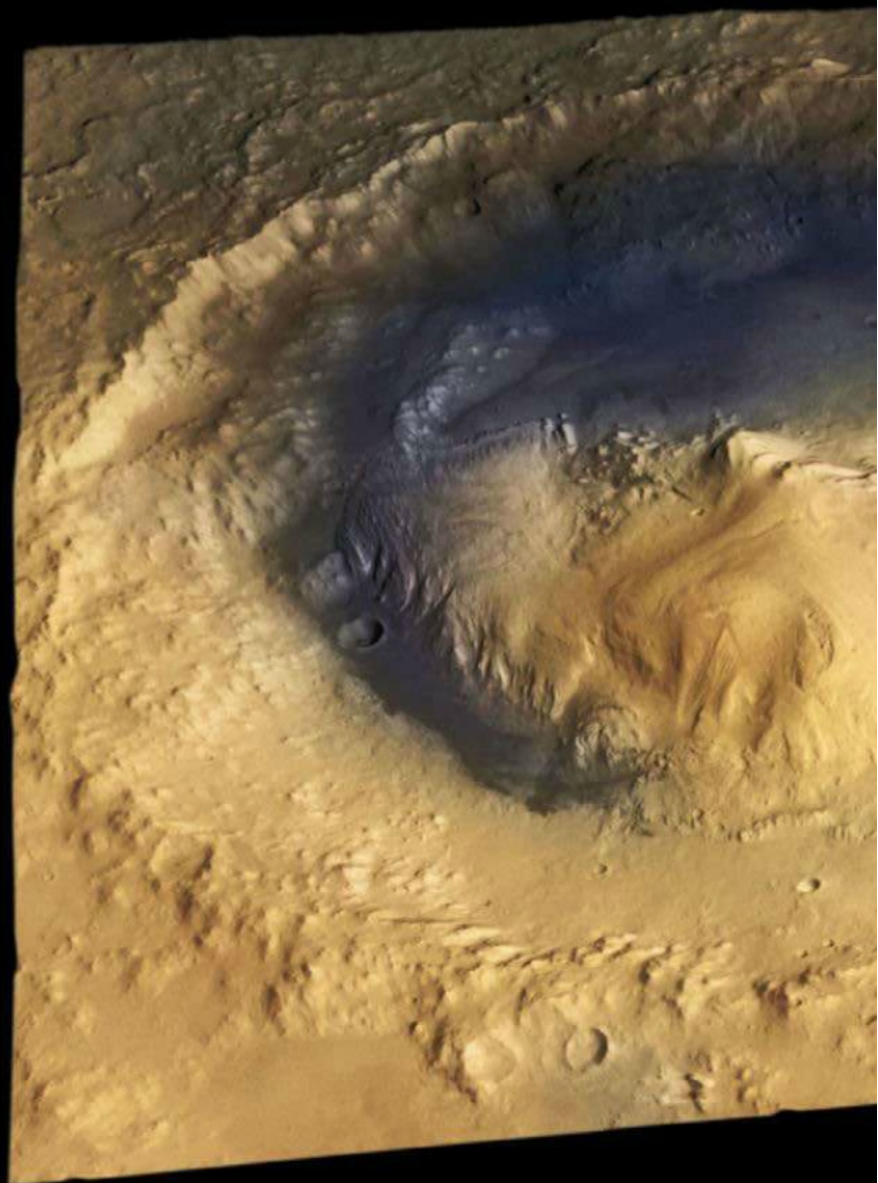
PAR SERGE BRUNIER



Cette fois-ci, les humains se sont vraiment donné les moyens de découvrir les Martiens, s'ils existent, ou bien d'établir qu'ils n'ont jamais existé. Il faut dire que la Nasa a sorti le grand jeu avec sa sonde *Curiosity* (ainsi baptisée après avoir longtemps porté le nom de *Mars Science Laboratory*): c'est un véritable laboratoire biologique ambulant, unique en son genre, que le 26 novembre dernier l'agence spatiale américaine a propulsé en direction de la planète rouge. Et avec lui l'espoir de trancher enfin la question de la vie sur Mars. Or, ce 6 août, *Curiosity* doit toucher au but: si tout se passe bien, son atterrissage sur le sol martien marquera le début de l'ultime épisode d'une saga commencée il y a plus de quarante ans. Une sonde martienne de plus, allez-vous dire, après les deux *Viking* (1976), *Sojourner* (1997), *Spirit* et *Opportunity* (2004), *Phoenix* (2008), sans compter l'armada de satellites qui survolent la planète depuis une trentaine d'années... Eh bien non. *Curiosity*, à tous points de vue, est une rupture dans l'histoire de la conquête martienne. Ne serait-ce que par sa taille: celle d'une voiture, quand *Opportunity* a la taille d'un kart, et *Sojourner* celle d'un tricycle d'enfant. Quant à son prix de 2,5 milliards de dollars, c'est six fois plus que celui d'*Opportunity*, qui gambade actuellement dans le désert martien.

LA SONDE MARTIENNE "DÉFINITIVE" ?

C'est la frustration des chercheurs, depuis des décennies d'études de Mars, qui a présidé à la conception de *Curiosity*. *Viking*, dans les années 1970, était censée, déjà, découvrir une éventuelle vie martienne. Echec: les expériences étaient peut-être mal conçues, ou trop peu sensibles. *Sojourner* a été le premier robot mobile martien, à la fin des années 1990. Mais trop petit, son rendement scientifique est resté très limité. *Spirit* et *Opportunity* eux, ont bien parcouru →



CHRONIQUE D'UNE SAGA AUX MULTIPLES

À la fin du XIX^e siècle, l'existence de la vie sur Mars semble acquise. Et jusqu'aux années 1970, les scientifiques vont y croire. Depuis, l'idée a connu des hauts et des bas au rythme des découvertes des sondes.

En 1955, grâce aux observations, le portrait de Mars est déjà étonnamment juste: aridité, froid, absence d'oxygène (1). Pourtant, la communauté veut continuer à croire à la présence de végétation sur Mars, voire de formes animales et même "intelligentes"...

En 1965, coup de froid... La sonde américaine *Mariner IV* révèle un paysage lunaire, des cratères par milliers, aucune trace de vie (2). Mais les chercheurs y croient encore... jusqu'en 1976, lorsque les sondes *Viking* se posent... Le paysage se révèle encore plus désertique qu'on l'imaginait. La vie ? Mars est stérile. Déception... La grande dépression martienne durera jusqu'au milieu des années 1990.

En 1996, une météorite martienne tombée sur Terre, ALH 84001,

UNE MISSION SUR UN SITE IDÉAL

Contrairement aux sondes précédentes (ci-dessous leur zone d'exploration), *Curiosity* va se poser sur un site d'une grande richesse géologique: le cratère Gale (ci-contre, en vert, le parcours prévu). Large de 150 km, il héberge en son centre un piton de 5000 m couvert de strates de sédiments. Les satellites ont montré que de l'eau a lessivé ces sols au début de l'histoire martienne. *Curiosity* va explorer ses flancs pour analyser ces strates riches en argiles et qui, peut-être, recèlent des traces de vie fossiles...



REBONDISSEMENTS

révèle des "micro-organismes" fossiles, dont se fera l'écho le président des Etats-Unis, Bill Clinton (3). La seconde vague de sondes martiennes peut déferler, on remet en question les expériences de *Viking*... pour ce qui ne sera, finalement, que des traces de bactéries terrestres.

En 2000, les crédits martiens de la Nasa sont décuplés, les missions s'accumulent. L'une d'elles découvre des "coulées liquides" sur Mars (4), les espoirs les plus fous renaissent. La vie n'est pas à la surface ? Qu'à cela ne tienne : elle se cache dans le sous-sol !

En 2006, *Science & Vie* annonce qu'il y a de la vie sur Mars : mais il s'agit de bactéries terrestres, apportées sur la planète rouge par les diverses sondes, mal stérilisées, qui s'y sont posées (5).

En 2011, la mode de l'eau

liquide martienne (6) – après le passage de pas moins de dix sondes en dix ans ! – a passé. On penche plutôt pour des "coulées sèches". Mais la flamme brûle encore : des salines, pleines de "saumure" pourraient affleurer par endroits... et abriter de la vie.



1



2



3



4



5



6

→ près de 50 km à eux deux, en huit ans de mission... Mais ils n'avaient pas de détecteur biologique, tandis que leurs sites d'atterrissage, trop plats, n'avaient qu'un intérêt géologique limité.

Curiosity va corriger tout cela. On peut même dire que c'est la sonde martienne "définitive". D'abord, le site choisi pour l'atterrissage : le cratère Gale, qui mesure 150 km de diamètre, est un paradis de géologue. L'analyse des relevés satellitaires a montré que de l'eau a coulé ici en abondance il y a des milliards d'années, y déposant de nombreuses strates sédimentaires. Lesquelles strates affleurent toutes sur les pentes du piton central du cratère qui s'élève jusqu'à 5 000 m de haut. Si la vie est apparue sur Mars, pensent les biologistes, c'est dans ces couches argileuses qu'il faut la chercher.

"QUITTE OU DOUBLE" TECHNOLOGIQUE

Deuxième point fort de la sonde : son autonomie. Dotée de six roues et pesant 900 kg (soit 300 kg seulement sur Mars, du fait d'une pesanteur trois fois moindre), elle sera propulsée non pas par des panneaux solaires, mais par une pile atomique alimentée par du dioxyde de plutonium. Puissance : 120 watts, contre 40 watts pour les panneaux d'*Opportunity* en plein soleil... Du coup, si tout se déroule correctement, ce sont des dizaines, voire des centaines de kilomètres que pourra, des années durant, parcourir la sonde, de jour comme de nuit, par tous les temps et en toute saison.

Enfin, l'instrumentation scientifique embarquée par *Curiosity* n'a pas d'égale dans toute l'histoire de la conquête martienne (voir ci-contre). En plus de l'arsenal classique de la Nasa (des caméras qui permettent d'obtenir des vues spectaculaires des paysages traversés, une station de météorologie), *Curiosity* embarque des spectromètres ultrasensibles capables de détecter dans le sol et le sous-sol les éléments chimiques fondamentaux de la biologie : carbone, oxygène, hydrogène, azote, phosphore, soufre, acides aminés... Des détecteurs soigneusement stérilisés avant le décollage de la sonde, afin qu'on ne découvre pas sur Mars... de la vie importée de la Terre!

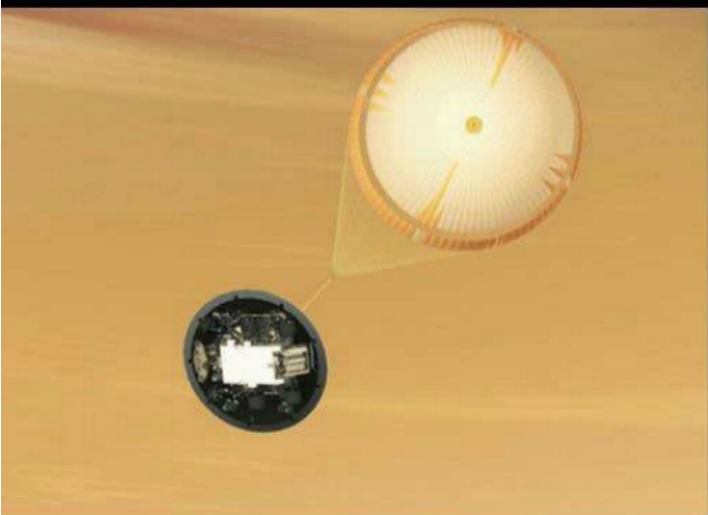
→



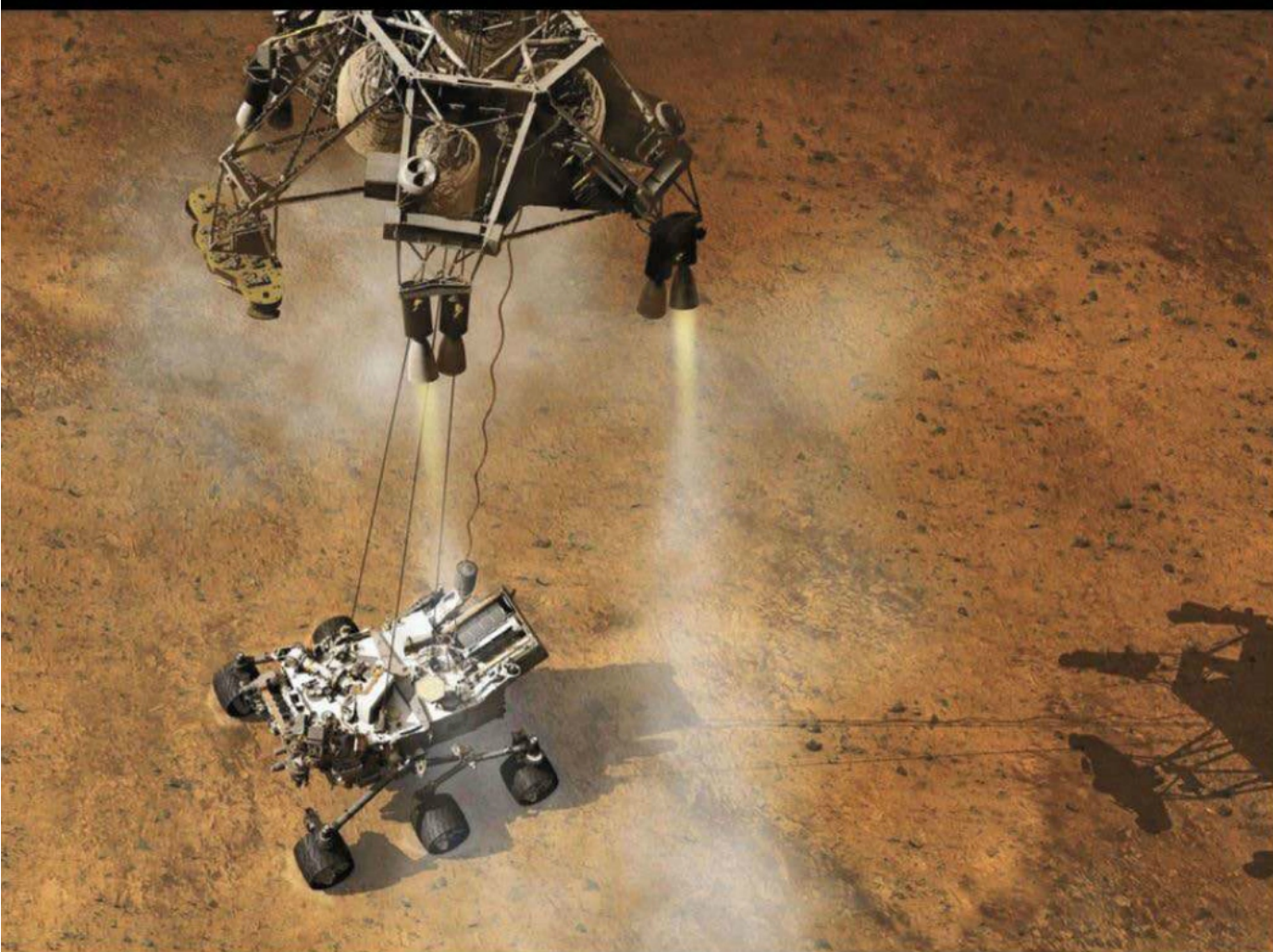
UN PARACHUTAGE DE

Poser sur la planète Mars, avec une précision de 20 km au sol, une sonde lancée à plus de 20 000 km/h... tel est le défi de la Nasa. Le scénario prévu est le suivant : *Curiosity* commence à freiner naturellement, à 220 km d'altitude, en pénétrant dans l'atmosphère, protégée par un bouclier porté à plus de 1400 °C. A 30 km, sa vitesse n'est plus que de 1600 km/h, et son parachute de 21,5 m d'envergure se déploie... La vitesse chute alors à 360 km/h et le bouclier de protection est éjecté. Vers 2000 m, la sonde se libère de son parachute et continue à descendre, portée par huit petits réacteurs... Enfin, parvenue à 21 m au-dessus du sol, une grue descend *Curiosity* jusqu'au sol... Jamais un système aussi complexe d'atterrissage n'a été utilisé au cours de la conquête spatiale.





TRÈS HAUTE PRÉCISION



→ Ces performances hors-norme font de la sonde *Curiosity* une mission non seulement unique en son genre, mais à haut risque. Un dangereux "quitte ou double" technologique puisque, contrainte de se poser avec une précision extrême sur le site soigneusement choisi par les planétologues, *Curiosity* va expérimenter un système d'atterrissage particulièrement complexe.

L'ATTENTE DU PREMIER MESSAGE...

Ce 6 août, comme toutes les sondes martiennes, elle traversera l'atmosphère à 25 000 km/h, protégée par un bouclier thermique. Puis, c'est un parachute qui prendra le relais, rien que de très normal. Mais la fin de l'atterrissage promet d'être plus corsée. Il s'agit d'une première, digne des missions lunaires Apollo : parvenue à environ 2 000 m d'altitude, le parachute sera éjecté, et *Curiosity* continuera sa descente freinée par des rétrofusées... Enfin, à 20 m au-dessus du sol martien, *Curiosity* sera délicatement hélitreuillée jusqu'au sol, tandis que le système d'atterrissage, désormais inutile, ira s'écraser plus loin. Une mission à haut risque et sans précédent : déploiement d'un parachute, puis allumage de huit moteurs, puis extinction de quatre des moteurs, puis "grutage" du rover jusqu'au sol... La précision et la fiabilité absolues de la manœuvre, complètement automatique, ne souffriront aucun "bug", même infime... Une fois posée au sol, la sonde à six roues motrices, remise de ses émotions, pourra déployer ses caméras et contempler le paysage autour d'elle... On croise les doigts. Tout est prévu pour que la sonde puisse alors converser avec la Terre : une antenne de transmission directe, dirigée vers notre planète, et, en appoint, deux satellites en orbite martienne (*Mars Reconnaissance Orbiteur* et *Mars Odyssey*) qui pourront servir de satellites de télécommunication. Si tout se passe bien, ce 6 août, *Curiosity* prendra aussitôt contact avec la Terre pour dire qu'elle est bien arrivée... Un long moment de solitude en perspective pour les ingénieurs de la Nasa : il faudra près d'un quart d'heure au SMS de *Curiosity* pour leur parvenir...

UNE SONDE HORS-N

C'est l'engin spatial le plus sophistiqué jamais conçu... Mû par une pile atomique, il peut parcourir jusqu'à des centaines de kilomètres, des années durant... Il embarque une station météo, des caméras couleur HD, des laboratoires de chimie et de biologie, un détecteur de radiations, un microscope et un bras manipulateur pour creuser le sol...

CAMÉRA CHIMIQUE

La science-fiction s'invite à bord de *Curiosity*. Un laser tire sur des roches choisies, jusqu'à 9 m de distance. Puis un minitéléscope observe le plasma brûlant émis par la cible et l'analyse avec un spectromètre... Si l'échantillon s'avère intéressant, *Curiosity* s'approche pour l'étudier plus précisément avec d'autres outils.

STATION MÉTÉOROLOGIQUE

C'est la station météorologique de *Curiosity*. Rien ne lui échappera : pression atmosphérique, température, vitesse du vent, couverture nuageuse.

LABORATOIRE DE MINÉRALOGIE

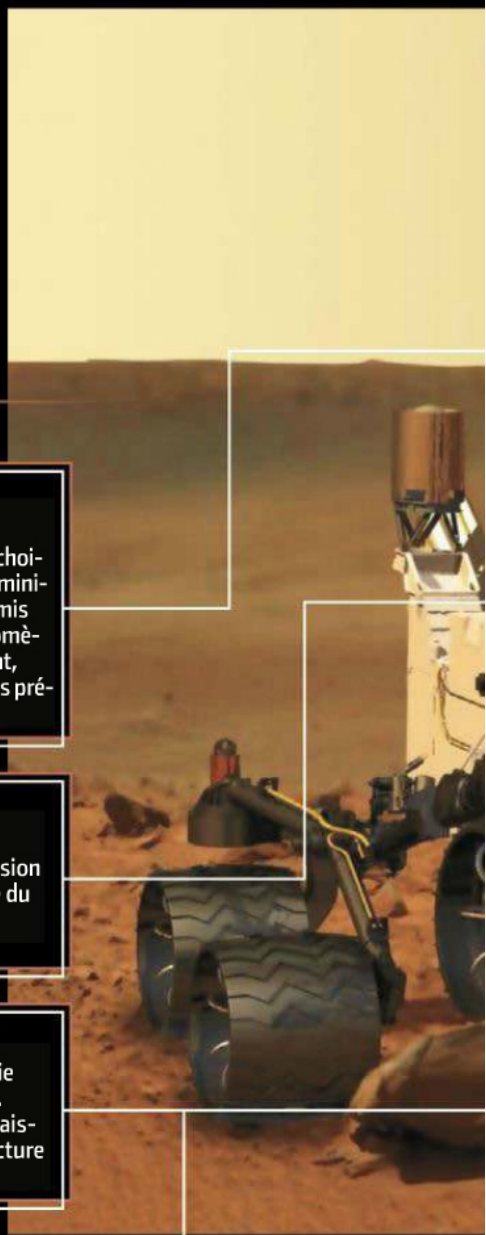
Cet instrument étudiera la minéralogie des échantillons récoltés par le robot. En éclairant les échantillons avec un faisceau de rayons X, il révélera leur structure cristalline.

DÉTECTEUR D'HYDROGÈNE

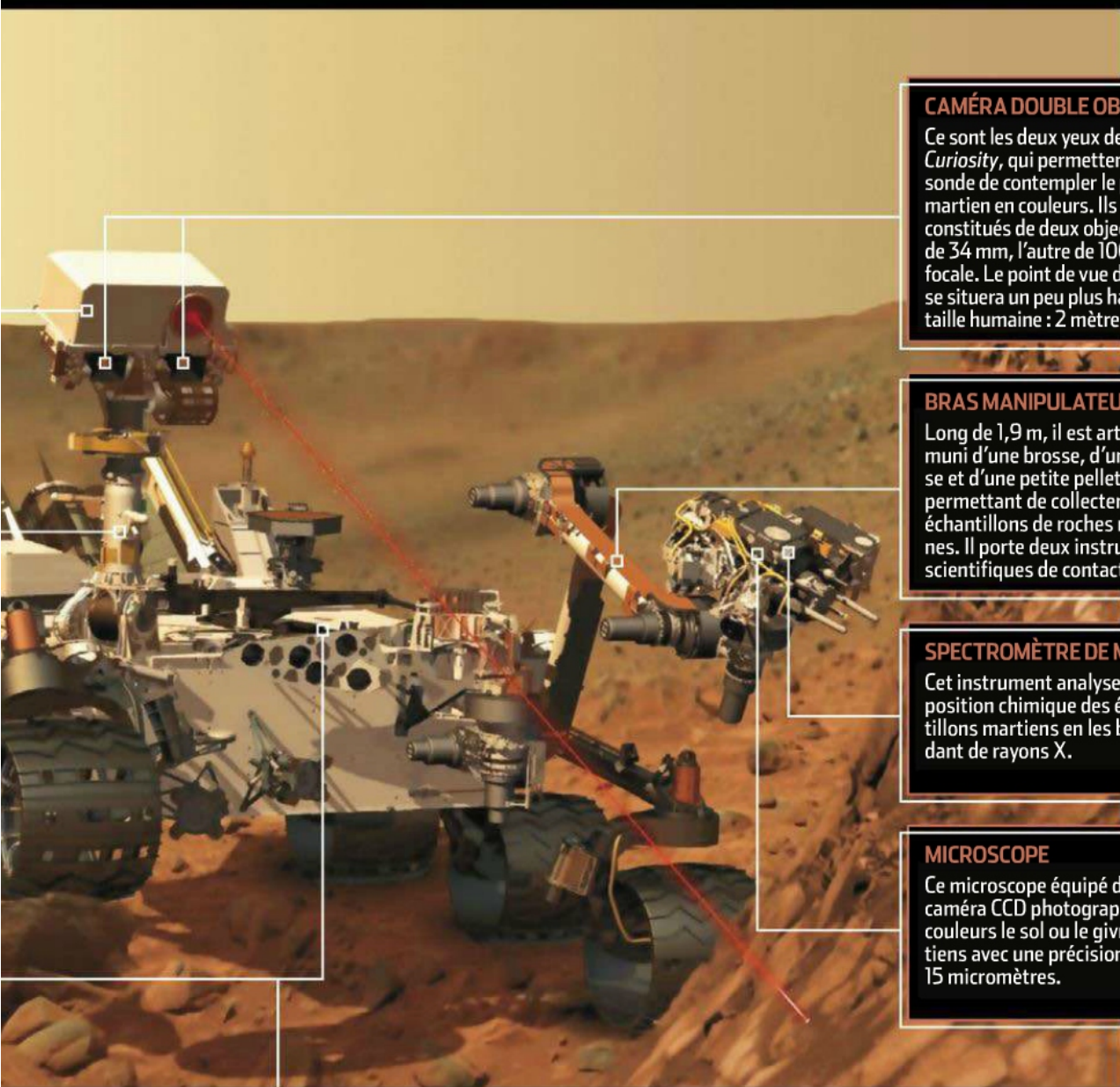
Cet instrument détectera l'hydrogène contenu dans les roches martiennes, et permettra aux scientifiques de déduire l'abondance d'eau du sous-sol, tout au long du parcours de la sonde à la surface de la planète rouge.

DÉTECTEUR DE RADIATIONS

Ce détecteur permettra de mieux comprendre l'impact des radiations sur une éventuelle vie martienne et aussi d'évaluer le taux de radiations cosmiques que supporteront de futurs équipages humains explorant la planète rouge.



ORME ET SURÉQUIPÉE



CAMÉRA DOUBLE OBJECTIF

Ce sont les deux yeux de *Curiosity*, qui permettent à la sonde de contempler le paysage martien en couleurs. Ils sont constitués de deux objectifs, l'un de 34 mm, l'autre de 100 mm de focale. Le point de vue du robot se situera un peu plus haut que la taille humaine : 2 mètres.

BRAS MANIPULATEUR

Long de 1,9 m, il est articulé et muni d'une brosse, d'une foreuse et d'une petite pelleuse permettant de collecter les échantillons de roches martiennes. Il porte deux instruments scientifiques de contact.

SPECTROMÈTRE DE MASSE

Cet instrument analyse la composition chimique des échantillons martiens en les bombardant de rayons X.

MICROSCOPE

Ce microscope équipé d'une caméra CCD photographiera en couleurs le sol ou le givre martiens avec une précision de 15 micromètres.

LABORATOIRE DE CHIMIE

C'est l'instrument fétiche des exobiologistes. Ce véritable minilaboratoire de chimie est équipé d'un chromatographe en phase gazeuse et d'un spectromètre de masse. Il sera capable de détecter les molécules organiques, en particulier les acides aminés du sol martien, s'ils existent.



< *Curiosity* (ci-dessus) est bien plus imposant que ses prédécesseurs (à la même échelle), *Spirit* (2004, 185 kg), à g., et *Sojourner* (1997, 10,6 kg), ci-dessous.



PÉTROLE LE SOUS-SOL FRAN

La France regorge de pétrole... et elle l'ignorait ! Il est vrai qu'il fallait chercher au bon endroit. Ce qu'ont fait des géologues de petites compagnies étrangères : ils ont ausculté le sous-sol du bassin de Paris à plus de 2 000 m de profondeur, dans la roche mère, là où se forment les hydrocarbures. Et ont découvert un gisement estimé à plusieurs milliards de barils ! Une manne inespérée, qui fait déjà rêver.



ÇAIS EN REGORGE!

PAR VINCENT NOUYRIGAT

Un fabuleux gisement sous le bassin de Paris

1 Sur plus d'un quart du territoire français...

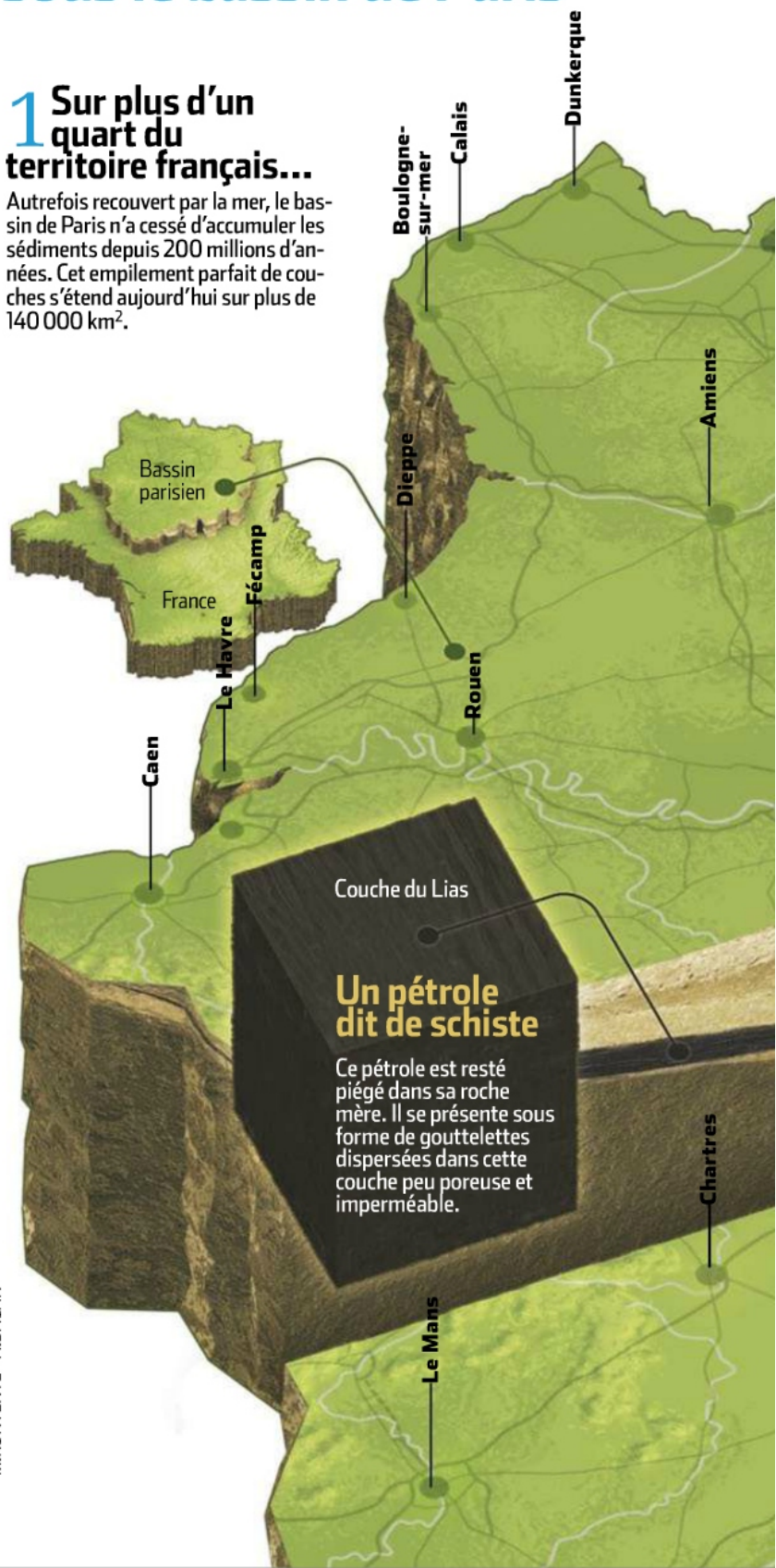
Autrefois recouvert par la mer, le bassin de Paris n'a cessé d'accumuler les sédiments depuis 200 millions d'années. Cet empilement parfait de couches s'étend aujourd'hui sur plus de 140 000 km².

En France, on n'a pas de pétrole... mais on a des idées." Personne n'a oublié ce slogan gouvernemental qui, en 1978, appelait les Français à de pressantes économies d'énergie. Au point qu'il sonne désormais comme une évidence : chacun d'entre nous s'est fait une raison de la pauvreté pétrolière du sous-sol national et, partant, de notre dépendance extrême vis-à-vis de l'étranger en la matière. Seulement voilà, depuis environ quatre ans, un tout autre discours commence à se faire entendre. Un discours à peine croyable : tout bien considéré, des dizaines de milliards de barils d'or noir dormiraient là, juste sous nos pieds ! Une manne tellement fantastique que l'Hexagone pourrait rêver d'évoluer dans la même catégorie que le Koweït et les Emirats arabes unis !

UNE TRÈS VASTE FORMATION SÉDIMENTAIRE

L'endroit où se cache ce trésor jusqu'ici insoupçonné ? Essentiellement dans le bassin de Paris, cette vaste formation sédimentaire qui trône sur la moitié nord du pays (voir infographie ci-contre). Ce sont les géologues de petites compagnies pétrolières anglo-saxonnes qui l'affirment, armés de leur fraîcheur, de leur audace, de leur savoir-faire... Et parfois de leur enthousiasme excessif, forcément intéressé. Mais une chose est sûre : aucun ingénieur pétrolier ne dédaigne plus notre sous-sol. Songez qu'en 2009, une compagnie américaine, nommée Treador, quittait ses bureaux de Dallas pour venir s'installer... à Paris. Du jamais vu ! Dans le même temps, le ministère de l'Industrie croulait sous les demandes de permis d'exploration venant du monde entier. Un choc. *"Jusqu'alors, ça vivait, témoigne Charles Lamiroux, géologue responsable de l'exploration des hydrocarbures au ministère de l'Industrie. Il y a peu, nous devons encore écumer les congrès pétroliers dans l'espoir d'attirer des opérateurs chez nous."*

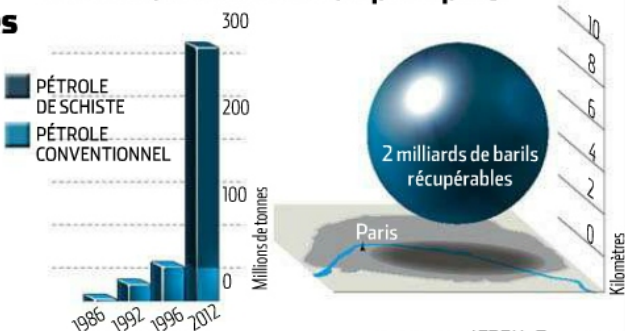
M. KONTENTE - A. DAGAN



Des estimations impressionnantes

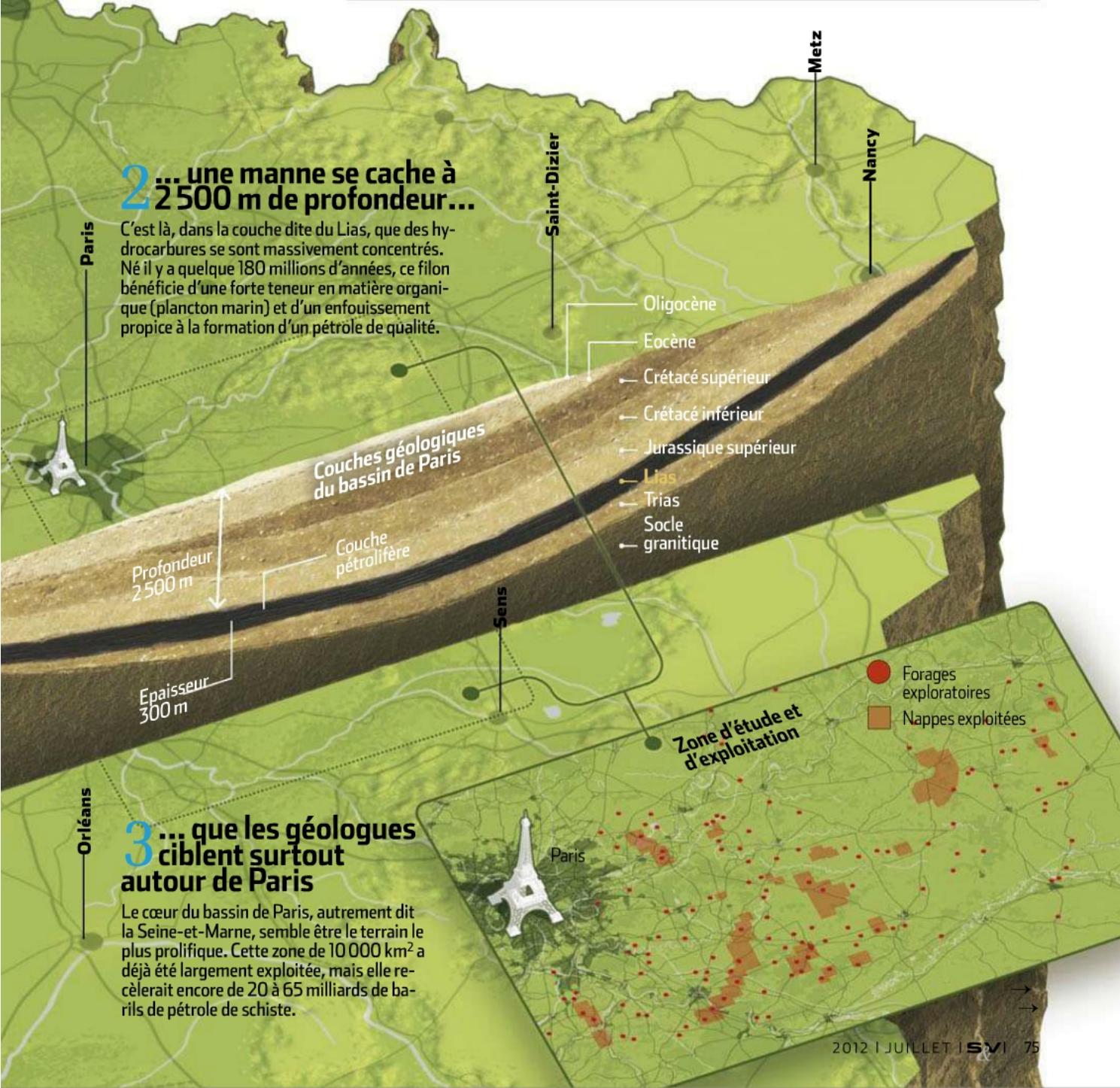
En recoupant les chiffres de l'Institut français du pétrole et de la compagnie Toreador, la France basculerait dans une nouvelle dimension pétrolière grâce au gisement du bassin de Paris.

Nos ressources seraient multipliées par 6



2... une manne se cache à 2 500 m de profondeur...

C'est là, dans la couche dite du Lias, que des hydrocarbures se sont massivement concentrés. Né il y a quelque 180 millions d'années, ce filon bénéficie d'une forte teneur en matière organique (plancton marin) et d'un enfouissement propice à la formation d'un pétrole de qualité.



3... que les géologues ciblent surtout autour de Paris

Le cœur du bassin de Paris, autrement dit la Seine-et-Marne, semble être le terrain le plus prolifique. Cette zone de 10 000 km² a déjà été largement exploitée, mais elle recèlerait encore de 20 à 65 milliards de barils de pétrole de schiste.

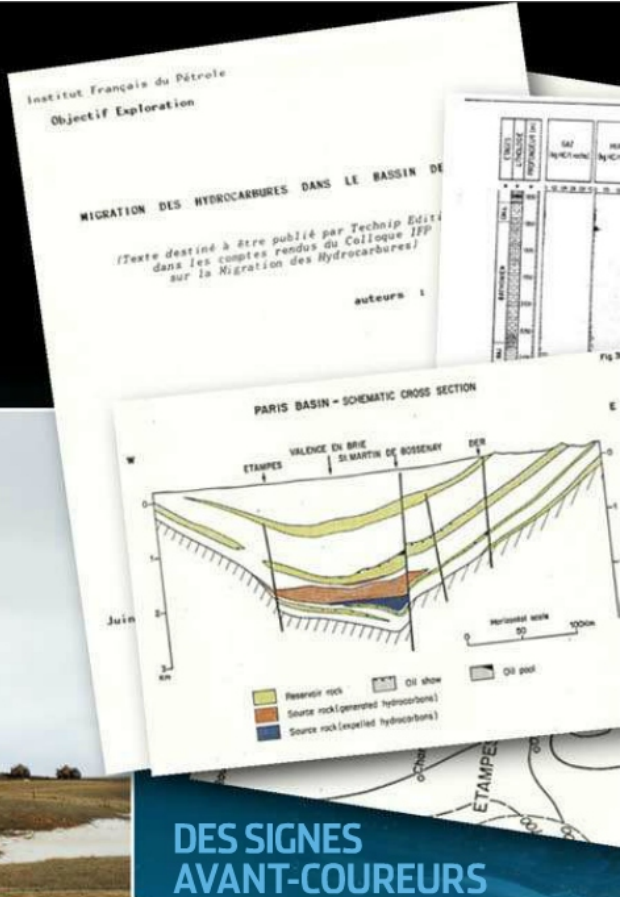
GISEMENT : 3 INDICES ONT MIS SUR LA PISTE

Avant même les premiers forages de reconnaissance, les géologues ont de solides raisons de penser que des milliards de barils reposent sous Paris et sa région. Une conviction née d'un faisceau d'indices réunis en plongeant dans les archives géologiques...



UNE ANALOGIE GÉOLOGIQUE FAVORABLE

Le bassin sédimentaire de Paris ressemble à celui de Williston. Inconnu il y a dix ans, ce site américain produit aujourd'hui plus que l'Alaska.



DES SIGNES AVANT-COUREURS

2000 puits et autant de rapports circonstanciés... évoquant de soudaines éruptions de pétrole en traversant la roche mère.

→ Car, aussi étonnant que cela paraisse, en France, on extrait tout de même quelques barils de pétrole : un peu dans le Bassin aquitain, depuis 1949, et un peu dans le bassin de Paris, depuis 1958. Une activité à peine visible aux yeux du public. Et devenue d'autant plus anecdotique que, dans les années 1990, les Majors (Total, Esso, etc.) ont déserté l'Hexagone : leurs réservoirs y étaient éreintés et les prix du baril au plus bas. *“La production s'organise aujourd'hui, de façon parfois très artisanale, autour de vieux gisements à bout de souffle”*, peint Roland Vially, géologue à l'Institut français du pétrole (IFPEN). Au total, la France extrait péniblement chaque jour 20000 barils de brut, soit 1 % de sa consommation. Une production on ne peut plus symbolique...

Dès lors, comment ces chercheurs d'or noir pourraient-ils nous faire croire que notre sous-sol regorge de pétrole, quand seul un forage exploratoire sur sept dans le bassin de Paris tombe sur une (petite) poche d'hydrocarbures ? Comment imaginer que les experts qui transpercent la France depuis plus de cinquante ans aient

pu passer à côté d'une telle manne ? C'est que, rappelle Jean-Paul Callot, professeur au Laboratoire des fluides complexes et leurs réservoirs (université de Pau), *“l'histoire de la recherche pétrolière est jalonnée de choix intellectuels, de sauts conceptuels qui peuvent, soudainement, augmenter le niveau des réserves”*. De fait, ce pétrole oublié repose là où, jusqu'à présent, personne n'avait envisagé de venir le chercher.

UNE ROCHE MÈRE DIGNE DU MOYEN-ORIENT !

Petit rappel de la recette d'un gisement d'or noir classique : de la matière organique (planctons, algues, végétaux) s'accumule au fond d'une mer ; au fil de millions d'années, des couches de sédiments la recouvrent ; sous l'effet de la température et de la pression, cette matière se transforme en hydrocarbures ; ultralégers, pétrole et gaz s'échappent peu à peu de leur lieu de naissance, appelé roche mère ; en chemin vers la surface, ils sont parfois retenus par des formations géologiques qui deviennent... des gisements. Sauf que, dans cette belle histoire, on néglige souvent un détail : tous les hydrocarbures



DES ÉCHANTILLONS PROMETTEURS

En cinquante ans, les compagnies pétrolières ont récupéré des carottes de roche mère et, surtout, des déblais issus des forages. L'analyse de ces échantillons entreposés dans des carothèques laisse entrevoir un nouveau potentiel.

n'ont pas forcément quitté leur lieu de fabrication, leur roche mère. En clair, il reste encore de l'authentique pétrole, piégé en plus ou moins grande quantité dans ces couches d'argile peu poreuse. Son nom : le pétrole de roche mère, ou pétrole de schiste. Et il se trouve que, depuis 2005, les industriels américains ont mis au point une méthode rentable pour extraire ce type de pétrole (voir infographie, p. 78). *“Habituellement, la roche mère est surnommée la cuisine à pétrole; eh bien, elle est en train de devenir aussi notre salle à manger...”*, fanfaronne Jacques Pironon du Laboratoire de géologie et gestion des ressources minérales (université de Lorraine). A ce titre, la roche mère du bassin de Paris, située à quelque 2 300 m de profondeur (âge du Lias), pourrait s'avérer particulièrement juteuse. Reste à le démontrer...

Car, à vrai dire, cette couche géologique n'a jamais vraiment intéressé les pétroliers. *“Celle du bassin de Paris a seulement été étudiée dans les années 1980 pour un tout autre usage : le stockage des déchets radioactifs...”*, se souvient Didier Bonijoly, chef du service géologie au Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM). Nul n'ignorait la présence de pétrole dispersé

dans cette source originelle, *“simplement, on le considérait comme perdu pour la cause, irrécupérable, à oublier”*, raconte Jean Espitalié, pionnier de l'étude du bassin de Paris à l'IFPEN. Avant de nous confier : *“A certains endroits, notre roche mère a pourtant des propriétés formidables, presque dignes de celles rencontrées au Moyen-Orient !”* Roland Vially poursuit : *“Ce po-*

SOUS LE BASSIN DE PARIS, CE SONT 30 ANS DE CONSOMMATION NATIONALE DE PÉTROLE QUI DORMIRAIENT !

tentiel, on l'avait vu sans vraiment le dire. Car ni les bas prix du baril ni les techniques disponibles ne permettaient son exploitation.” Deux conditions désormais réunies.

La compagnie américaine Treador est la première à avoir porté ce nouveau regard sur le bassin de Paris. Il faut dire que cette formation ressemble à s'y méprendre au bassin de Willistone (Dakota du Nord), où le pétrole de schiste coule à flots depuis quelques années... Nous sommes en 2007. Une véritable enquête historique commence alors. Les géologues →

→ se font archéologues : car, bonne nouvelle, environ 2 000 puits d'exploration et d'extraction ont été forés par le passé dans le bassin de Paris et leurs données brutes appartiennent au domaine public.

Le premier indice troublant ne tarde d'ailleurs pas à apparaître sous la forme d'une note manuscrite retrouvée dans la marge d'un rapport concernant un très vieux puits de Seine-et-Marne. Que dit cette note ? Durant le forage, une soudaine éruption de pétrole est intervenue... avant même d'atteindre un quelconque réservoir. Explications de Charles Lamiroux : *"Même si aucune compagnie n'a jamais visé la roche mère en tant que telle, un certain nombre de puits l'ont traversée pour atteindre des réservoirs profonds. Et les techniciens ont noté tout ce qu'il se passait lors de cette traversée..."* Au gré des dépouillements, d'autres "indices d'huile" s'accumulent : dans le puits de Montmirail (Marne) percé en 1958 ; dans celui de Nangis (Seine-et-Marne) en 1959 ; à Essises (Aisne) en

UNE INVENTION FRANÇAISE

La première société pétrolière ne fut pas américaine, comme on pourrait le croire, mais française. Elle est née à Pechelbronn (Alsace) en 1740. Le bitume huileux, extrait dans des galeries de mine, servait alors à lubrifier toutes sortes d'outils. Le pétrole de Pechelbronn fut exploité jusqu'en 1970 et vit naître des sociétés comme Antar et Schlumberger.



Une extraction possible par fracturation de la roche...

Contrairement aux gisements classiques très concentrés, le pétrole de schiste se trouve dispersé au sein de la roche mère. L'extraction est donc particulièrement difficile : les pétroliers ne peuvent pas se contenter d'atteindre cette couche, ils doivent aussi la transpercer sur toute sa longueur, puis la fracturer violemment...



Tête de puits

Puits à drains multiples en étoile

Puits à drains multiples parallèles

1960 ; à Mélarchez (Seine-et-Marne) en 1983 ; à Champotran (Seine-et-Marne) en 1985... Avec chaque fois les mêmes symptômes. *"Cela devient intéressant : le fait que le pétrole se manifeste sur plusieurs puits, et non sur un seul isolé, démontre l'ampleur du phénomène à l'échelle régionale"*, observe Jean-Paul Callot.

UN DEMI-SIÈCLE D'ÉCHANTILLONS ANALYSÉS

Toujours est-il que ces fuites de pétrole, souvent très éphémères, ne disent pas grand-chose de la roche mère. Sa composition est-elle si prometteuse ? Problème : comme il était dénué jusqu'ici de tout intérêt commercial, les opérateurs n'ont guère pris la peine d'y prélever des carottes pour en avoir le cœur net – une opération longue et coûteuse. Mais par chance pour Treador, c'est dans le bassin de Paris qu'est née la géochimie pétrolière, une spécialité française. Autrement dit, depuis un demi-siècle, les scientifiques

... en 3 étapes

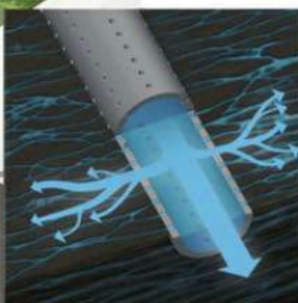
1 La roche est percée...

Des forages horizontaux transpercent la roche mère sur plus de 5 kilomètres de longueur.



2 ... puis fracturée...

De l'eau est injectée sous une pression terrible de 700 bars. Le liquide force le passage dans la roche, qui se fissure à 100 m à la ronde.



3 ...et ensuite drainée

Une fois l'eau évacuée, les fractures restent ouvertes. Le pétrole contenu dans la roche s'écoule et remonte spontanément vers la surface.



Drain (env. 5 km de long)

Roche mère riche en pétrole

n'ont de cesse d'y analyser frénétiquement tous les échantillons qui leur tombent sous la main. "J'avais mis au point le premier appareil capable d'analyser à la chaîne les déblais de forage remontant à la surface, raconte Jean Espitalié. En traversant 300 m de roche mère sur le forage de Donnemarie, en Seine-et-Marne, les échantillons nous avaient alors indiqué par endroits la possible présence de 7,5 millions de barils d'hydrocarbures par kilomètre carré autour du puits." Encore une fois, à l'époque, personne n'en avait cure. Mais ces valeurs, dûment publiées dans les manuels de l'IFPEN, n'ont pas échappé aux fins limiers de Toreador.

Or, la quête ne s'arrête pas là. Les chercheurs d'or noir ont également exhumé toutes les radiographies (de l'imagerie sismique) prises du sous-sol. "Certaines données remontent aux années 1950, et seules une ou deux entreprises →

GAZ : LE SUD-EST, PAYS DE COCAGNE ?

Depuis deux ans, la révolte gronde dans le sud-est de la France contre l'exploitation des gaz de schiste et ses méfaits attendus. Au point que les trois permis d'exploration attribués dans ce secteur (Ardèche, Lozère, Gard, Aveyron, Hérault) ont été annulés à l'automne 2011. Au-delà des polémiques environnementales, ce bassin sédimentaire du Sud-Est est désigné par les compagnies comme étant l'un des plus prometteurs d'Europe. Une fièvre entretenue par les estimations d'une antenne du ministère américain de l'Energie : selon ses experts, ce sous-sol recèlerait 5100 milliards de m³ de gaz de schiste (ou gaz de roche mère) techniquement récupérables... Qu'en est-il exactement ? "Si c'est vrai, cela représente cent ans de notre consommation actuelle", mesure ébahi Charles Lamiroux, au ministère de l'Industrie. Une aubaine, alors que la France produit seulement 2 % de ses besoins en gaz. En réalité, ces chiffres sont accueillis avec circonspection par les géologues : l'évaluation américaine n'est que le fruit d'analogies grossières et de calculs purement théoriques. Les opérateurs reconnaissent eux-mêmes, en coulisses, que les indices sont maigres : seule une vingtaine de puits ont traversé par le passé cette vaste roche mère du Sud-Est ; les échantillons sont rarissimes et il n'y a quasiment pas d'échographies sismiques. Pis, selon Jean-Paul Callot, professeur en géologie structurale, "cette formation est très complexe, fortement plissée et faillée : l'exploitation des gaz de schiste ne me paraît pas possible ici, ce n'est pas crédible !". Même si les compagnies affirment viser les zones les plus simples. Qui a raison ? Pour l'instant, l'interdiction des travaux d'exploration ne permet pas de trancher.

→ dans le monde disposent encore du lecteur capable de les décrypter. A condition que les bandes n'aient pas été rongées par l'humidité", précise Didier Bonijoly. Les objectifs visés aujourd'hui ne sont plus les mêmes qu'il y a dix, trente ou cinquante ans. Surtout, souligne le géophysicien Franck Hanot, "le retraitement informatique des anciennes données élimine les artefacts trompeurs, fait apparaître de nouvelles structures et affine la vision de la roche mère". Et justement: au fur et à mesure que les preuves s'accumulent, l'analogie avec le prolifique bassin américain de Willistone se renforce...

UNE MANNE QUI FAIT RÊVER ET PEUR À LA FOIS

Rapports poussiéreux, bandes magnétiques à peine lisibles, schémas sibyllins, fragments de carottes égarés dans les archives de compagnies disparues... "Ils ont accompli un véritable travail de bénédictin!", admire Roland Vially. Fort de toutes ces données, Toreador s'est essayé à simuler sur ordinateur le cœur du bassin de Paris, la zone la plus prometteuse. Sur ces 10 000 km², intégrant la capitale, la roche mère aurait généré tout au long de son histoire quelque 100 milliards de barils de brut. Selon les modes de calculs, entre 20 et 65 milliards de barils seraient toujours en place – au bas mot trente ans

de consommation nationale rien que sur ce modeste périmètre! "Vu la densité d'informations recueillies, ces ordres de grandeur me semblent tout à fait justes", estime Jean-Paul Callot. Mais il ne faut pas rêver: techniquement, seuls 1 à 3 % du magot pourraient être extraits... Soit tout de même 2 milliards de barils exploitables – Franciliens, vous dormez sur un pactole de 166 milliards d'euros. Une hypothèse prudente circule: dans la zone convoitée par Toreador et aussi la compagnie canadienne Vermilion, cette nouvelle ressource permettrait déjà de soutirer 100 000 barils par jour durant vingt-cinq ans, soit dix fois plus qu'aujourd'hui.

Bien sûr, cet apport ne ferait de la France ni un émirat ni un membre de l'Opep, pas même un membre du Top 50 des pays producteurs... Pour autant, l'émergence du concept d'hydrocarbures de roche mère fait naître les espoirs les plus fous un peu partout dans l'Hexagone. Certaines régions, qui ont tant déçu les pétroliers, voient ici une dernière chance se présenter à elles. A l'exemple de la Lorraine, située sur la bordure est du bassin de Paris. Voilà une région où presque tous les forages se sont soldés par un échec, mais une région aussi où de touchants aventuriers n'ont jamais cessé de chercher... Et si l'avenir leur donnait raison?



▲ Des paysages dévastés, des nappes phréatiques contaminées... L'extraction de pétrole de schiste pose de graves problèmes de pollution: elle nécessite d'énormes quantités d'eau qui, chargées de métaux lourds, devront ensuite décanter dans des bassins.

EAUX TERRITORIALES: LE NOUVEL ELDORADO

Vendredi 9 septembre 2011, une information s'étalait à la une des journaux: un forage exploratoire de Total venait de faire mouche au large de la Guyane, laissant deviner un fabuleux gisement. Une première historique dans ce petit coin de France! "Jusqu'à présent, en Guyane, on ne songeait qu'à rechercher de l'or, soupire Roland Vially, de l'Institut français du pétrole (IFPEN). D'autant que les deux seuls puits forés en mer dans les années 1970 s'étaient révélés secs." Tout a changé avec la découverte inattendue, en 2007, d'un réservoir d'environ un milliard de barils au large du Ghana. Quel rapport? Eh bien, il y a quelque 200 millions d'années,

Afrique et Amérique du Sud étaient accolées, c'est-à-dire que le Ghana et la Guyane, tout proches, partageaient la même géologie. D'où l'espoir légitime de trouver un champ jumeau dans ces formations pourtant peu familières des pétroliers. Roland Vially a fait ses calculs: "Le champ ghanéen produira sous peu 120 000 barils par jour. Si le gisement trouvé par Total s'avère comparable, cela multiplierait par 6 notre production nationale!"

Mais le domaine maritime de la France dispose d'autres atouts, parfois injustement méconnus: c'est le cas de nos îles Eparses, qui entourent Madagascar, un confetti stratégique situé sur

l'ancienne route des épices et l'actuelle autoroute des cargos. Il se trouve que l'un de ces îlots bien français, baptisé Juan de Nova, est planté au milieu d'une formation géologique aujourd'hui très convoitée – le canal du Mozambique. "Mes correspondants m'en parlent comme d'un bassin au potentiel fabuleux, une nouvelle mer du Nord", évoque Charles Lamiriaux, chargé de l'exploration au ministère de l'Industrie. Le gouvernement a ainsi accordé, fin 2008, un permis d'exploration dans les eaux de Juan de Nova. Et les derniers résultats de la campagne d'imagerie sismique du sous-sol, achevée en mai, sont prometteurs. En attendant confirmation...



Vendredi 16 septembre 2011, la compagnie australienne Elixir, détentrice d'un vaste permis de 5 300 km² en Lorraine, annonçait avoir décelé un prodigieux trésor dans ce sous-sol. Son communiqué évoque la présence de, tenez-vous bien, 164 milliards de barils de brut ainsi que 18 000 milliards de mètres cubes de gaz ! Des chiffres si affolants qu'ils en paraissent loufoques. Ainsi donc, la Lorraine serait une sorte de Qatar en puissance ? "J'avoue être très

Le dernier point chaud de la recherche d'hydrocarbures en mer se situe à quelques encablures de... Marseille ! En effet, souligne Roland Vially, "la radiographie sismique du delta du Rhône montre des similitudes frappantes avec le bassin levantin, au large d'Israël, où plusieurs gisements géants de gaz ont été découverts depuis 2009", Israël étant d'ailleurs en passe de devenir autosuffisant. Voilà qui serait idéal, à proximité du marché hexagonal. A un détail près : le permis d'exploration "Rhône Maritime" suscite une vive controverse en raison de sa proximité avec le parc national des calanques et avec un sanctuaire pour mammifères marins. A suivre, donc.

FAITS & CHIFFRES

La France brûle chaque jour 1,8 million de barils, ce qui en fait le douzième pays le plus consommateur, derrière le Brésil. Certes, avec l'électricité nucléaire notamment, la contribution du pétrole au bilan énergétique national est passée de 68 % en 1973 à 32 % aujourd'hui. Mais les transports (qui mobilisent 59 % de la consommation) ne peuvent s'en passer...



▲ Les populations, vent debout contre la fracturation hydraulique, ont poussé le législateur à l'interdire en juillet 2011.

sceptique", reconnaît Charles Lamiroux. Au vrai, ces nouveaux hydrocarbures, très dispersés, se prêtent fort bien aux annonces chocs : comme nous le confie un industriel, "il est facile d'obtenir sur le papier des chiffres fabuleux en multipliant bêtement un taux d'hydrocarbures moyen par les dimensions de cette couche très étendue ; on fait tous ça pour attirer des partenaires industriels, sans que cela ait beaucoup de sens". Néanmoins Iain Knott, directeur d'exploration d'Elixir, tient à défendre les quinze mois de travail intense passés sur ce permis : "L'analyse avec des moyens modernes des données existantes (imagerie sismique, chimiostratigraphie...) nous a amenés à une nouvelle compréhension géologique du bassin Sarre-Lorraine. Lequel ressemble en fait à un bassin du Colorado déjà très étudié, celui de Piceance. Et la couche carbonifère qui, selon notre étude, présente un fort potentiel affiche quelque 4 000 mètres d'épaisseur !" Tout en reconnaissant que "d'importantes incertitudes restent à résoudre, tant la densité des forages (un puits tous les 600 km²) atteignant la couche visée est faible".

Même regain d'espoir dans le bassin du sud-est de la France, où les 150 puits entrepris depuis les années 1940 n'ont rien donné, ou presque. A défaut de classiques pièges à hydrocarbures, les géologues entrevoient désormais dans la roche mère du Sud-Est un réservoir de gaz possiblement mirifique (voir encadré p. 79). Sachant que, par ailleurs, nos eaux territoriales pourraient elles aussi réserver de bonnes surprises... (voir encadré ci-contre).

J.MOOSY/REDUX-REA - P.MERLE/AFP



▲ Depuis longtemps quelques exploitations tirent le pétrole du sol français (ici, en Seine-et-Marne), mais, rudimentaires, elles extraient à peine 20 000 barils par jour de gisements en bout de course.

→ Au bout du compte, *“ces équipes ont tiré le maximum des anciennes données disponibles, tranche Roland Vially. Il faut maintenant passer à l'étape suivante : effectuer des forages de reconnaissance pour s'assurer que cette réserve d'hydrocarbures est bien là”*. Les concepts aguicheurs, les spéculations et autres plans sur la comète, Bernard Durand, ancien responsable de la géologie à l'IFPEN, les connaît trop : *“Même si les compagnies se risquent à des analogies avec d'autres bassins à succès, il n'existe pas deux formations au monde qui se ressemblent totalement. Or, la genèse d'or noir est une mécanique très subtile.”* Surtout, rien ne dit que ce pétrole de schiste sera aussi facile et rentable à extraire en Seine-et-Marne que dans le Dakota du Nord : tout dépend de la mécanique intime de la roche mère, de sa capacité à se fracturer pour libérer son huile. Et cela, *“seuls des essais de production sur le terrain pourraient le déterminer”*, insiste Roland Vially.

UNE TECHNIQUE D'EXTRACTION QUI FAIT DÉBAT

Pour l'heure, seule la compagnie canadienne Vermilion s'est livrée par curiosité, en 2010, à quelques essais de stimulation sur deux anciens puits de sa concession de Champotran (Seine-et-Marne). Avec, à la clé, un filet de quelques dizaines de barils d'huile par jour. Or, rétablit Charles Lamiraux, *“une véritable évaluation du potentiel en pétrole demanderait de forer un puits horizontal le long de la roche mère pour ensuite pratiquer la fracturation hydraulique”*. Personne ne s'y est risqué sur notre territoire, et

pour cause : cette technique d'extraction a été interdite par la loi de juillet 2011, après les protestations soulevées par les gaz de schiste. Les griefs sont nombreux : intense consommation d'eau (10 000 à 20 000 m³ par forage), spectre de la contamination des nappes phréatiques, paysages ravagés par le quadrillage de plates-formes... Depuis un an, toutes les demandes de permis d'exploration d'hydrocarbures de roche mère sont rejetées par les préfetures au motif de *“troubles à l'ordre public”*. Le sujet est devenu tellement sensible que les compagnies pionnières en France, à savoir Treador et Vermilion, n'ont pas souhaité répondre à nos questions. Sans compter que transformer le bassin de Paris en champ de derricks n'est pas gagné quand exploitations agricoles et habitations se disputent déjà le territoire. La France n'est pas les États-Unis, et encore moins le Texas où l'on fore à tout crin jusque dans les centres-ville.

Il n'empêche. *“La situation actuelle interdit aux chercheurs de connaître l'état de la ressource de notre sous-sol : on ne peut pas rester comme cela dans l'ignorance !”*, milite Jacques Pironon. Un sentiment, presque une impatience, partagé dans les couloirs des ministères. Faut-il rappeler le montant de la facture énergétique qui étrangle la France, avec ce record fracassant de 61,4 milliards d'euros atteint en 2011 ? Les arguments pour exploiter cette richesse soupçonnée sont lourds : moindre dépendance énergétique, meilleure balance commerciale, taxes, emplois locaux. *“Stratégiquement, le simple acte d'explorer ces hydrocarbures nous permettrait déjà de faire pression sur nos actuels fournisseurs pour négocier les prix”*, relève Charles Lamiraux.

D'ores et déjà se dessine le projet d'établir quelques puits expérimentaux, dûment encadrés par les organismes scientifiques français. Objectif ? Éviter de reproduire les dérives observées aux États-Unis. Ce qui n'a rien d'évident, tant cette méthode d'extraction a d'effets pervers. En tout cas, l'heure des grandes décisions approche. *“Même si la transition énergétique est nécessaire, il ne faut pas se mentir : nous aurons encore besoin de pétrole en 2035, expose Roland Vially. Mais je conçois qu'à l'heure du développement durable, il n'est pas évident de lancer une exploitation minière amenée à s'éteindre dans quelques dizaines d'années. Peut-être préférons-nous l'importer, finalement, cet or noir.”* En France, on a du pétrole, reste à savoir si on aura l'idée de l'extraire... ☒

C. CHICOT/FEDEPHOTO

SCIENCE & VIE

Questions Réponses



Comment
le **chocolat**
agit sur
notre
cerveau ?



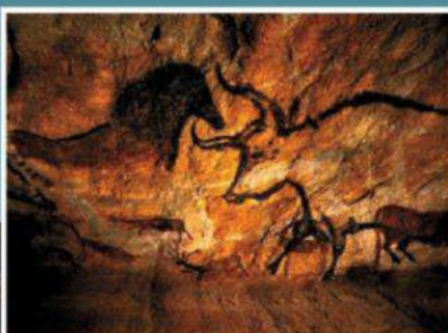
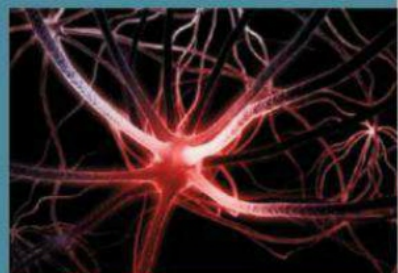
Peut-on **lire**
dans les
pensées ?

Le **corps** peut-il
soigner **l'esprit** ?

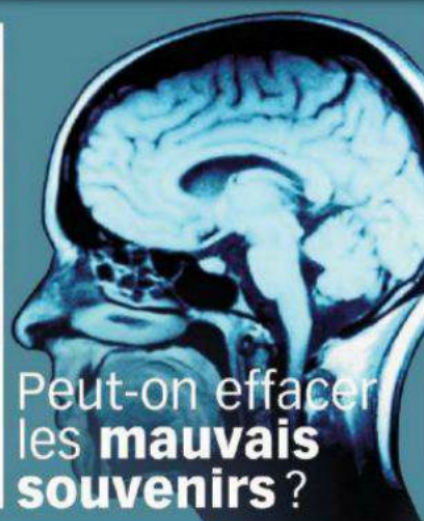
100 QUESTIONS/100 RÉPONSES

CERVEAU & MÉMOIRE

Quand
Alzheimer
peut-il être
diagnostiqué ?



L'homme est-il
de plus en plus
intelligent ?



Peut-on effacer
les **mauvais**
souvenirs ?

TEST ÉVALUEZ VOTRE MÉMOIRE

En vente actuellement



**IL Y A 20 000 ANS
LA TERRE SE RÉCHAUFFAIT...**

LE FILM RECONSTITUÉ

Pour la première fois, une publication retrace, millénaire après millénaire, l'histoire de la dernière déglaciation que la Terre ait traversée. Un récit d'autant plus instructif que la planète est en voie de réchauffement.

PAR YVES SCIAMA



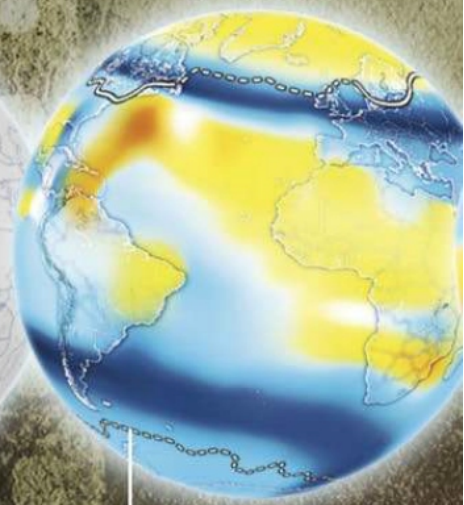
AINSI SE RÉCHAUFFE GLOBALEMENT LA PLANÈTE

Le "film" d'où proviennent ces 5 arrêts sur image retrace dans les grandes lignes l'histoire d'un réchauffement planétaire du début à la fin – une histoire qui a duré plus de 10 000 ans. Les couleurs vont vers le rouge lorsque la température s'élève, et vers le bleu quand elle diminue. C'est pourquoi le globe de départ – la référence – est uniforme. Comme les températures locales ont été reconstituées à partir de 80 points précis du globe, les limites des zones sont approximatives.



-20 000

Le monde est stable depuis 90 000 ans. Le taux de CO₂ dans l'air est faible (188 ppm). Il fait froid et la mer est 120 m plus basse qu'aujourd'hui.



-19 000

Tandis que le Nord s'est légèrement réchauffé, le Sud s'est un peu refroidi. Le CO₂ reste à un bas niveau, et les glaces ne bougent pas.

-2 -1,5 -1 -0,5 0 +0,5 +1 +1,5 +2 >+2

VARIATION MOYENNE DES TEMPÉRATURES

Le film vient de sortir, et il va faire grand bruit. Visible non pas sur grand écran, mais dans la prestigieuse revue scientifique *Nature* sous la forme de multiples graphes, il n'en demeure pas moins un film à grand spectacle, qui retrace pour la première fois les principales étapes du plus profond bouleversement climatique qu'ait traversé la Terre depuis 100 millénaires. Un scénario dont on ne connaissait jusqu'ici que le début et la fin : la grande déglaciation qui a débuté il y a 21 500 ans s'est étalée sur 10 000 ans et s'est soldée par une forte hausse des températures, d'environ 4 °C. La face du monde en fut changée : fonte des colossales calottes glaciaires qui recouvraient une bonne partie de l'hémisphère Nord (jusqu'à la Belgique en Europe), élévation de 120 mètres du niveau marin, couverture végétale

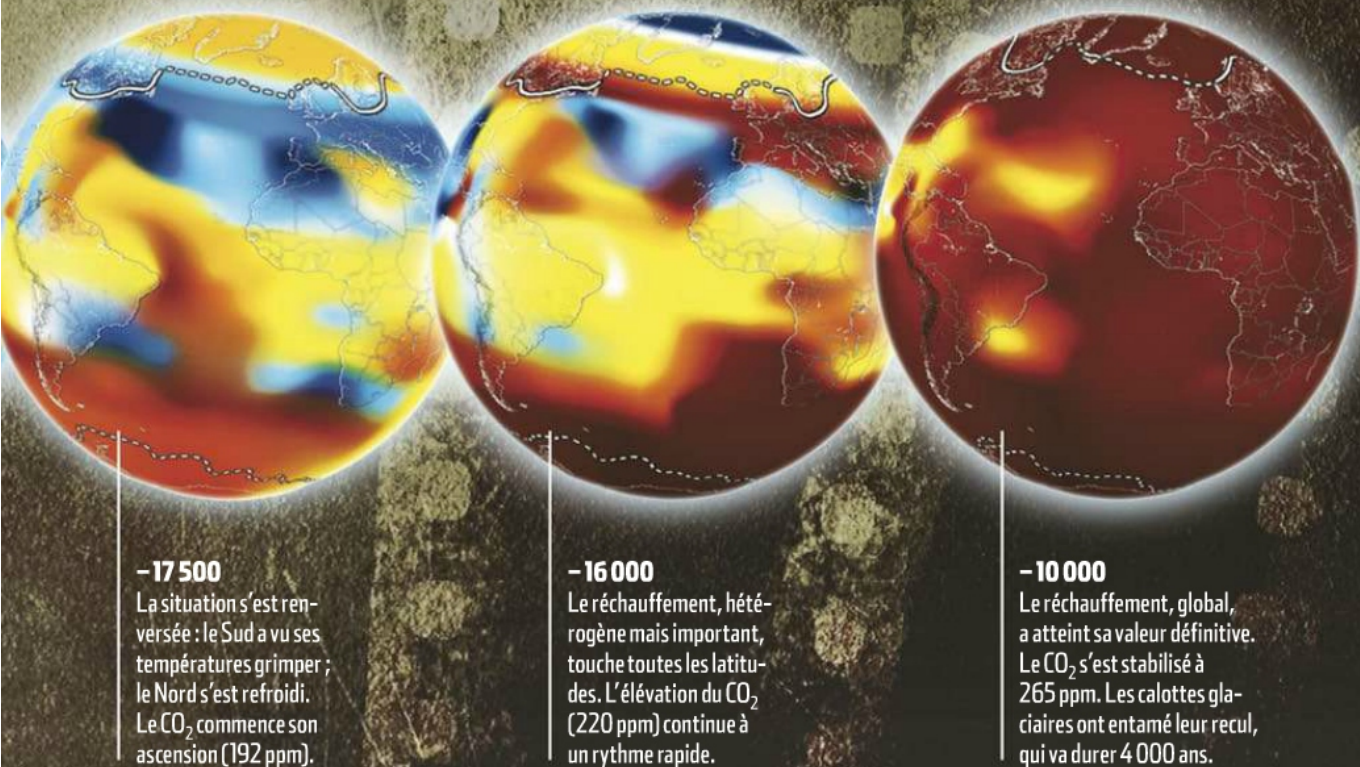
radicalement transformée, cycle de l'eau planétaire intensifié. Le film, produit par une équipe internationale menée par Jeremy Shakun, jeune paléoclimatologue de Harvard, relate avec minutie tous les épisodes de cette histoire mouvementée : le spectateur découvre ainsi comment, au fil des siècles, un petit changement dans l'insolation d'un coin de la planète provoque une importante libération de gaz à l'autre bout, laquelle engendre en réponse un puissant réchauffement de la Terre entière, jusqu'à un nouvel équilibre.

UN RÉCIT LONG DE 10 000 ANS

C'est justement parce que nos émissions de gaz à effet de serre sont en train de rompre cet équilibre vieux de plus de 10 000 ans que ce film devient haletant : sous nos yeux se déploie l'histoire inédite d'un réchauffement planétaire, du

début à la fin. Une histoire qui se déroule en cinq grandes étapes (voir ci-dessus).

Tout commence donc il y a 21 500 ans, alors que la Terre vit une glaciation depuis 90 000 ans. Se déclare alors, pendant 2 500 ans, un réchauffement modeste de la zone la plus septentrionale de l'hémisphère Nord, une "pichenette", pour reprendre le terme d'Edouard Bard, professeur au Collège de France. Pendant ce temps, la température des autres points du globe n'évolue guère – à peine note-t-on un très léger refroidissement à l'autre extrémité du globe, autour du pôle Sud. Mais, à partir de -19 000 ans, la situation est inversée : le Nord commence à se refroidir, tandis que le Sud se réchauffe, et l'extrême Sud tout particulièrement. Ce phénomène dure près de 1 500 ans, avant que les températures du



Nord ne se remettent à grimper, en même temps que la quantité de dioxyde de carbone dans l'atmosphère – le taux de CO₂ était resté stable jusque-là (-17 500 ans). Dès lors, l'ensemble du globe connaît un échauffement long et massif, hormis une oscillation transitoire entre -13 000 et -11 500 ans, qui est venue interrompre cette hausse continue des températures. Celles-ci se stabilisent à un niveau proche de l'actuel il y a environ 10 000 ans. Fin de l'histoire.

Pour produire un tel film, Jeremy Shakun et ses coauteurs n'ont pas lésiné sur les moyens : ils ont mis en commun et synchronisé les résultats de 80 forages glaciaires ou sédimentaires qui, grâce à différents indicateurs (grains de pollen, fossiles d'invertébrés marins, formes moléculaires, compositions isotopiques), leur ont permis

de reconstituer les températures passées en autant de points du globe (voir carte p. 88). *"Compte tenu des critères de qualité et de précision exigés, ces 80 points représentent à peu près l'ensemble des connaissances disponibles, même si une ou deux études m'ont peut-être échappé, estime Jeremy Shakun. Nos calculs montrent qu'avec 90 ou 150 mesures, on n'obtiendrait rien de bien différent."* Edouard Bard, cosignataire de l'article, confirme : *"La succession d'événements qui a été établie devrait désormais assez peu changer, hormis quelques précisions locales."*

Reste à interpréter le film, c'est-à-dire à comprendre l'enchaînement des scènes et le rôle des différents acteurs. Sur la cause du réchauffement initial qui n'a touché que l'hémisphère Nord, peu de doutes : il provient de changements orbitaux qui

JARGON

Depuis 2 millions d'années, la Terre est entrée dans une phase plus froide, marquée par l'alternance de périodes glaciaires longues et de périodes chaudes plus courtes, dites interglaciaires. On appelle **déglaciation** la transition entre ces périodes, marquée par la fonte des grandes calottes de glace sur l'hémisphère Nord, donc par une importante élévation du niveau marin.

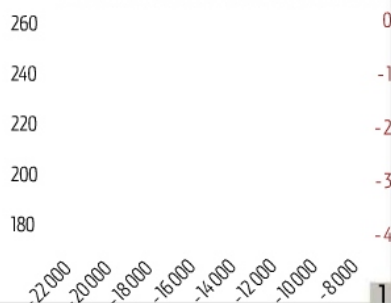
ont rapproché la Terre du Soleil en été, et davantage tourné vers lui l'hémisphère Nord, tandis que le Sud plongeait dans l'ombre. Un bilan qui serait nul si la Terre était symétrique ! Mais les continents étant concentrés dans le Nord, particulièrement aux hautes latitudes, où se sont formées les calottes glaciaires, ce réchauffement septentrional ténu, de l'ordre d'une fraction de degré, a suffi pour provoquer la fonte d'un grand volume de glace, entraînant un afflux d'eau douce dans l'Atlantique.

Et cet afflux explique la bascule entre les hémisphères qui caractérise les 1 500 années suivantes. Car l'Atlantique, couloir océanique reliant les deux pôles, est le siège de la circulation dite "thermohaline", qui transporte loin vers le nord de l'eau chaude issue de l'Atlantique intertropical. Arrivée dans la zone polaire, cette eau →

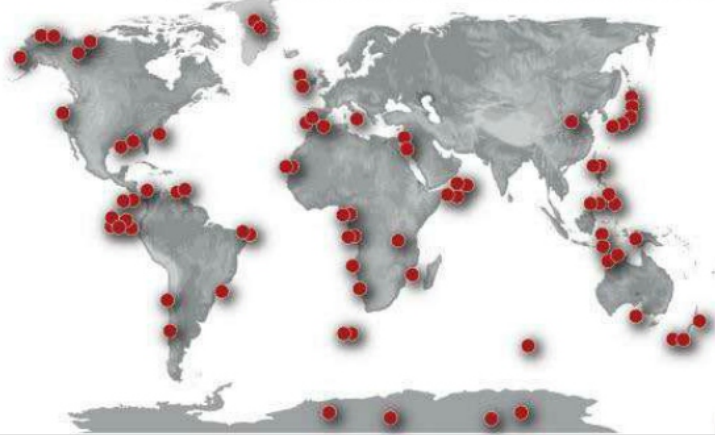
LE "MAKING OF" D'UN PROJET HORS NORME

Une corrélation évidente

TAUX DE CO₂ DANS L'AIR EN PPM
VARIATION DE LA TEMPÉRATURE GLOBALE



Des mesures effectuées dans 80 points du globe



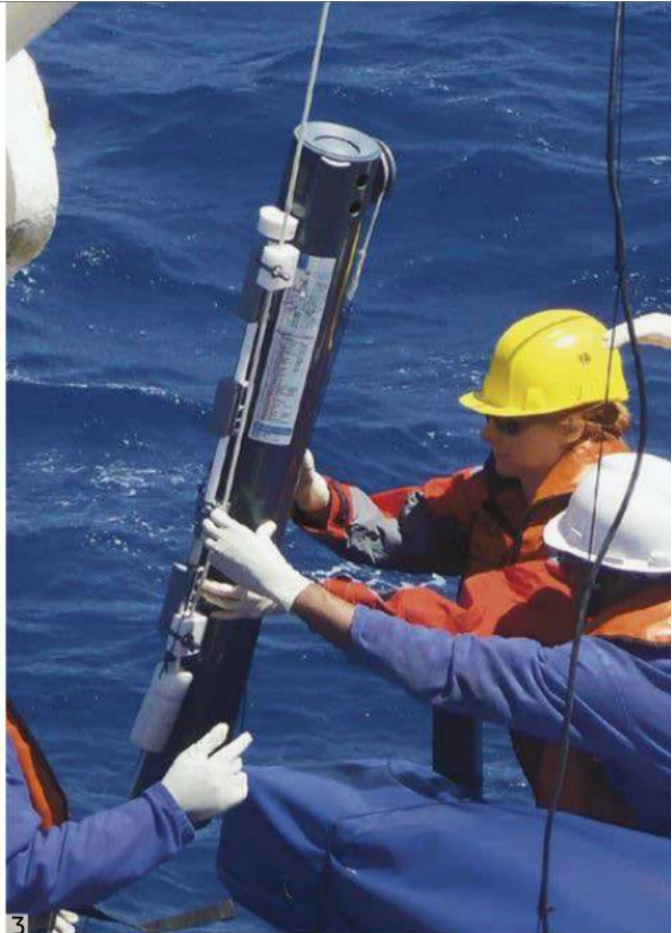
→ perd sa chaleur au profit de l'atmosphère, devient dense et plonge vers les profondeurs avant de s'écouler, le long du fond océanique, en direction du sud. "Cette circulation transfère constamment de la chaleur de l'hémisphère Sud vers l'hémisphère Nord", commente Jeremy Shakun. Or, cette plongée des eaux peut être arrêtée si un afflux d'eau douce, plus légère, vient recouvrir la surface de l'Atlantique Nord. "C'est sans doute ce qui est arrivé il y a 19000 ans sous l'effet de la fonte des glaces provoquée par le réchauffement local, estime le paléoclimatologue. Ce qui a eu pour effet d'accumuler de la chaleur au Sud, tandis que le

Nord se refroidissait." Dès lors, le renversement de l'évolution des températures dans les hémisphères devient logique.

Comment, maintenant, expliquer le réchauffement global, beaucoup plus important que ce que le déplacement de la Terre seul pourrait justifier? Les chercheurs pensent que le réchauffement de l'hémisphère Sud a provoqué un dégazage massif de l'océan Austral, qui s'est mis à libérer de grandes quantités de dioxyde de carbone accumulées dans ses profondeurs. Leur argument? Les carottes de glace disent unanimement qu'il y a 17500 ans, le CO₂ a commencé à devenir plus abondant dans l'air, passant en 6000 ans

A partir de l'analyse de 80 forages (3), répartis sur l'ensemble du globe (2), les chercheurs ont pu retrouver autant de températures locales passées. Ce qui leur a permis de tracer l'évolution de la température moyenne durant la déglaciation (1) – une courbe qui suit avec retard celle de la hausse du CO₂, reconstituée grâce à des mesures dans les glaces.

SOURCE: SHAKUN ET AL., NATURE 484, AVRIL 2012



de 190 à 270 ppm (parties par million) environ. Et deux indices suggèrent que ce CO₂ provient principalement de l'océan Austral. D'abord, plusieurs enregistrements océaniques indiquent des remontées en surface d'eau profonde chargée de CO₂ et de nutriments – comme le prouve le plancton retrouvé dans les sédiments. Ensuite, le CO₂ qui apparaît dans l'atmosphère à ce moment-là est appauvri en ¹³C et en ¹⁴C, ce qui est une sorte de signature de son origine marine.

ET LA PLANÈTE S'EMBRASE...

Ce qui est certain, c'est que le réchauffement qui embrase alors toute la planète est surtout dû à cette hausse. En atteste un modèle climatique global alimenté par les données de l'époque, qui reproduit fidèlement la hausse des températures à condition qu'on prenne en compte l'augmentation de CO₂ observée.



LES CLIMATOSCEPTIQUES DÉMENTIS

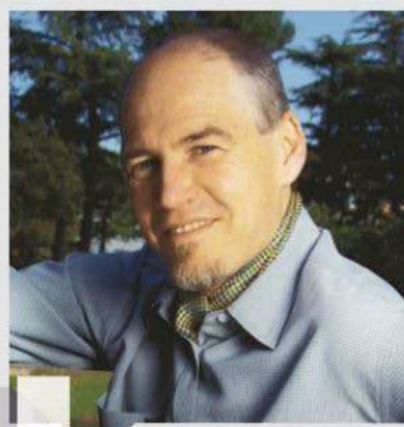
Cette chronologie de la dernière déglaciation sonne le glas d'un des arguments favoris des "climatosceptiques" : la prétendue avance de la température sur le CO₂. Cet argument est fondé sur l'analyse de carottes de glace prélevées en Antarctique, qui indique que la hausse des températures a précédé celle du CO₂ atmosphérique de quelques siècles. Ce qui pourrait laisser penser que le dioxyde de carbone n'est pas la cause, mais la conséquence, et que le climat ne sera pas impacté par la hausse actuelle. Cet argument présente une faille évidente : même si le réchauffement initial n'est pas provoqué par le CO₂, cela n'empêche pas

qu'une fois enclenchée, sa libération réchauffe l'atmosphère. Sur tout, c'est oublier que les carottes donnent la chronologie d'une température locale, non planétaire. Or, comme le démontre cette reconstitution, le reste de la planète est en retard sur l'Antarctique. Au final, sur la courbe des températures globales (voir ci-contre), le réchauffement ne précède pas la hausse du CO₂, mais la suit. Ce dernier n'est donc pas un thermomètre, reflet passif de la température, mais bien un thermostat, agent dont le niveau commande cette température.

Certaines séquences du film demeurent cependant assez floues. Pourquoi le changement orbital assez ténu d'il y a 21 500 ans a-t-il déclenché la déglaciation, alors que des changements plus importants, survenus quelques millénaires plus tôt, semblent être restés sans effets ? Est-ce parce qu'alors il n'y avait pas assez de glace accumulée ? Et qu'est-ce qui a déclenché la libération du dioxyde de carbone enfoui dans l'océan Austral ? Certains évoquent des changements dans les vents de surface, d'autres une modification de l'étendue des glaces, voire des causes liées au plancton... Même avec ces parts d'ombre, ce film, le premier à embrasser toute la complexité de la machinerie climatique planétaire, reste fascinant. *"Ce travail souligne l'importance de l'océan et de sa circulation pour comprendre le climat, lequel est trop souvent réduit à*

ce qui se passe dans l'atmosphère", relève Edouard Bard. Jeremy Shakun estime que ce même scénario s'est répété lors de la vingtaine de glaciations et déglaciations qui se sont succédé depuis la fin de la dernière ère chaude de la Terre, l'ère tertiaire, il y a deux millions d'années : *"La Terre était globalement la même, notamment au niveau de la position des continents et de sa propre position par rapport au Soleil."*

Ce film présage-t-il alors du devenir de notre planète, soumise à un nouvel épisode de réchauffement massif ? En tout cas, une comparaison laisse songeur. En trois siècles, les activités humaines ont déjà relâché dans l'atmosphère 30 % de CO₂ de plus que lors de cette dernière déglaciation, qui s'était étalée sur 10 000 ans. C'est dire combien le film que l'homme met actuellement en scène risque d'être plus violent. ■



EDOUARD BARD

CLIMATOLOGUE, COAUTEUR DE L'ARTICLE SUR LE FILM DU RÉCHAUFFEMENT

Hormis quelques précisions locales, la succession d'événements qui a été établie devrait assez peu changer



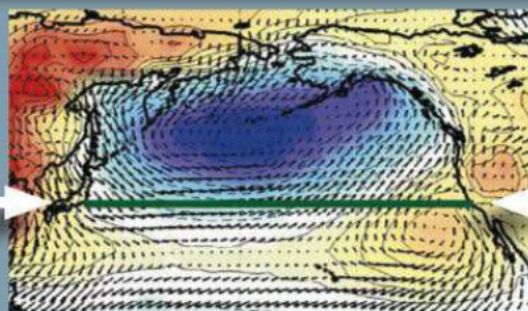
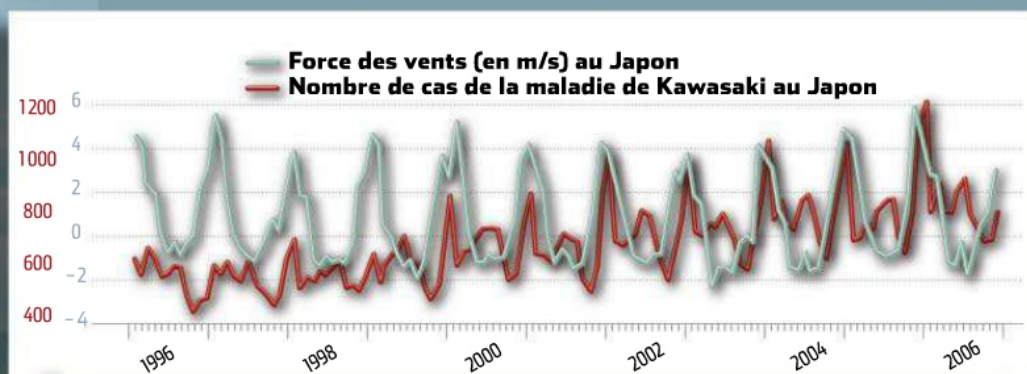
VENTS MAUVAIS

ILS SÈMENT DES MALADIES PAR-DELÀ LES OCÉANS !

Soufflant du Japon, des vents ont transporté un microbe jusqu'aux Etats-Unis, où il sévit désormais. Or, nul ne croyait possible qu'une maladie traverse toute seule les mers. Inquiétant.

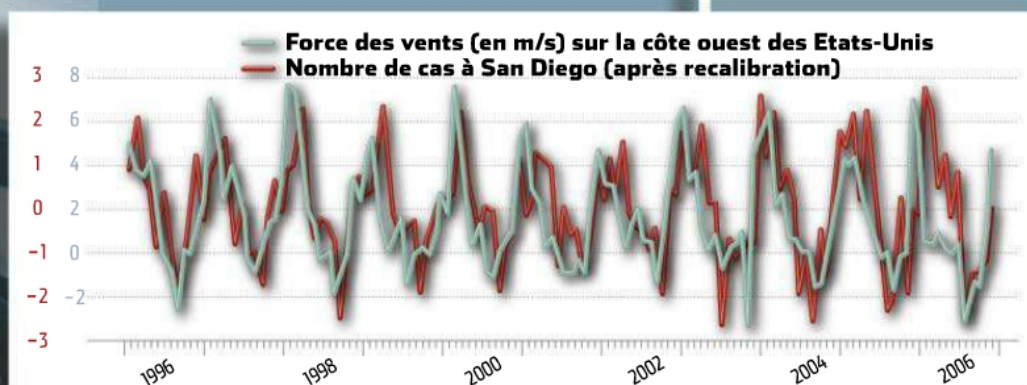
PAR CORALIE HANCOK

Respirez à pleins poumons un air pur venu de la mer... sans savoir que les vents du large sont peut-être porteurs d'agents infectieux directement importés d'un autre continent ! Sans vouloir gâcher le plaisir des amateurs de bords de mer, le spectre



LA PREUVE PAR LE "KAWASAKI"

De part et d'autre du Pacifique, au Japon (en haut) puis en Californie (en bas), une corrélation parfaite apparaît entre la force des vents et l'incidence de la maladie de Kawasaki.



de vents mauvais capables de faire des victimes des deux côtés d'un océan vient d'un seul coup de prendre forme, bousculant le petit monde des microbiologistes et des épidémiologistes. Car, pour la première fois, des chercheurs ont de sérieuses raisons de penser qu'une maladie puisse frapper en n'importe quel point de la planète en se laissant simplement porter par des courants aériens. Une hypothèse inquiétante avancée par Jane Burns, directrice d'un centre de recherche médicale à l'université de Californie,

à San Diego, et Xavier Rodó, chercheur à l'Institut catalan des sciences du climat de Barcelone. De fait, le croisement de leurs données météorologiques et épidémiologiques laisse apparaître une corrélation parfaite entre le sens et la force des vents d'une part, et l'augmentation du nombre de cas de la maladie de Kawasaki d'autre part (voir courbes ci-dessus). Cette étrange affection touche chaque année, entre novembre et mars, des milliers d'enfants au Japon et sur la côte ouest des Etats-Unis (voir

"Jargon"). Entre ces deux pays, rien de moins que l'étendue de l'océan Pacifique, soit plus de 9000 kilomètres franchis grâce aux vents. Du jamais vu !

Car même s'il est admis depuis plusieurs décennies qu'un agent infectieux peut faire des victimes après un voyage au-dessus des eaux, la distance qui sépare l'Asie des côtes américaines paraissait jusqu'ici infranchissable pour une maladie. En effet, pendant un tel périple, l'oxydation, la dessiccation ou l'irradiation par les ultraviolets sont autant de forces destructrices qui →



L'AIR DU JAPON PASSÉ AU CRIBLE

En mars 2011, une campagne inédite visant à prouver le lien entre les vents et la maladie de Kawasaki a été lancée. Un petit avion à hélice, bardé de filtres à air, s'est envolé dans les vents au-dessus de Honshu (Japon), afin d'y collecter des particules en suspension. Envoyés en laboratoire de microbiologie, ces échantillons sont maintenant analysés afin de détecter l'éventuel agent pathogène responsable de l'infection.



→ réduisent drastiquement le nombre et les capacités infectieuses des agents pathogènes. Certes, certains virus peuvent braver ces épreuves... quelque temps. En 1981, Alex Donaldson, alors directeur du laboratoire de Pirbright de l'Institut de la santé animale (Angleterre), avait ainsi démontré que des fermes de l'île de Wight, sur la côte sud de l'Angleterre, avaient été contaminées par le virus de la fièvre aphteuse émis par des porcs malades et porté par les vents depuis la Bretagne; mais ce voyage n'avait alors pas excédé 150 kilomètres.

Plus récemment, des vents – ayant tous la particularité d'être chargés de particules de sable – ont fait l'objet d'observations intéressantes. Des scientifiques taiwanais ont en effet montré que lorsque leur île est soumise aux tempêtes de sable en provenance d'Asie centrale, le virus de la grippe est présent dans l'air dans des quantités 21 à 31 fois plus importantes. Dale Griffin, microbiologiste à

l'US Geological Survey (Floride), a quant à lui étudié les vents chargés de poussières sahariennes au-dessus de l'Atlantique. Dans ses prélèvements d'air effectués au printemps 2003, il a identifié pas moins de 17 espèces de bactéries (dont *Pseudomonas aeruginosa*, qui prolifère dans les poumons des malades de la mucoviscidose) et 28 espèces de champignons.

UNE MYSTÉRIEUSE INFECTION

Pourtant, jamais des données n'avaient encore permis de relier nettement le passage de ces vents et les flambées d'infections. Or, c'est là l'une des grandes singularités des vents mauvais et de la maladie de Kawasaki: année après année, la courbe de mesure des vents et celle des pics épidémiques semblent se confondre. Chaque hiver, lorsque les vents du nord-ouest en provenance d'Asie centrale balayent le Japon, le nombre de malades monte en flèche. Et lorsqu'ils faiblissent, ou même changent de sens, la

maladie disparaît. Mieux, les années où ces vents sont particulièrement forts, en raison des basses pressions concentrées sur le nord du Japon, sont aussi les années où l'on compte le plus de cas. Et ce n'est pas tout. L'arrivée de ces vents, qui traversent l'océan Pacifique, sur le continent américain est également concomitante avec l'augmentation saisonnière du nombre de cas à Hawaï et sur la côte ouest des Etats-Unis.

Une surprenante corrélation, qui serait passée inaperçue sans la mise en commun des travaux de Jane Burns et Xavier Rodó. Quand la pédiatre et le climatologue se rencontrent lors d'un colloque, en 2007, celui-ci vient de mettre au point un logiciel capable d'établir des corrélations entre un grand nombre de variables météorologiques (hygrométrie, pression atmosphérique, températures...) et l'apparition de maladies infectieuses. Intriguée, Jane Burns lui demande alors d'appliquer ses travaux à la maladie de

JARGON

La maladie de Kawasaki touche 12 000 enfants de moins de 5 ans chaque année au Japon, et au moins de 5 000 à 6 000 aux Etats-Unis. En France, où un réseau de surveillance existe depuis 2011, son incidence est estimée à 300-400 cas par an. Les symptômes: fièvre prolongée, conjonctivite, ganglions cervicaux, éruption cutanée, gonflement des extrémités. Non traitée, elle entraîne une malformation cardiovasculaire dans 25 à 30 % des cas.



pour collecter le plus possible de particules en suspension. *“Pour confirmer définitivement le fait que l’agent pathogène de la maladie voyage dans l’atmosphère, il nous faut maintenant l’identifier dans les échantillons d’air que nous avons récoltés”*, explique Xavier Rodó.

DES MILLIONS DE PARTICULES

Il s’agit là d’une tâche bien plus complexe que de retrouver une aiguille dans une botte de foin, puisque des millions de particules flottent dans chaque mètre cube d’air ! Et la moindre particule doit être passée aux cribles des analyses microbiologiques et génétiques, afin d’y déceler un matériel biologique capable de transmettre une infection. Tous les échantillons ont été transmis à l’un des meilleurs laboratoires au monde, où un travail de fourmi a commencé. *“Il faudra encore des mois avant d’avoir les résultats définitifs”*, précise Xavier Rodó. Qui ne doute pas que le nom du coupable sorte finalement de cette fastidieuse phase de tri. Confirmant ainsi l’hypothèse... et bousculant les données sur la résistance des agents biologiques au transport aérien. Car les caractéristiques de ce super-agent infectieux pourraient transformer notre vision →

Kawasaki, qui fait l’objet de recherches infructueuses depuis des années. Et pour la première fois, ce croisement inattendu de données donne une piste pour expliquer la propagation de cette grave infection d’une région du globe à l’autre.

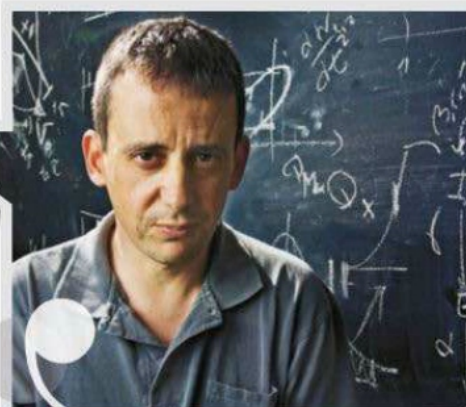
Il faut dire que la maladie de Kawasaki est un mystère à bien des égards. Décrite depuis les années 1960, elle provoque de fortes fièvres et des éruptions cutanées, se doublant parfois de lourdes complications cardiaques. Environ 1 % des jeunes patients décèdent. Or, les rouages de ce mal échappent toujours aux chercheurs. L’agent infectieux demeure inconnu, de même que le vecteur de la maladie. S’agit-il d’un virus, d’une bactérie, d’un champignon ? Et comment arrive-t-il jusqu’aux malades : par les aliments, un contact direct entre personnes atteintes ou avec un animal, la piqure d’un insecte ? Tous les scénarios proposés ont été écartés les uns après les autres, faute d’indices concordants.

Et voilà que les vents relancent les recherches. Quels terribles secrets dissimulent-ils ? Pour en avoir le cœur net, pas d’autre solution que de plonger dans ces gigantesques masses d’air. En mars 2011 – avant la catastrophe nucléaire de Fukushima –, les deux chercheurs décident donc d’organiser une campagne inédite au Japon. Sur un tarmac des environs de Tokyo, un petit avion à hélice bardé de filtres à air s’élance dans les vents au-dessus de la principale île de l’archipel, Honshu,

XAVIER RODÓ

CHERCHEUR À L’INSTITUT CATALAN DES SCIENCES DU CLIMAT DE BARCELONE

Nous devons désormais identifier l’agent pathogène de la maladie dans nos échantillons d’air



→ de la fragilité des microbes dans l'air et, peut-être, modifier les mesures de précaution actuellement prises pour s'en prémunir.

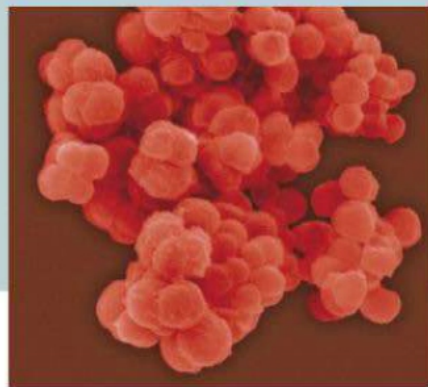
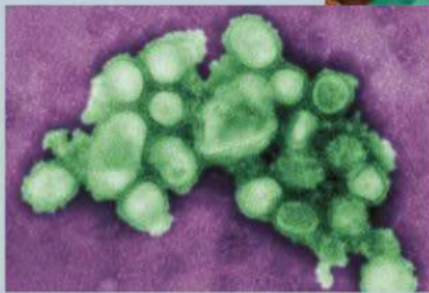
PLUS RÉSISTANT AUX UV

En effet, les poussières ne sont pas légion dans les vents qui traversent l'océan Pacifique à cet endroit. Et selon Dale Griffin, le spécialiste américain qui a débusqué les agents pathogènes au-dessus de l'Atlantique en 2003, cela constitue une particularité très intéressante : *“Contrairement aux agents véhiculés par les tempêtes de sable sur des distances similaires, celui-ci pourrait ne pas être protégé par les particules de poussière, et serait donc plus tolérant à l'exposition aux ultraviolets. Une caractéristique qui pourrait potentiellement être utilisée pour l'identifier.”*

Serait-ce l'épilogue d'une longue enquête pour les médecins qui cherchent à prévenir les cas de maladie de Kawasaki ? Plus un début, en réalité... *“Même si nous identifions l'agent responsable, d'autres études seront nécessaires pour comprendre la diffusion de la maladie, afin d'identifier l'origine exacte de ces vents et localiser un éventuel foyer épidémique”,*

DES MICROBES VOYAGEURS

Des virus (à g. celui de la grippe porcine) et des bactéries (à dr. *P. aeruginosa* et *Kocuria rosea*, responsables de graves infections) ont été détectés dans des vents chargés de sable, en Asie et au-dessus de l'Atlantique.



explique Jane Burns. Un propos renforcé par la pédiatre Isabelle Koné-Paut (hôpital Bicêtre, Paris), responsable du réseau national de surveillance de cette maladie qui touche des centaines d'enfants chaque année en France : *“La maladie est multifactorielle. Même si une corrélation entre vents et incidence existe, il faudra expliquer pourquoi seuls les enfants – et même, seuls certains enfants – sont touchés ; certains gènes de susceptibilité semblent jouer. Il faudra voir aussi si l'on observe la*

même corrélation ailleurs dans le monde, en Europe, en Afrique ou en Amérique du Sud, où la maladie est très mal connue.”

Malfaisants. Invisibles. Annonceurs de fièvres et d'affections... Les vents ont souvent servi à justifier la transmission de maladies d'une région à l'autre. Malaria ne signifie-t-il pas “mauvais air” en italien ? Jusqu'au XX^e siècle, la crainte d'un air vicié responsable d'épidémies s'est longtemps nourrie de l'ignorance du monde microbien et des lois biologiques qui président aux infections. Avant que la profusion de découvertes n'écarte cette vision des choses, démasquant bactéries, virus, parasites, et élucidant leurs modes de transmission à l'homme. Mais la science a ceci de fascinant que les connaissances forment parfois des boucles. Et c'est par le truchement de l'une d'elles que le souffle des vents mauvais semble aujourd'hui refaire surface.

QUAND SOUFFLE L'HARMATTAN...

En Afrique soudano-sahélienne, les épidémies de méningite à méningocoques coïncident avec l'arrivée d'un vent chaud, sec et chargé de poussières venant du nord, l'harmattan. La maladie touche chaque année entre 25 000 et 200 000 personnes. C'est en 2005 que des chercheurs français de l'Institut de recherche pour le développement ont mis en

évidence cette coïncidence. *“La bactérie ne survit que quelques heures à l'air libre, précise Jean-François Guégan. Il semble qu'elle soit présente dans la cavité buccale et que, lorsque les vents se lèvent, les poussières qu'ils transportent fragilisent, par micro-abrasion, les muqueuses de l'appareil respiratoire, favorisant le passage de la bactérie dans le sang.”* Ici, c'est donc l'action mécanique du vent qui favorise les épidémies.

DES VOYAGES À PRIX IMBATTABLE !

Science&Vie c'est aussi des VOYAGES à prix réduits.
Profitez vite, les places sont LIMITÉES.

PRAGUE – 3 JOURS VOL ET HOTEL 4* + 1 JOURNÉE D'EXCURSIONS

-15%

PLACES LIMITÉES



Résidez au cœur de la capitale tchèque grâce à cet hôtel 4* idéalement situé et découvrez cette ville fascinante en compagnie d'un guide passionné.

• **Avantage lecteurs** : Un déjeuner offert lors de la journée d'excursions.

À partir de **420€ TTC** par personne au lieu de ~~494€~~

CHYPRE – 8 JOURS VOL ET HOTEL 4*

-30%

PLACES LIMITÉES



Proche des principaux sites archéologiques de Paphos (les tombes des rois, le phare et l'Amphithéâtre Odéon), savourez une semaine de détente en pension complète dans cet hôtel 4* à taille humaine et à l'architecture typique.

• **Avantage lecteurs** : Un déjeuner Mezze offert dans une taverne traditionnelle.

À partir de **781€ TTC** par personne au lieu de ~~1115€~~

BODRUM – 8 JOURS VOL ET HOTEL 5*

-50%

PLACES LIMITÉES



Imaginez-vous au bord de la plage dorée de cette crique secrète. En formule Tout Inclus, vous ne résisterez pas au plaisir des découvertes culturelles ou des sports nautiques.

• **Avantage lecteurs** : une journée d'excursions offerte.

À partir de **508€ TTC** par personne au lieu de ~~1016€~~

COMMENT PROFITER DE NOS VENTES FLASH ?

Tarif Exclusif
Science&Vie

Consultez le détail de nos offres et réservez en ligne sur

www.scienceetvievoyages.com/venteflash

ou réservez par téléphone au **08 92 16 00 55** [0,34€/min] du lundi au samedi de 09h à 19h
en précisant le code avantage : **SV**

Pour organiser et superviser ces séjours notre magazine s'est appuyé sur MAVIE, société à responsabilité limitée au capital de 50000€. Titulaire de l'immatriculation d'agent de voyage n° IM075100105 RCS PARIS n°499 670 669 RCP n° HA RCP0083489 souscrite auprès de HISCOX CARENE Garantie financière : BNP, 20 boulevard Vaugirard 75015 Paris.



J'AI TROUVÉ L'ARBRE GÉNÉALOGIQUE DES GALAXIES

Comment classer les milliards de galaxies qui peuplent l'Univers ? Jusqu'ici, les astronomes butaient sur les apparences... Un astrophysicien français vient enfin de trouver la clé : en s'inspirant des biologistes, il livre aujourd'hui un arbre des galaxies qui les classe selon leur destinée. Et ça change tout.

PAR MATHILDE FONTEZ



DIDIER FRAIX-BURNET
ASTROPHYSICIEN (CNRS/IPAG)

LES FAILLES DE L'ANCIENNE CLASSIFICATION

En 1936, comparant 600 clichés de galaxies, l'astronome américain Edwin Hubble avait tenté d'organiser ce qu'il appelait "le royaume des nébuleuses". Il avait distingué trois groupes : les galaxies elliptiques, qui prennent la forme d'un ellipsoïde aplati ; les galaxies spirales, qui déploient des bras en étoile autour de leur centre ; et enfin... toutes les autres, nommées galaxies irrégulières. A ces catégories s'était rapidement ajoutée celle des galaxies lenticulaires, dotées d'un bulbe (la partie centrale, entourant le noyau) très brillant et d'un disque ténu. Mais l'histoire des galaxies, dévoilée par le tout récent arbre généalogique de Didier Fraix-Burnet, montre que cette classification est dépassée. Car elle réunit dans un même groupe des galaxies qui, bien que proches en apparence, ont connu des destins totalement différents...

D'abord il y a l'optimisme et l'euphorie des découvertes quotidiennes. Puis le doute, diabolique, qui torture sans répit et pousse à l'abandon. Enfin, la progression reprend. Laborieusement, les petites satisfactions s'accumulent, installent les certitudes. Didier Fraix-Burnet sait raconter les affres de la cogitation solitaire. En 2001, cet astrophysicien de l'Institut de planétologie et d'astrophysique de Grenoble a délaissé les noyaux actifs de galaxies qu'il étudiait depuis quinze ans pour se consacrer, seul, à un projet colossal, digne de l'Encyclopédie des Lumières : la recherche d'une classification systématique pour les milliards de galaxies peuplant l'Univers. Un effort conceptuel jamais encore mené à bien...

Comme un soldat part à la guerre, le chercheur s'est arraché aux merveilles du ciel pour plonger dans les listings poussiéreux des données accumulées par ses collègues, avec l'intention d'en trouver la logique profonde. La phase d'euphorie

a duré deux ans, le doute trois longues années et, depuis quatre ans, il progressait lentement... jusqu'à ce qu'il y a quelques semaines vienne enfin la récompense ! La publication est tout juste rédigée. Elle n'a d'ailleurs pas cessé d'évoluer au cours de l'écriture de cet article, tant Didier Fraix-Burnet puise l'inspiration partout, même dans les questions d'une journaliste. Mais l'astronome a finalement atteint son but. Pour la première fois, il a vu se déployer devant ses yeux toute l'histoire des galaxies. Une histoire qui se raconte sous la forme d'un arbre. L'arbre du destin galactique.

Pour comprendre, il faut revenir au premier "Eurêka !" Didier Fraix-Burnet s'en souvient précisément : c'était le 16 mai 2001, et il lisait un article de presse décrivant la méthode de classification moderne de la biologie, la cladistique. Exit la classification selon "l'air de famille" que présenteraient entre eux les êtres vivants : cette méthode, issue de la théorie de l'évolution de Darwin, permet aux

JARGON

La cladistique, parfois appelée phylogénie, qui découle de la théorie de l'évolution de Darwin, permet de classer les espèces vivantes en fonction de leurs relations de parenté. Elle a été inventée dans les années 1950, mais il a fallu attendre les années 1990 et l'arrivée des calculateurs informatiques pour qu'elle soit appliquée systématiquement par les biologistes.

biologistes de dessiner des arbres dont chaque branche représente un groupe comprenant un ancêtre et tous ses descendants et, ainsi, de retrouver les liens de parenté entre tous les êtres vivants. De quoi chambouler toute notre vision du vivant, en rendant par exemple obsoletes les classes des poissons ou des reptiles, éloignant le crocodile du lézard pour le rapprocher... des oiseaux. "Je me suis dit : c'est ça qu'il nous faut !", se rappelle le chercheur.

Car Didier Fraix-Burnet s'était déjà irrité du manque de classification cohérente en astronomie. "Pour ranger les milliards de galaxies qui peuplent l'Univers, nous ne disposons que des quatre catégories définies par Edwin Hubble il y a plus de 80 ans", s'étonne-t-il. Elliptique, spirale, lenticulaire, irrégulière : l'astronome américain a tracé les contours de quatre "boîtes" avec des critères uniquement basés sur la forme apparente des galaxies (voir ci-dessus). Or, aujourd'hui, grâce aux bataillons de télescopes qui





GALAXIE LENTICULAIRE

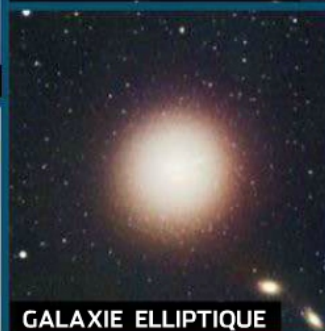
scrutent le ciel dans ses moindres détails, on dispose de beaucoup plus de données : la composition en gaz, l'abondance de certains éléments chimiques, la masse du trou noir central, le taux de formation d'étoiles... Chaque nuit, dans les observatoires astronomiques, s'accumulent des flots de mesures pour des dizaines de galaxies.

SUR LE MODÈLE DE DARWIN

"Il y a plusieurs millions de galaxies connues, et plus d'un million pour lesquelles on dispose de beaucoup d'informations. A cela, il faut ajouter les simulations mises en œuvre par les théoriciens, qui produisent de gigantesques catalogues de galaxies virtuelles. On doit tenir compte de ces données pour donner une description des galaxies plus objective que la forme vue sur l'image. Il faut coller à la physique", argumente Didier Fraix-Burnet. Car la classification classique réunit des galaxies aux histoires totalement différentes : par exemple, une forme elliptique peut résulter de



GALAXIE IRRÉGULIÈRE



GALAXIE ELLIPTIQUE



GALAXIE SPIRALE

la fusion de deux galaxies spirales, comme de l'effondrement d'un simple nuage de gaz.

Bien sûr, depuis Edwin Hubble, il y a eu d'autres tentatives. Des méthodes statistiques permettent d'établir des groupes homogènes de galaxies à partir d'un grand nombre de caractéristiques. Mais les astronomes peinent à donner un sens physique à ces corrélations globales... *"Surtout, aucune ne tient compte de l'évolution, insiste le chercheur. On persiste à considérer chaque galaxie comme un objet indépendant, mais elles sont liées les unes aux autres par leur histoire, et possèdent des caractères qui se transmettent. Par exemple, tel type de galaxie peut se transformer en tel autre, telle elliptique peut être un instantané de ce à quoi ressemblait l'ancêtre de telle*

spirale..." Or, justement, rendre compte des liens évolutifs, c'est tout l'objet de la cladistique.

En biologie, la méthode est simple. A partir d'une espèce et d'un jeu de paramètres (forme de la mâchoire, nombre de vertèbres...), un logiciel retrouve les liens de parenté : il classe les êtres vivants en supposant que les plus proches sont ceux

LES CRITÈRES BASÉS SUR L'APPARENCE DES GALAXIES NE SUFFISAIENT PLUS

qui partagent le plus de caractéristiques. Chaque innovation évolutive, comme l'apparition des pouces opposables, permet de former un groupe qui comprend un ancêtre (le premier à avoir des pouces opposables) et tous ses descendants. →

Ainsi se dessine l'arbre généalogique des galaxies

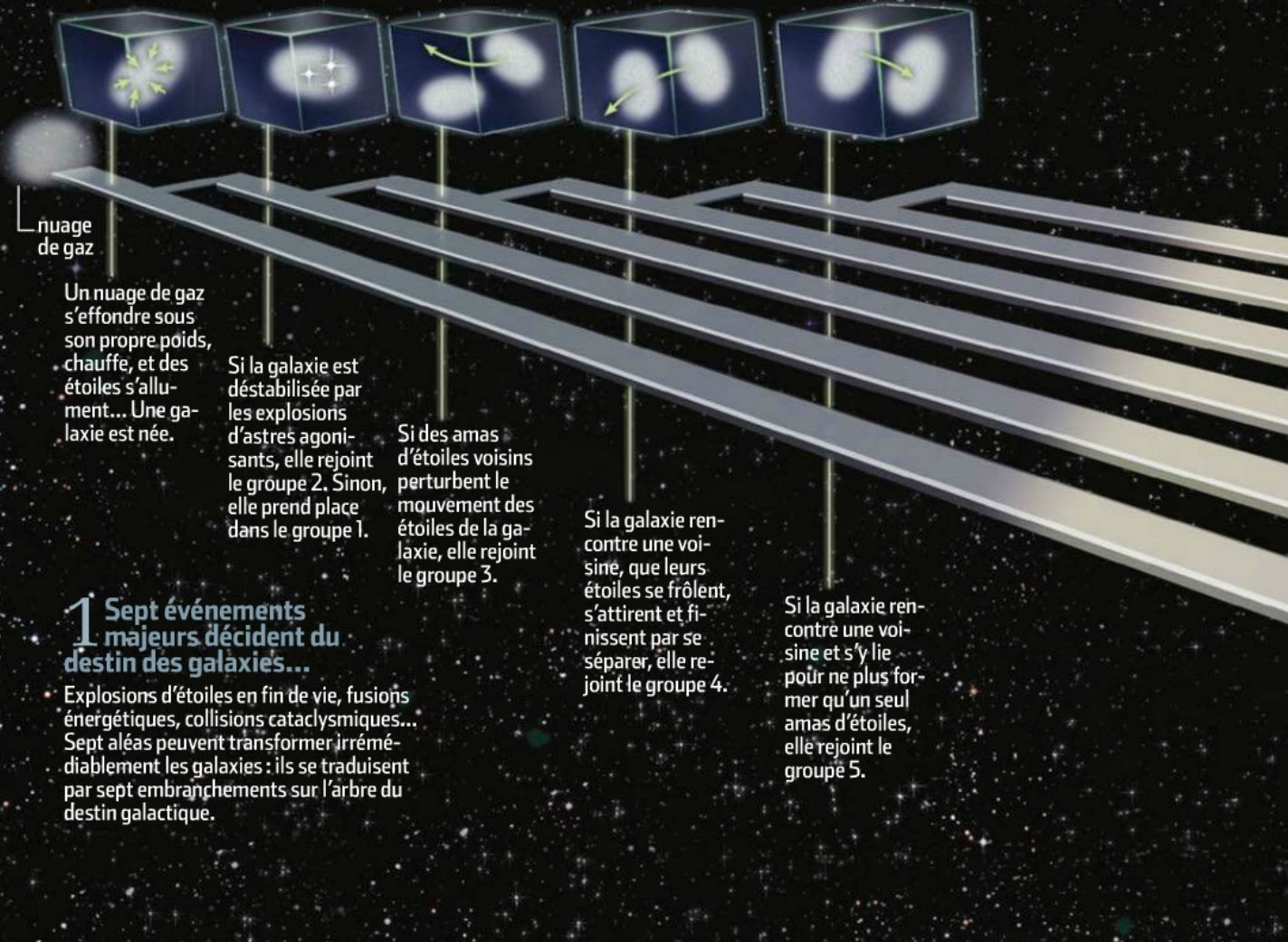
L'EFFONDREMENT

LA MUTATION

L'INTERACTION

LA COLLISION

LA FUSION



→ Ce calcul donne des arbres dont chacun représente un chemin évolutif possible pour relier toutes les espèces. A partir de là, "on applique le principe de parcimonie", détaille Didier Fraix-Burnet. Parmi les

d'échantillons peuplés de spirales rougeâtres, d'elliptiques éthérées et de nébuleuses informes; et jonglant avec des dizaines de paramètres, il a fait tourner le logiciel... jusqu'à ce qu'émergent les liens invisibles

dévoilé les aléas du destin des galaxies, du nuage de gaz au brillant disque d'étoiles.

A partir de 424 galaxies piochées dans la littérature, le chercheur a vu se former huit groupes de galaxies apparemment disparates mais en réalité toutes reliées par une même histoire. Parmi les 23 paramètres qui décrivaient ces galaxies au départ (composition en oxygène, brillance de surface...), il en a isolé six qui prédominent dans leur évolution. Dès lors, remontant les branches de l'arbre jusqu'à son origine, il a pu raconter l'histoire de ces huit groupes, décrire comment

À PEINE ESQUISSE, L'ARBRE GALACTIQUE REND DÉJÀ CADUCS LES 4 GROUPES DE HUBBLE

dizaines d'arbres dessinés par le logiciel, on n'en garde qu'un : le plus simple."

L'astronome a donc appliqué cette méthode aux galaxies. Considérant une multitude

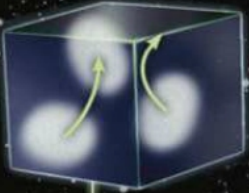
rapprochant des galaxies à première vue distinctes et que se dessine, enfin, l'arbre qui raconte leur histoire.

Tel Darwin, qui à force de vouloir ranger les êtres vivants dans des catégories a fini par comprendre qu'ils étaient liés les uns aux autres et a vu se déployer toute l'histoire de la vie, Didier Fraix-Burnet a

2... lesquelles se répartissent alors dans huit "familles", définies par six paramètres

Selon leur histoire, les galaxies trouvent leur place dans l'un des huit groupes, tous décrits par six paramètres. Ainsi, les galaxies ayant fusionné sont brillantes et riches en atomes lourds, tandis que celles qui ont évité les collisions sont dotées d'un gros bulbe et d'étoiles chaotiques.

LES PERTURBATIONS RÉPÉTÉES

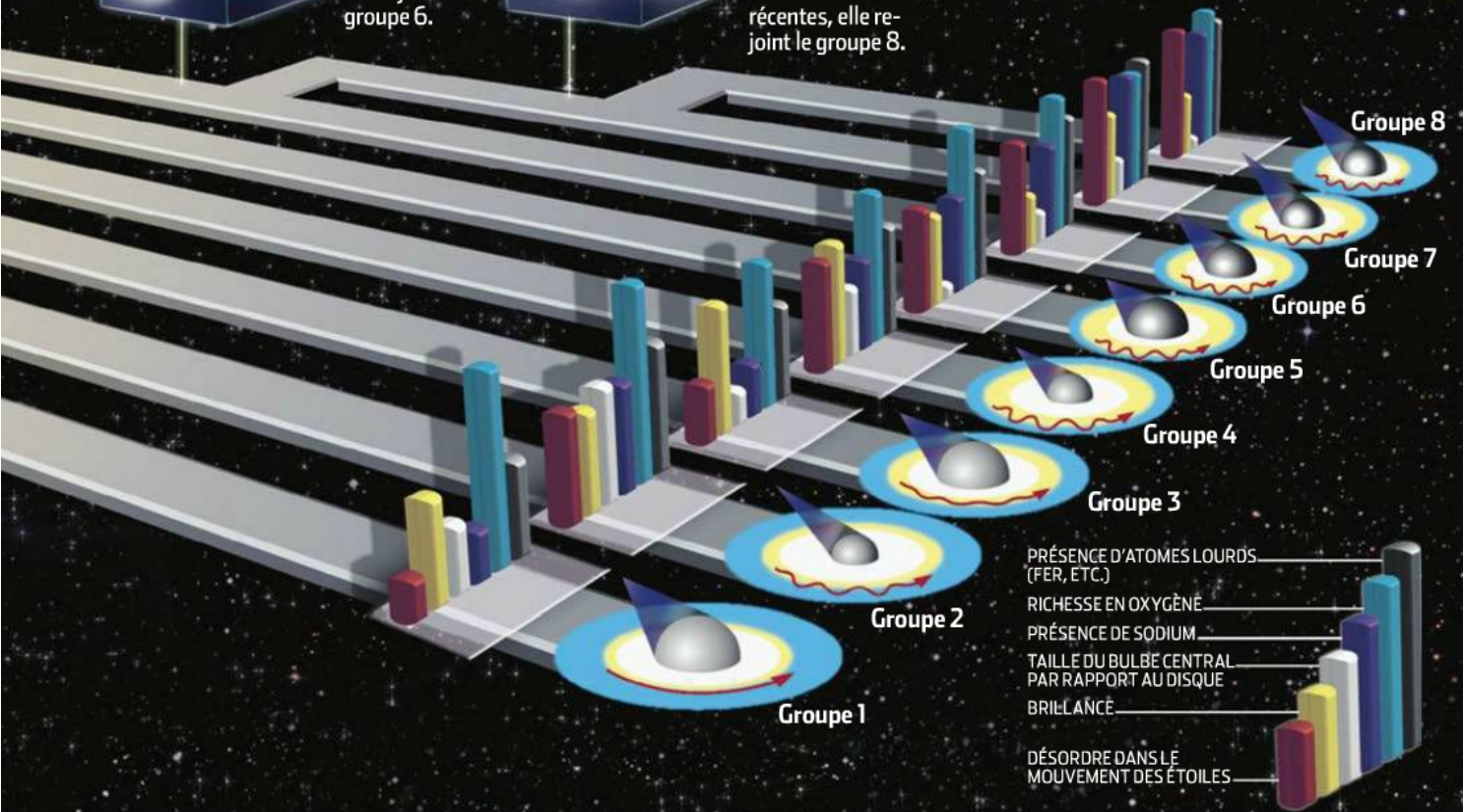


Si la galaxie subit de multiples fusions et interactions avec les amas voisins, elle rejoint le groupe 6.

LES FUSIONS GAZEUSES



Si la galaxie a échangé du gaz lors de lointaines fusions, elle rejoint le groupe 7. Si ces fusions sont récentes, elle rejoint le groupe 8.



certaines galaxies sont nées paisiblement de l'effondrement d'un nuage de gaz, tandis que d'autres ont eu une histoire violente peuplée d'explosions stellaires, de collisions et de fusions (voir infographie)...

UNE DISCIPLINE EST NÉE

"La classification tient la route, se félicite-t-il. Certains groupes ont les mêmes caractéristiques que ceux que j'avais trouvés avec d'autres échantillons de galaxies. Cela montre qu'ils ont une réalité." Ce premier arbre, bien sûr, est encore imparfait. Les mécanismes qui, à chaque étape, lient les groupes

entre eux doivent encore être affinés. Surtout, il va s'étoffer: l'expérience devra être reproduite avec de nouveaux échantillons afin de rendre compte de toute la diversité de l'Univers. Mais le chercheur espère que ce premier essai fructueux ralliera d'autres astronomes à sa cause. Et cela semble en bonne voie. Ainsi, Samuel Boissier, spécialiste de l'évolution des galaxies à l'observatoire de Marseille, à qui nous avons détaillé ces résultats, se montre déjà intéressé: "Il faut encore que cela fasse ses preuves, mais l'intérêt paraît évident. La découverte de paramètres qui, parmi la profusion

de données, prédominent dans l'évolution des galaxies pourrait orienter le travail des observateurs, notamment vis-à-vis des galaxies lointaines, pour lesquelles il est difficile d'obtenir beaucoup de détails."

En biologie, la cladistique a chamboulé toute notre vision du vivant en dévoilant ses véritables ramifications. L'"astro-cladistique" est promise au même destin: à peine née, elle rend déjà caduques les spirales, elliptiques, irrégulières, lenticulaires. Son fondateur, lui, en a terminé avec le doute. Persuadé que le destin de toutes les galaxies est entre ses mains. ■

EN SAVOIR PLUS

Le site de Didier Fraix-Burnet : <http://astrocladistics.org/>

PRION

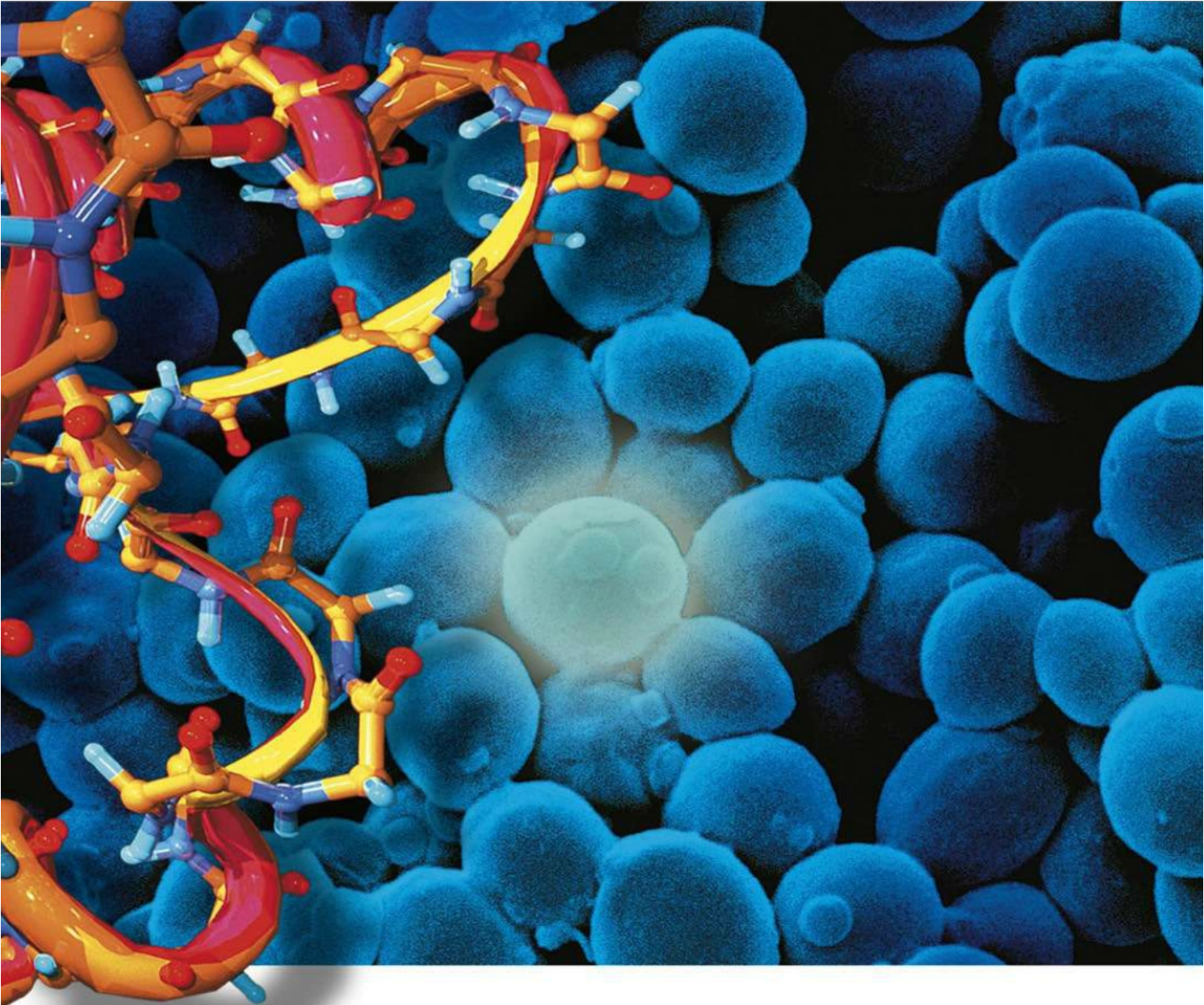
POUR LE PIRE... ET LE MEILLEUR

Découvert à l'occasion de la crise de la vache folle, le prion suscite depuis lors de légitimes angoisses. Mais voici qu'une biologiste révèle que cette protéine s'avère aussi un salvateur catalyseur d'évolution ! Histoire d'une réhabilitation.

PAR ELSA ABDOUN

D'accord, on les a sans doute jugés un peu vite. Il faut dire que les prions, découverts lors de la crise de la vache folle, ont une longue liste de méfaits à leur actif... Creutzfeldt-Jakob, tremblante du mouton et, probablement, plusieurs maladies neurodégénératives comme Alzheimer et Parkinson (voir *S&V* n° 1130, p. 98) : ces protéines infectieuses sont des multirécidivistes ! Mais

même les pires truands sont capables de bonnes actions. C'est en tout cas ce que défend Susan Lindquist, biologiste au Massachusetts Institute of Technology, qui plaide depuis dix ans pour la reconnaissance de l'utilité biologique de ces molécules honnies. Or, elle vient d'apporter un argument décisif en faveur de leur réhabilitation : le signe que, dans le monde silencieux des organismes unicellulaires, les prions peuvent faire apparaître des mutants aux



capacités extraordinaires... si extraordinaires qu'ils peuvent, dans les moments difficiles, sauver leur espèce de la disparition ! Un comble pour une famille de molécules dont le nom suffit à faire ressurgir les images de charniers de bovins.

Connus depuis le début des années 1980, ces prions au comportement parfois déroutant se retrouvèrent, à la surprise des biologistes, au cœur de la crise de la vache folle : en effet, cette molécule avait parfois la fâcheuse tendance à se présenter sous une forme anormale. Un repliement défectueux qui, lorsqu'il survient chez un de ces prions,

se transmet par contact à tous ses congénères, faisant basculer, dans un mouvement de réaction en chaîne, tous les prions dans ladite configuration anormale. Résultat : dans la cellule où cette malformation en chaîne s'est produite, la protéine n'assure plus sa fonction physiologique, occasionnant des dégâts importants. Différentes protéines ont depuis révélé ce caractère instable et dévastateur.

Ces prions susceptibles de prendre une forme anormale ressemblent, pour de nombreux chercheurs, à un accident de l'évolution, un *bug* dans l'organisation moléculaire du vivant.

▲ Lorsqu'un prion prend une forme anormale, il entraîne généralement la mort de la cellule. Surprise : chez des levures (en bleu), cette malformation peut engendrer parfois des mutations... "miraculeuses".

Leur mauvais repliement serait ainsi un événement assez rare pour avoir échappé à la sélection naturelle, mais suffisamment destructeur pour terroriser des espèces aussi variées que l'homme, la levure ou la vache. Sauf qu'un pilier essentiel de cette vision est en train de s'écrouler. Susan Lindquist vient de démontrer que ces transformations de prions en agents pathogènes dévastateurs sont en fait beaucoup plus courantes qu'on ne le pensait. La chercheuse a en effet découvert des prions mal conformés dans des dizaines de souches de levures prélevées au hasard →



JOANNA MASEK

BIOLOGISTE, UNIVERSITÉ
D'ARIZONA, ETATS-UNIS

Les prions offrent une chance de survie aux populations dans des environnements difficiles

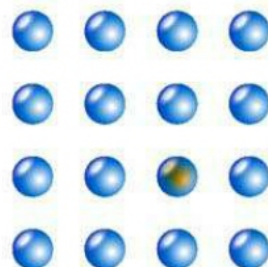
→ dans la nature! Un phénomène trop fréquent pour n'être qu'un accident de l'évolution. Ce qui suggère qu'il doit, au moins chez la levure, avoir une utilité lui permettant d'être conservé par la sélection naturelle. Mais laquelle? Pour Susan Lindquist, la solution tient en deux mots: catalyseur d'évolution. Les prions seraient une splendide ruse inventée par la nature pour permettre aux espèces de s'adapter rapidement à un nouvel environnement sans intervention génétique directe; le meilleur moyen pour des lignées de cellules de développer rapidement des caractères totalement nouveaux. Les prions ne seraient donc pas seulement des agents destructeurs...

Le mécanisme imaginé par la chercheuse suit une logique génétique tortueuse mais fascinante (voir ci-dessus). Ainsi, Susan Lindquist a montré que, dans les

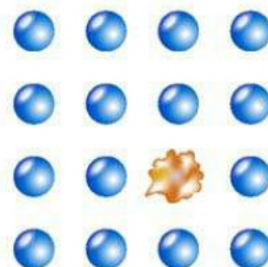
JARGON

Les **prions** constituent un type de protéine particulier, pouvant être à l'origine de maladies infectieuses. Découverts lors de la crise de la vache folle, que l'un d'entre eux a causée, les prions possèdent deux états: l'état "normal", dans lequel ils assurent une fonction utile dans les cellules, et celui, "anormal", qui peut d'ordinaire engendrer des pathologies.

Comment le prion dope l'évolution



1 Dans une population de levures, l'une d'entre elles, par hasard, voit un de ses prions devenir anormal.



2 Cela dérègle la biologie de la levure, qui développe de nouveaux caractères, sans modification de son génome.

levures, la majorité des prions interviennent dans le processus d'expression génétique, c'est-à-dire dans la transformation des gènes en ARN, puis en protéines. Quand, dans une levure, les prions se replient sous une forme anormale, ce rôle essentiel n'est alors plus convenablement assuré, et toute la machine se dérègle: des centaines de gènes, impliqués dans le métabolisme, la prolifération, les mouvements cellulaires... sont alors mal interprétés et une levure mutante, radicalement différente, apparaît.

UN TOUR DE PASSE-PASSE

Bien sûr, la plupart des levures affectées par ce mécanisme développent des tares et ne sont pas viables. Mais dans de rares cas, ce bouleversement de la physiologie cellulaire permet au contraire l'apparition de caractères très avantageux qui n'auraient pas pu être développés autrement. Prenez par exemple la capacité à digérer l'éthanol ou à développer un flagelle pour se déplacer: ces facultés nécessitent l'action simultanée de nombreuses protéines. Lesquelles doivent donc toutes

apparaître en même temps, dans un même individu, et non une par une au fil des générations comme le voudraient les mécanismes évolutifs "traditionnels" de mutation de l'ADN. Comme le souligne Daniel Jarosz, chercheur dans le laboratoire de Susan Lindquist, *"la formation de tels caractères complexes restait un véritable mystère dans le contexte d'une évolution darwinienne graduelle"*. Mais les perturbations tous azimuts causées par la malformation du prion autorisent un tel "miracle". Et le formidable avantage évolutif que confère le caractère gagné peut même compenser des mutations délétères apparues en même temps. D'autant que les prions ont tendance à adopter plus fréquemment une conformation anormale dans les environnements changeants, où l'apparition de nouveaux caractères s'avère justement décisive. *"Ce mécanisme offre une chance de survie dans des environnements difficiles"*, confirme Joanna Masek, spécialiste des mécanismes évolutifs à l'université d'Arizona. Reste à pouvoir transmettre l'avantage acquis aux générations suivantes...

d'une population de levures



3 La levure se multiplie aux dépens des autres si ce caractère est avantageux. Ce trait s'inscrit ensuite dans l'ADN.



4 Plus tard, dans une levure, le prion redevient normal. Mais le caractère inscrit dans l'ADN, lui, perdure.



5 La levure, libérée des inconvénients liés au prion anormal, se multiplie. Une nouvelle population s'installe.

Pour cela, quelques tours de passe-passe sont encore nécessaires. Il faut d'abord faire jouer la sélection naturelle: mieux adaptée que ses congénères à son environnement, la levure mutée se multiplie à leurs dépens, transmettant le prion anormal à ses descendants, et formant ainsi une nouvelle population de mutants. Dans un second temps, bien plus long, les mécanismes d'évolution traditionnels prennent le relais et le caractère avantageux va s'inscrire dans le génome. Sur des milliers de générations, de nombreuses mutations aléatoires apparaissent dans des gènes. Certaines d'entre elles vont permettre de produire, indépendamment du prion, de nouvelles protéines porteuses du caractère avantageux. Qui s'en trouvera donc naturellement renforcé. Grâce à cet avantage, les levures mutantes vont se multiplier et s'imposer, créant une nouvelle population de cellules dont les mutations sont désormais directement programmées dans le génome. Jusqu'à ce qu'au cours d'une division cellulaire, une levure n'hérite

plus de prions anormaux, se débarrassant ainsi des caractères délétères que le prion pouvait engendrer, sans perdre le caractère avantageux désormais inscrit dans ses gènes... Ce qui lui donne encore un avantage sur ses congénères et lui permet de se multiplier. Le tour de passe-passe génétique est joué. Les levures ont retrouvé des protéines prions dans leur état normal, tout en étant radicalement différentes de la population d'origine: elles ont un flagelle ou savent digérer l'alcool.

La propension des prions à changer de forme constituerait ainsi un formidable catalyseur de l'évolution des organismes unicellulaires en permettant l'apparition brutale de caractères nouveaux très avantageux. Le prion n'est donc pas une erreur de la nature. En plus d'assurer des fonctions essentielles chez les animaux (voir encadré ci-dessous), il pourrait nous avoir libérés de notre vie de microbe, il y a plusieurs centaines de millions d'années...

ET SI LE PRION ÉTAIT LA CLÉ DE LA MÉMOIRE ?

Les organismes unicellulaires ne sont pas les seuls à tirer bénéfice des prions! Depuis quelques années, ces derniers révèlent leurs nombreux pouvoirs chez les animaux: stockage d'hormones, réponse immunitaire, production de mélanine par la peau... L'agrégation de formes anormales de prions serait impliquée dans ces phénomènes essentiels de la vie! Mieux, des chercheurs de l'Institut Stowers (Etats-Unis) viennent de montrer que ce mécanisme, longtemps considéré comme pathologique,

serait indispensable au stockage de la mémoire à long terme! En effet, en empêchant une protéine prion d'adopter sa conformation anormale chez la mouche, ils ont supprimé la capacité de celle-ci à se souvenir au-delà de 48 heures. Explication: alors que les protéines "traditionnelles" sont renouvelées en quelques jours dans les cellules, la stabilité des agrégats de prions permettrait, elle, d'inscrire des modifications durables dans les neurones.



Collection Guerres & Histoire

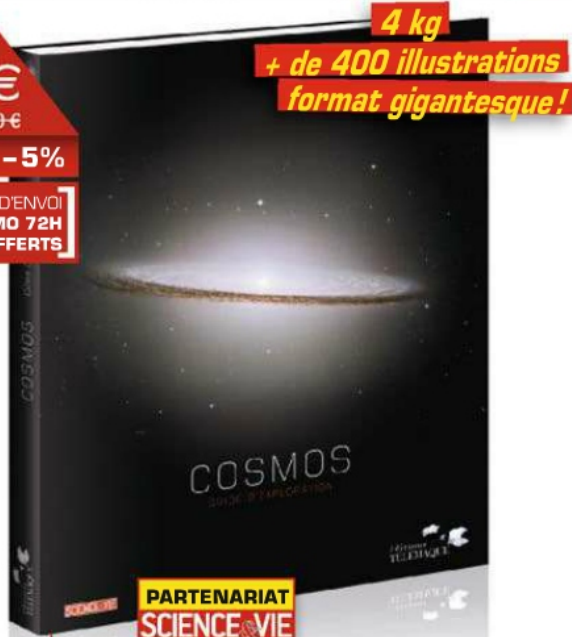
Guerres & Histoire présente sa collection inédite et uniquement disponible par correspondance : 20 DVD d'exception sélectionnés minutieusement parmi les chefs-d'œuvre du film de guerre + 20 livrets collector, vrais magazines de 16 pages, réalisés par la rédaction de Guerres & Histoire dans le prolongement des thèmes traités dans chaque film.

Collection « Les Chefs-d'œuvre du film de guerre »

Titres : Mer Cruelle, Le Pont, Capitaine Conan, Cote 465, La Ballade du soldat, L'Odyssée du sous-marin Nerka, Zoulou, L'Enfer est pour les héros, À l'ouest rien de nouveau, Kippour, Coulez le Bismark, Dieu seul le sait, Quand passent les cigognes, L'express du Colonel Von Ryan, Les Ponts de Toko Ri, Torpilles sous l'Atlantique, Les Duellistes, la 317^e section, Première Victoire...

76€
Prix public: 80€
REDUCTION SPECIALE **-5%**
FRAIS D'ENVOI COLISSIMO 72H OFFERTS

LA COLLECTION
199€
seulement



Notre système solaire et l'Univers vus par la NASA

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

Cosmos

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

LES OBJETS CHOISIS DU MOIS

Visuels non contractuels



Le réveil en folie!

Réglez le réveil à l'heure souhaitée. À l'heure programmée, un compte à rebours se met en route jusqu'à la propulsion de la fusée dans les airs qui s'écrasera dans un coin de la pièce. Votre unique moyen de l'éteindre : vous lever, trouver la fusée et la replacer sur sa base. Soyez sûr d'être réveillé!

ROCKETCLOCK®

Affichage Digital. Fonction SNOOZE. Alimentation horloge : 1 pile AG13 (incluse) / propulsion de fusée : 4 piles LR03 (non incluses). Dim. : 12 x 12 x 21 cm.

LE RÉVEIL FUSÉE
19,90€
seulement



Vidéo sur notre site web!

La version électronique du célèbre cube magique

Ludique et esthétique, repoussez vos limites en matière de stratégie, mémoire et chance, avec l'INOCUB. Jeu de stratégie, de mémoire, de hasard ou de réaction, 4 jeux lumineux incroyables se déclinent dans ce cube magique.

Inocub®

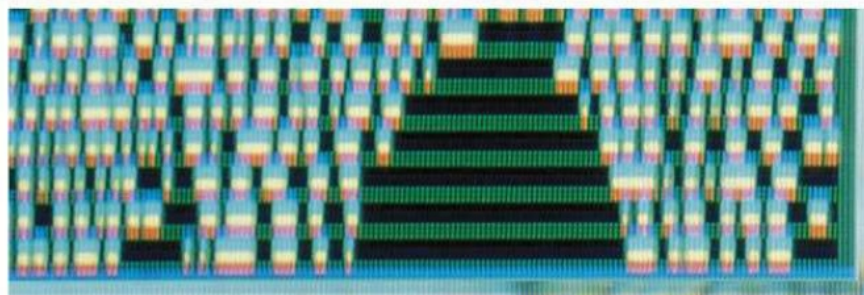
54 LEDS lumineuses de 7 couleurs et de 12 boutons sur chacune de ses 6 faces. Dim : 6,5 x 6,5 x 6,5 cm.

LE CUBE
39,90€
seulement

www.laBoutiqueScienceetVie.com

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

LE POINT SUR...



LA CARTE D'IDENTITÉ A 100 ANS...

BIOMÉTRIE : QUEL RISQUE ?

PAR EMMANUEL MONNIER

16 JUILLET 1912

**"LES NOMADES
DEVONT ÊTRE
IDENTIFIÉS"**

P.110

BIOMÉTRIE

**QUAND NOTRE
CORPS SIGNE
NOTRE IDENTITÉ**

P.112

SECTEUR

**UN MARCHÉ DOPÉ
PAR LA MENACE
TERRORISTE**

P.114

SÉCURITÉ

**QUELLES LIMITES
AU FICHAGE DES
POPULATIONS?**

P.116

Né en France de la volonté de contrôler les populations nomades, le carnet anthropométrique d'identité a ouvert la voie à d'innombrables procédés d'identification, depuis les empreintes génétiques jusqu'à la reconnaissance faciale. Un essor de la biométrie qui constitue cependant une menace : celle de ficher des populations entières...



▲ Depuis 1912 et le premier "carnet anthropométrique", les moyens d'identifier les individus n'ont cessé de se perfectionner.

16 JUILLET 1912 "LES NOMADES DEVRONT ÊTRE IDENTIFIÉS"

Ce jour-là, la France adopte une loi sur le vagabondage, dotée d'un outil utilisé dans la police : l'anthropométrie. D'où naîtra un premier fichier.

Clémenceau frotte son épaisse moustache : ce 16 juillet 1912, après quatre ans de débats, sa loi sur le vagabondage est enfin promulguée. Elle permettra de contrôler plus efficacement les nomades qui errent sur le territoire national. En particulier les Tsiganes qui, s'ils ne sont jamais explicitement nommés, sont bien ceux qui cristallisent les peurs de ses concitoyens. Alors qu'importe s'il a fallu prévoir les grands moyens. C'est sans état d'âme que "le Tigre" a mené jusqu'au bout, comme ministre de l'Intérieur, puis sénateur, un texte qui les obligera désormais à se doter d'un carnet anthropométrique permettant, par un signalement physique aussi rigoureux que scientifique, d'identifier sans erreur son porteur.

Car pour l'Etat, leur circulation pose problème : comment identifier des individus aussi mobiles, qui ne possèdent bien souvent aucun état civil ? Une commission, en novembre 1897, avait suggéré "d'obliger les nomades à détenir une pièce d'identité, passeport, carnet ou livret, délivrés dans chaque département par le préfet". Une obligation contraire aux principes de la République puisque les autres citoyens n'y étaient pas soumis. On convint donc de s'en tenir aux étrangers. Pour limiter la fraude, le

député Réville avait alors évoqué, en juillet 1908, l'idée d'un "carnet anthropométrique", qui s'appuierait sur les travaux de Bertillon, du Service d'identité judiciaire de la préfecture de police. Celui-ci développait, depuis les années 1880, l'anthropométrie judiciaire, qui établissait scientifiquement l'identité de quelqu'un à partir des mesures de différentes parties de son corps.

DÈS 13 ANS, UN CARNET OBLIGATOIRE

Une méthode que Bertillon avait complétée par le "portrait parlé" – signalement codifié du visage –, l'observation de marques particulières et la photographie judiciaire. Le relevé des empreintes digitales, introduit ensuite par le Britannique Francis Galton apporta

▼ Bohémiens, Tsiganes attisaient alors les peurs de la population...

l'ultime signature corporelle : unique, immuable et infalsifiable. L'efficacité de ces techniques avait convaincu Clémenceau, dès 1908, de les utiliser pour identifier les Tsiganes définis, faute de mieux, comme individus nomades ne possédant pas de domicile fixe et n'étant pas enregistrés comme commerçant forain. Ceux-ci devront se munir, dès l'âge de 13 ans, d'un carnet anthropométrique d'identité, qu'ils présenteront au départ et à l'arrivée de chaque commune, pour obtenir un visa. Un décret, le 16 février 1913, précisera les éléments y figurant : hauteur de la taille et du buste, envergure, longueur et largeur de la tête, diamètre bizygomatique, longueur de l'oreille droite, des doigts médus et auriculaire gauche, de la coudée gauche, couleur des yeux, empreintes digitales et deux photographies (profil et face).

Pour la première fois, un document d'identité intégrait donc un ensemble complet de données biométriques. A partir de 1926, pour chaque carnet sera constituée une notice en double exemplaire, créant ainsi un fichier national, sans cesse actualisé par les préfectures qui, depuis 1920, recueillent les noms et numéros des carnets, les lieux de provenance et de destination, la date et l'heure du passage de chaque nomade. Un an avant que l'ensemble des Français se voient proposer, en 1921, pour ceux qui le souhaitent, une première carte nationale uniformisée d'identité.

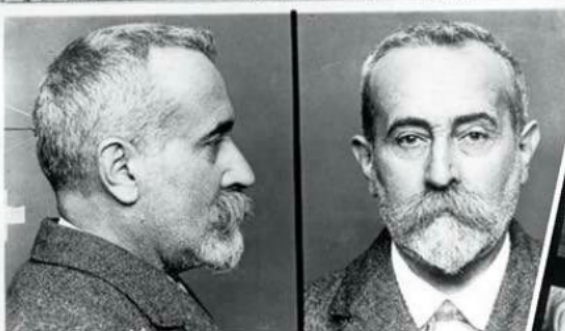




C'est Clémenceau qui est à l'origine de la loi instaurant le carnet anthropométrique. Une loi qui s'inspire des travaux d'Alphonse Bertillon (ci-contre), le promoteur de l'anthropométrie judiciaire...

Nom : **Beckillon** } Ecrité le N°
 Prénoms : **Alphonse** profession :
 Né le **22 avril 1853** à **Paris** dip. **Seine**
 Fils de : et de :
 Papiers d'identité : Antécédents judiciaires :
 Dressé à **Paris** le **11 - 7 - 13** par M.

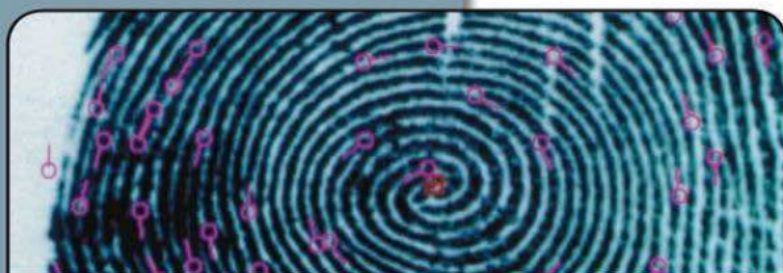
... qui repose, notamment, sur un signallement codifié du visage (ci-dessous, différents types d'oreilles). Le relevé des empreintes digitales (ci-dessus) apporte une dernière signature.



BIOMÉTRIE : QUAND NOTRE CORPS SIGNE NOTRE IDENTITÉ

L'efficacité de la biométrie repose sur des "outils corporels" : formes de la main, empreinte génétique, analyse de l'iris... Notre identité est ainsi révélée, parfois à notre corps défendant. Tour d'horizon.

EMPREINTES DIGITALES



L'idée d'utiliser les crêtes et les sillons de l'épiderme, à l'extrémité des doigts, s'est imposée comme technique d'identification depuis la fin du XIX^e siècle. Terminaison d'arête, branche, croisement... 13 types de motifs, ou "minuties", permettent de distinguer une empreinte d'une autre. Une empreinte comporte près d'une centaine de minuties, ce qui autorise des combinaisons quasi infinies, propres à

chaque individu (des jumeaux n'ont pas les mêmes empreintes). Une douzaine de points suffit, en pratique, pour établir l'identité entre deux empreintes. Relevée sur des objets, elle permet de retrouver l'identité d'un criminel. La multiplication de scanners à lecture immédiate permet également de l'utiliser pour accéder à des bâtiments professionnels, des guichets automatiques, voire allumer son ordinateur.

FORME DE LA MAIN

La silhouette de la main est propre à chacun. Longueur des doigts, forme des articulations, longueurs inter-articulaires... : jusqu'à 90 paramètres peuvent être déterminés par scanner pour reconstruire un profil 3D. Malgré un taux d'erreur relativement élevé, cette technique brevetée dès le début des années 1970 est souvent utilisée dans des lieux publics, comme les aéroports ou les cantines scolaires, en particulier aux Etats-Unis. Autre solution : visualiser l'entrelacement des vaisseaux sanguins du doigt ou de la paume via une diode et une caméra proche de l'infrarouge, réglées sur la longueur d'onde absorbée par l'oxygène de l'hémoglobine. Avantage : ce réseau veineux ne peut pas être prélevé à l'insu de l'individu.

EMPREINTE GÉNÉTIQUE

Chaque personne ayant un ADN unique, dans chacune de ses cellules, l'analyse de l'empreinte génétique est une méthode d'identification particulièrement précise et fiable. Rendue possible depuis la fin des années

1980, l'empreinte génétique est devenue depuis l'un des principaux outils de la criminalistique, pour identifier la présence d'une personne à partir d'un brin d'ADN retrouvé sur un cheveu, des cellules de peau ou une goutte de

sang. Des erreurs sont néanmoins possibles car ce n'est pas la totalité de l'ADN qui est déchiffré, mais des portions non codantes du génome, qui sont des régions très variables d'un individu à l'autre.

IRIS ET RÉTINE



L'iris – la zone colorée entre le blanc de l'œil et la pupille – est un réseau de tubes fins au diamètre inférieur à celui d'un cheveu. Leur enchevêtrement, dense et complexe, varie très peu durant la vie, dessinant des motifs qui rendent chaque iris unique (celui de l'œil droit est différent de celui de l'œil gauche). Un algorithme breveté permet, depuis le début des années 1990, d'utiliser ces motifs comme support

d'identification, l'iris pouvant être scanné "à la volée", à plusieurs mètres de distance. Tout aussi uniques sont les figures dessinées par les vaisseaux sanguins qui parcourent, au fond de l'œil, la rétine et que l'on peut cartographier avec une caméra et une lumière infrarouge. Fiable mais invasive, cette empreinte est en général réservée aux systèmes de haute sécurité (accès à des sites militaires, par exemple).

VOIX ET VISAGE

La reconnaissance faciale a bénéficié de la puissance de calculs croissante des ordinateurs pour s'automatiser, à partir du milieu des années 1980. Elle permet une identification à distance, à l'insu parfois de la personne. Environ 60 critères sont utilisés pour identifier un individu : hauteur des pommettes, écartement des yeux, tour du visage, largeur de la bouche... Certains systèmes reconstituent une image 3D, en projetant une "plaque" de lumière infrarouge sur le visage. Cette plaque est déformée par la géométrie de la face. Une caméra enregistre ces déformations et un algorithme construit un masque 3D par triangulation.

Inconvénient : le visage peut être aisément modifié par le port de lunettes, d'une barbe, d'une moustache, voire la chirurgie esthétique. Par ailleurs, cette technique distinguera difficilement deux jumeaux. Elle ne fournit donc qu'une identité probable, avec un taux d'erreur important. Chaque personne a également une voix propre et assez difficile à imiter. Un échantillon de cette voix peut être numérisé pour réaliser une empreinte vocale. La fatigue, un rhume ou une forte émotion peut néanmoins l'altérer et des personnes peuvent avoir des voix très proches. Mais c'est le seul moyen de sécuriser une transaction téléphonique.



COMPOURTEMENT

Le principe est d'utiliser des caractéristiques non physiques d'une personne, comme sa manière de frapper au clavier. Car nous avons tous une façon particulière de le faire... Étudiée pour la première fois en 1980, la "graphologie bureautique" a débouché dix ans plus tard sur des premiers systèmes automatisés de reconnaissance dynamique de frappe au clavier. Avantage : cette méthode ne nécessite aucun lecteur biométrique. Un logiciel installé sur l'ordinateur ou un serveur distant – dans le cas d'une connexion internet – suffit. Elle peut être utilisée en complément de l'identifiant/mot de passe, pour se connecter sur un site sécurisé ou le réseau interne d'une entreprise. La signature dynamique analyse, elle, le geste effectué lorsqu'on signe un document grâce à une tablette de signature. Plus que la forme elle-même du tracé, le système mesure les accélérations du geste, le nombre de fois où le stylet touche la tablette, la position de certaines courbures... et compare à un gabarit préenregistré. Cette technique, qui reste toutefois sensible à l'état émotionnel de la personne, est envisagée pour authentifier des transactions de commerce en ligne, la production de documents électroniques ou pour contrôler l'accès à un ordinateur.

SECTEUR UN MARCHÉ DOPÉ PAR LA MENACE TERRORISTE

Après le 11-Septembre, l'intérêt pour la biométrie a tourné à l'engouement planétaire. Et le marché ne cesse d'exploser. Revue de détail.

Conséquence directe de la "guerre globale contre le terrorisme" annoncée après les attentats du 11 septembre 2001, les Etats-Unis ont investi massivement dans les technologies permettant d'identifier toute personne entrant sur son territoire ou travaillant sur des sites sensibles. L'un des résultats les plus visibles fut d'imposer la biométrie dans les documents de voyage, comme les passeports, mais aussi, dès 2002, pour contrôler les personnels travaillant sur les navires ou dans les zones sécurisées de tous les ports américains. Depuis, l'engouement pour l'identification biométrique s'est mué en lame de fond qui a gagné le reste du monde : son chiffre d'affaires est passé de quelques dizaines de millions de dollars en 1998 à près de 3,4 milliards en 2009, montant qui devrait doubler en 2013. Difficile, néanmoins, d'en obtenir un tableau très précis. Dans un récent ouvrage collectif (1), les économistes Nacer Lalam et Franck Nadaud avouent la difficulté "d'obtenir des données fiables et significatives", constatant une "certaine opacité que les opérateurs semblent entretenir sciemment". Il est vrai que le "secret défense", qui entoure une partie de cette activité, ne facilite pas la transparence...

Quelques certitudes néanmoins : ce sont bien les agences gouvernementales qui, partout dans le monde, tirent le marché. L'Union européenne, à l'instar des Etats-Unis, constitue un réseau de bases de données biométriques capable d'identifier les migrants circulant dans l'espace Schengen, même dépourvus de papiers : les autorités nationales pourront utiliser les empreintes digitales enregistrées lors d'une première demande de visa dans le fichier VIS (système d'information sur les visas) ou à l'occasion d'une infraction, dans le fichier SIS II (Système d'information Schengen 2^e génération). La plateforme Biometric Matching System prévoit ainsi de stocker les empreintes de 70 millions de personnes et de traiter chaque jour 100 000 demandes de vérification d'identité.

POLICE JUDICIAIRE, ARMÉE...

L'appétit de la police judiciaire pour ces technologies va également *crescendo* : alors que le FBI lançait, fin 2007, le projet Next Generation Identification, qui créera – à des fins de police – le plus grand fichier mondial de caractéristiques corporelles, la Grande-Bretagne abrite déjà le plus gros fichier au monde d'empreintes génétiques, le NDNAD. Il contient l'ADN

de toute personne ayant eu affaire aux forces de l'ordre, sans limitation de durée, soit plus de 5,5 millions d'individus aujourd'hui !

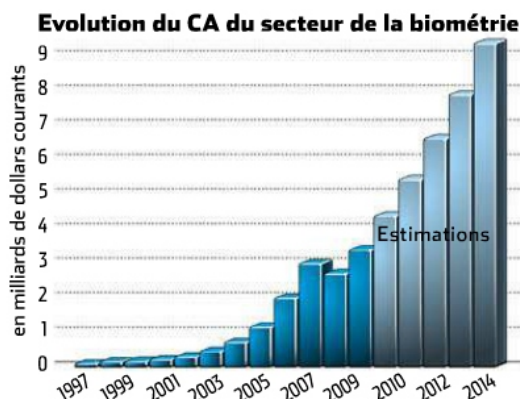
L'armée reste bien sûr un autre débouché naturel (le département de la Défense américain dépense plusieurs centaines de millions de dollars par an pour s'équiper). Mais ces techniques d'identification gagnent aussi des domaines plus pacifiques comme la santé, l'éducation ou le monde de l'entreprise, pour sécuriser les transactions financières et bancaires, s'intégrer dans les ordinateurs personnels, les téléphones mobiles, les voitures ou les maisons, renforçant la sécurité des ensembles résidentiels fermés, comme au Brésil ou en Afrique du Sud.

La technique reine reste la lecture des empreintes digitales. Son adoption massive par de nombreux pays en a fait chuter le coût. En comparaison, la reconnaissance de l'iris, considérée comme plus fiable, est plus confidentielle. A cause de capteurs plus chers, mais aussi de réticences : l'œil reste un organe intime et la peur est vive que la lumière infrarouge puisse l'endommager. Or, l'élément qui décidera de l'extension à venir de l'identification biométrique est bien l'acceptation, ou le refus, tant des personnes que des citoyens, de ces techniques invasives. Que ce soit pour des raisons psychologiques... ou éthiques.

(1) *L'identification biométrique, champs, acteurs, enjeux et controverses*. Sous la direction de Ayse Ceyhan et Pierre Piazza, éditions de la Maison des sciences de l'homme, 2011.

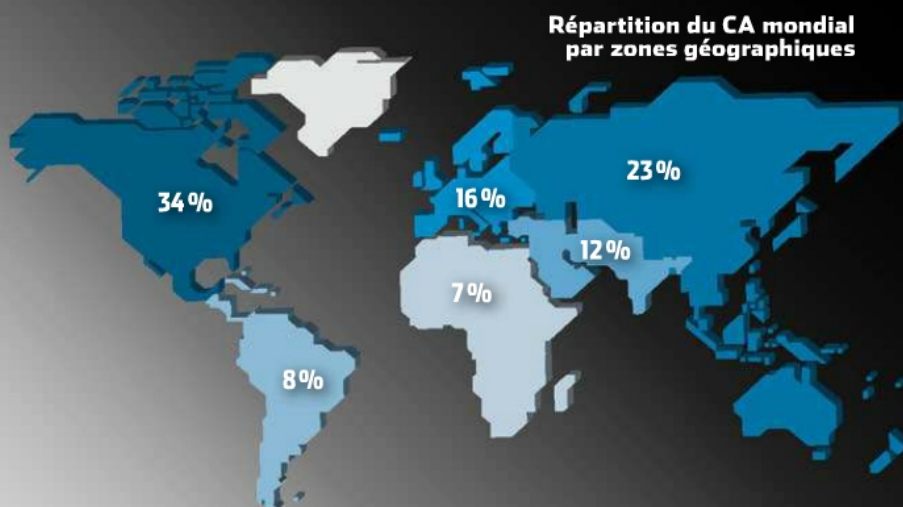
Un secteur en constante progression

Le chiffre d'affaires mondial de la biométrie a suivi, depuis la fin des années 1990, une progression quasi exponentielle (hormis pour l'année 2008 qui fut celle d'une crise économique mondiale). Et cette explosion du marché devrait se poursuivre, selon les analystes, dans les années à venir, tant la demande d'identification sécurisée est forte.



Partie des Etats-Unis, la demande touche le monde entier

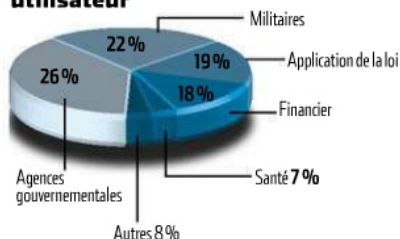
D'abord partie des Etats-Unis, qui représentaient à eux seuls 70 % du marché en 1996, la vague biométrique – alimentée en partie par la crainte de nouveaux attentats après ceux du 11 septembre 2001 – a ensuite gagné l'Europe puis surtout l'Asie et le Pacifique. Des lecteurs biométriques sont aujourd'hui commercialisés sur tous les continents.



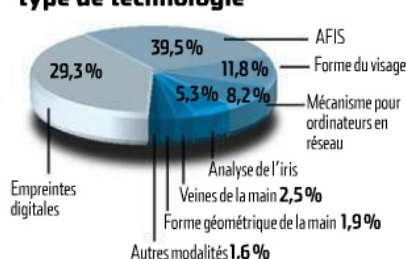
Des technologies et des utilisations multiples

En 2008, la lecture des empreintes digitales représentait près de 70 % du marché. La lecture automatisée des empreintes (AFIS) – 39,5 % du chiffre d'affaires – est utilisée par de nombreuses polices, à des fins judiciaires ou pour le contrôle des frontières. Les militaires (en particulier l'armée américaine) comptent ensuite parmi les plus gros utilisateurs de systèmes biométriques, ainsi que la finance, pour sécuriser les transactions.

Répartition du CA par utilisateur



Répartition du CA par type de technologie



Les principaux fichiers biométriques français

FAED : Le Fichier automatisé des empreintes digitales répertorie les personnes mises en cause dans une procédure pénale ou condamnées à une peine de prison. Il contient l'état civil, le motif d'inscription au fichier, les dates et lieu de signalisation, des éléments de signalement, des clichés anthropométriques et les empreintes digitales. Près de 3,5 millions de personnes y étaient enregistrées au 31 janvier 2010.

FNAEG : Le Fichier national des empreintes génétiques enregistre les empreintes (échantillons codés d'ADN) prélevées sur les lieux d'une infraction ou sur des personnes condamnées ou mises en cause dans une procédure pénale. Plus de 1,2 million d'individus y étaient enregistrés au 30 janvier 2010.

TES : Le fichier TES centralise au niveau national les éléments fournis lors d'une demande de passeport biométrique : état civil, image numérisée des empreintes digitales de huit doigts (le Conseil d'Etat a demandé, en 2011, que ce nombre soit ramené à deux) et image numérisée du visage.

Parafe : Le Passage rapide aux frontières extérieures permet de passer rapidement la frontière française (aux aéroports, par exemple) grâce à la lecture des empreintes digitales, recueillies lors d'une inscription préalable ou enregistrées dans la puce du passeport biométrique. L'empreinte scannée à l'intérieur d'un sas est automatiquement comparée à celle enregistrée sur la puce ou stockée dans un fichier dédié. Lancé en 2009, ce système a été utilisé par plusieurs centaines de milliers de passagers.

D'autre part, la France alimente l'Eurodac, qui contient les empreintes digitales des demandeurs d'asile et immigrants illégaux sur le territoire de l'UE ; le Système d'information sur les visas (VIS), qui enregistre les données fournies lors de toute demande de visa pour l'un des pays de l'UE, dont une photographie et les empreintes digitales ; et le Système d'information Schengen (SIS), enregistrant les personnes recherchées ou interdites de séjour au sein de l'espace Schengen et qui, dans sa deuxième version, intègre les empreintes digitales et une photographie du visage.

SÉCURITÉ QUELLES LIMITES AU FICHAGE DES POPULATIONS ?

En France, diverses instances s'inquiètent d'un développement incontrôlé des systèmes d'identification. Une crainte justifiée ? Explications.

Après le passeport, la carte d'identité biométrique verra-t-elle le jour ? Le 6 mars dernier, clôturant dix ans d'atermoiements, les députés en avaient voté le principe : une carte facultative qui aurait contenu dans une puce, sous une forme cryptée, la photo numérisée du porteur et deux de ses empreintes digitales. Un fichier central aurait alors réuni ces données avec celles du passeport biométrique actuel – taille, couleur des yeux, empreintes digitales et photographie. Le Conseil constitutionnel en a décidé autrement : invalidant, deux semaines plus tard, la création de ce fichier, il oblige l'Assemblée nationale à revoir sa copie.

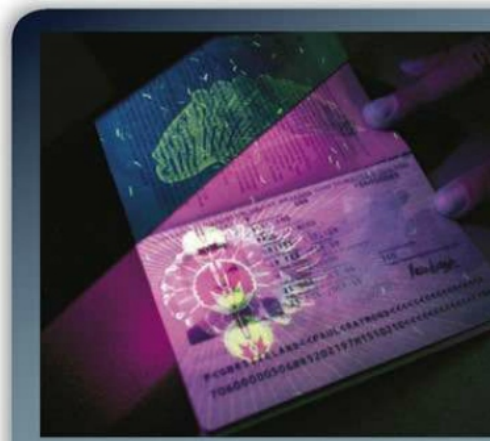
"ATTEINTE INCONSTITUTIONNELLE"

Les Sages n'ont pas nié l'utilité de sécuriser les titres d'identité et de lutter contre la fraude ; mais les moyens leur ont paru disproportionnés : les 50 000 à 200 000 cas d'usurpation d'identité estimés chaque année, ne justifient pas, selon eux, de fichier ainsi la quasi-totalité de la population. Ils ont estimé que la possibilité d'identifier ainsi quiconque à partir de ses empreintes digitales, traces susceptibles d'être collectées en tout lieu à l'insu de la personne, "porte une atteinte inconstitutionnelle au droit au respect de la vie privée".

Ils ne sont pas seuls à mettre en garde contre un développement incontrôlé des systèmes d'identification. En 2000, lorsque le principal d'un collège niçois avait souhaité installer un dispositif d'accès à la cantine scolaire basé sur la lecture des empreintes digitales, la Commission nationale de l'informatique et des libertés (Cnil) avait estimé qu'appliquer à des enfants une procédure jusqu'alors réservée à la police judiciaire était "excessif". Depuis, la biométrie s'est banalisée. Et plusieurs centaines d'établissements scolaires sont aujourd'hui équipés de systèmes biométriques pour gérer l'accès à la cantine (la lecture du contour de la main ayant remplacé celle, toujours refusée, des empreintes digitales). *Idem* du côté des entreprises, qui utilisent de tels systèmes pour sécuriser l'accès à leurs locaux, aux ordinateurs, gérer les horaires... Une lame de fond qui concerne toute la planète (voir p. 114).

Face à ce développement tous azimuts, des voix s'élèvent, à l'instar du Conseil constitutionnel, pour en pointer les multiples risques. D'utilisation frauduleuse ou illégale, d'abord. La Cnil accorde une attention toute particulière aux données dites "à traces", comme les empreintes digitales

ou génétiques, qui peuvent être prélevées et utilisées à notre insu, en dehors du cadre pour lequel nous avons donné notre consentement. Elle lui préfère les systèmes "sans trace", comme la lecture du contour de la main ou de ses veines, que l'on ne peut obtenir sans la participation de la personne. *Idem* pour la création d'un fichier central, dont le piratage, l'utilisation malveillante ou illégale est toujours possible. La Cnil favorise au contraire les systèmes "Match on Card" (MOC), qui stockent à la fois les données et le logiciel de comparaison sur la carte à puce, et permettent ainsi de vérifier une identité sans que les informations personnelles soient extraites, ce qui évite toute copie. La Cnil considère que la collecte de données biométriques à traces ne peut être justifiée →



▲ Passeport biométrique contenant dans une puce électronique photographie et empreintes digitales...



▲ Le Conseil constitutionnel et la Cnil pointent les multiples risques que fait courir la prolifération des systèmes d'identification biométrique.



▲ ... accès aux cantines scolaires via un lecteur du contour de la main (plusieurs centaines en France ; ici, à Carcassonne)...



▲ ... relevés d'empreintes génétiques établis à partir d'un cheveu, de cellules de peau ou d'une goutte de sang : la biométrie s'infiltré partout.

→ que par des exigences impérieuses en matière de sécurité publique. Concernant le passeport biométrique, la commission a également estimé, dans son avis du 11 décembre 2007, qu'un simple enregistrement des données dans la puce suffit à certifier que le porteur du passeport est bien la personne qu'elle prétend être, sans qu'il soit besoin de créer un quelconque fichier central. Une télétransmission directe de ces documents permettrait de lutter bien plus efficacement contre la fraude à l'identité qu'un fichier national des données biométriques.

Car ces grands fichiers, outre les risques qu'ils exposent à une utilisation illégale, présentent pour les défenseurs des libertés publiques un autre défaut de taille : leur finalité a tendance à évoluer au fil des législatures. Ainsi en est-il, par exemple, du FNAEG (Fichier national automatisé des empreintes génétiques). Créé en France en 1998, il était destiné à contenir les empreintes génétiques des personnes condamnées pour des crimes et délits sexuels graves. Un amendement, en 2001, l'étend aux personnes condamnées pour d'autres crimes, puis, en 2003, aux simples délits. Aujourd'hui, il s'étend à l'ensemble des personnes mises en cause dans une procédure pénale... même si l'individu est reconnu, au final, innocent. Résultat : plus de 1 700 000 profils y sont recensés,

la plupart comme simples suspects. Comme le relève aujourd'hui la Ligue des droits de l'homme, *"l'inscription au fichier devient une peine en soi et crée une présomption de culpabilité appuyée sur un fichier de suspects permanents"*. Une mention d'autant plus handicapante que ces grandes bases de données, une fois créées, peuvent techniquement être interconnectées. La Cnil y est farouchement opposée. Ce n'est pas le cas en Grande-Bretagne, où le Serious Crime Act de 2007 permet aux organismes publics d'échanger les dossiers de santé, les déclarations d'impôts, les prestations sociales reçues, les permis de conduire et assurances des véhicules. Toute personne ayant accès à ces fichiers peut donc reconstituer la vie privée d'un individu. Y compris ses déplacements sur la voie publique, avec le développement des systèmes automatisés de reconnaissance faciale.

L'ERREUR N'EST PAS EXCLUE

Et les criminels ne sont pas les seuls à devoir s'en inquiéter. Car outre le risque toujours possible d'utilisation malveillante, l'erreur n'est pas exclue. Comme le rappelle Alex Türk, président de la Cnil, *"toute comparaison biométrique constitue une opération mathématique reposant sur l'évaluation de probabilités. Il ne s'agit pas d'un procédé fiable à 100 %"*.

Lorsqu'un système biométrique indique que deux empreintes digitales, ou deux visages, correspondent, c'est toujours à un taux d'incertitude près. Réduire ce taux, c'est prendre le risque de rater une identification. L'augmenter, c'est au contraire risquer d'identifier à tort quelqu'un. Le problème, pour qui se retrouve interdit d'avion, d'accès à un lieu public ou accusé d'un crime, n'est pas qu'académique. *"Il est donc indispensable de procéder à une évaluation objective, scientifique et indépendante de la sécurité et de la fiabilité des systèmes biométriques"*, poursuit Alex Türk. L'erreur peut aussi être humaine. David Lyon, professeur de sociologie à la Queen's University (Canada) et directeur du Surveillance Studies Center, en veut pour preuve l'histoire de Rene Ramon Sanchez, un carrossier de New York qui avait apparemment les mêmes empreintes digitales que Leo Rosario, un dealer de drogue. Sanchez a passé plusieurs mois en prison jusqu'à ce que sa malchance soit découverte, en 2002 : lors d'une procédure pour conduite en état d'ivresse, en 1995, la police avait reporté par erreur ses empreintes sur une carte au nom de Rosario. Au-delà des menaces que pose la biométrie sur notre vie intime, l'un des plus grands dangers pourrait donc bien se nicher dans la croyance qu'elle serait... infaillible. ■

C'ÉTAIT DANS SCIENCE & VIE...

Dès 1917, S&V s'intéressait à la biométrie. La marine américaine fournissait alors aux soldats des médailles d'identité comprenant l'empreinte de l'index de la main droite.

"On place le doigt, préalablement encré, de côté, puis on le tourne progressivement", détaillait le magazine. Des appareils photographiques spécifiques avaient même été mis au point (voir ci-contre). Depuis, S&V a suivi les progrès de la biométrie. Ainsi, en 1962, quand les "empreintes vocales" étaient proposées pour remplacer les empreintes digitales : *"L'image d'un*



mot, pris au hasard d'une conversation et visualisée sur la bande témoin d'un oscillographe, révèle les différentes

particularités de la voix". Dans les années 1980, avec l'essor de la génétique, on imaginait sur les cartes d'identités que *"les empreintes digitales soient remplacées par la photo du spectre des bandes, obtenu à partir de l'ADN"*. Mais ces nouvelles techniques créaient déjà de nouvelles méfiances, S&V soulignant en 1986 que *"le viol de la vie privée est à craindre"*.

A. Du.



EN PRATIQUE

120 BON À SAVOIR

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

122 ZOOM DU MOIS

Tourisme scientifique: notre sélection pour l'été

128 QUESTION/RÉPONSES

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

134 TECHNOFOLIES

La première berline avec airbag pour piéton...
et toutes les dernières innovations technologiques.

140 LE CIEL DU MOIS





EN PRATIQUE

BON À SAVOIR

OBÉSITÉ ET SOMMEIL : UN NOUVEAU LIEN

Une étude danoise sur 500 enfants âgés de 2 à 6 ans révèle que le risque d'obésité, plus fort si le sommeil est perturbé, s'aggrave encore si les parents n'acceptent pas de dormir avec l'enfant quand il le réclame. "Congrès européen sur l'obésité", mai 2012

NE PENSER À RIEN... POUR MIEUX RÉFLÉCHIR ENSUITE

Pour trouver la solution à un problème, mieux vaut ne pas trop cogiter. Il serait même préférable de se livrer à une autre activité, exigeant peu de concentration. Selon une étude menée sur 145 personnes par des psychologues de l'université de Californie, à Santa Barbara, la créativité et la résolution de problèmes complexes sont stimulées quand l'esprit vagabonde. Si les capacités d'innovation ne sont pas dopées, cela crée en revanche un "effet d'incubation" pour des problèmes déjà abordés. Rêvasser pourrait favoriser une interaction rare entre différents réseaux neuronaux et augmenter les processus d'association. "Psychological Science"



LES VINS AUSSI AFFICHENT LEURS ALLERGÈNES

Depuis le 30 juin, les vins commercialisés en Europe doivent mentionner la présence d'ovalbumine, de caséine et de lysozyme, substances utilisées dans le traitement des vins, en plus des sulfites dont la mention était déjà obligatoire. "Commission européenne", 2012

QU'IL EST BON DE PARLER DE SOI !

Si nous consacrons de 30 à 40 % de notre temps de discussion à parler de nous, c'est parce que cela déclenche la libération de dopamine, le neurotransmetteur de la récompense et du plaisir. "PNAS", mai 2012

LA LUMIÈRE DU JOUR PRÉVIENT LA MYOPIE

L'épidémie de myopie qui sévit à travers le monde, particulièrement en Asie orientale (de 80 à 90 % des jeunes en fin d'études) serait due au fait que les enfants passent de moins en moins de temps dehors. "Sous l'effet de la lumière naturelle, la rétine produit de la dopamine, un neurotransmetteur connu pour limiter la croissance de l'œil", précisent les chercheurs. Or, la myopie apparaît justement quand l'œil est trop long, l'image se formant alors en avant de la rétine, et non plus sur celle-ci. Moralité : sortez vos enfants ! "The Lancet", mai 2012





HUIT FRANÇAIS SUR DIX MANQUENT DE VITAMINE D

Ostéoporose, décalcification et hypertension : voici les trois maux dont risquent de souffrir 80 % des Français à cause d'une insuffisance en vitamine D, essentielle à la fixation du calcium. L'étude nationale nutrition santé a révélé que cette carence est sévère à modérée dans près d'un cas sur deux. De nombreux facteurs, comme le manque d'ensoleillement, la sédentarité et la catégorie socioprofessionnelle, sont en jeu. Les déficits sévères (moins de 10 ng/ml) touchent surtout les personnes seules, aux revenus faibles et d'origine extra-européenne. "BEH", avril 2012

LES EAUX EUROPÉENNES SONT PLUS PROPRES

92,1 % des eaux européennes répondent désormais aux normes de qualité minimales fixées par la directive sur les eaux de baignade; tandis que 77,1 % des sites satisfont aux exigences les plus strictes. A consulter : <http://watch.eyeonearth.org>. "AEE", mai 2012

TOUTE ACTIVITÉ PROFITE AUX PERSONNES ÂGÉES

Une étude a montré que les simples gestes accomplis pour faire le ménage, la cuisine ou même jouer aux cartes sont bénéfiques aux personnes de plus de 80 ans, car ils retardent la dégradation de la mémoire et des aptitudes cognitives. "Neurology", avril 2012

LE STÉRILET EST PLUS FIABLE QUE LA PILULE

A l'issue d'une étude ayant suivi pendant trois ans 7500 Américaines, le risque de grossesse involontaire était 20 fois plus élevé chez les femmes sous pilule que chez celles utilisant un stérilet ou un implant. Principale cause : l'oubli de la pilule. "NEJM", mai 2012

JOHNER, M.DOCHE, K.SYNNATZSCHKE, R.CAMILO/PLAINPICTURE

BOIRE DU CAFÉ DIMINUERAIT LES RISQUES D'AVC

Une étude suisse vient de sérieusement renforcer cette hypothèse, du moins chez les non-fumeurs, pour qui la consommation de café est associée à une baisse de la tension artérielle. Or, cette dernière constitue un facteur de risque important dans la survenue des accidents vasculaires cérébraux. Cet effet bénéfique serait dû à un gène activé par la caféine, que l'on a identifié. Aucune incidence de ce type, en revanche, chez les fumeurs. "Human Molecular Genetics", avril 2012





EN PRATIQUE

ZOOM DU MOIS

Tourisme scientifique

Notre sélection pour l'été

Une fusée, un volcan, des étoiles, mais aussi un pendule, des dinosaures... Les journalistes de la rédaction ont sélectionné parmi leurs plus belles expériences celles qui les ont particulièrement émus ou fascinés. Suivez le guide !

Exhumer des os de dinosaures, voir la Terre tourner sous ses yeux, ressentir le souffle puissant d'Ariane au décollage, explorer les méandres de son propre cerveau... Autant de rendez-vous qui, entre science et émotions, vous attendent cet été, au détour de vos vacances en France. L'agenda du tourisme scientifique de saison ? Plutôt un guide. Car l'Hexagone regorge de musées, de centres de culture scientifique et autres hauts lieux du savoir humain ouverts à tous. Pour s'y retrouver, nous avons donc fait un choix : le nôtre. Car une fois n'est pas coutume, nous avons privilégié, très subjectivement, des lieux et des moments singuliers, parfois inattendus, mais ayant tous provoqué une émotion particulière chez les journalistes de notre rédaction. En

prenant soin bien sûr de ne retenir que des lieux ouverts au public, même si l'accès en est parfois limité, voici donc notre sélection de visites chargées de souvenirs... Maintenant, à vous de jouer.

LE PITON DE LA FOURNAISE (LA RÉUNION) *Par Hervé Poirier*

Voir la terre sortir de l'océan

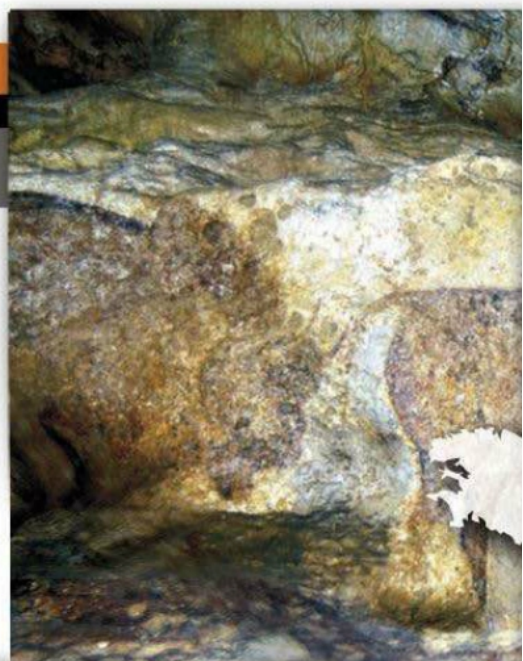
La piste déroule son long ruban à travers la plaine des Sables. Dans cette vaste étendue désertique parsemée de blocs de lave gangrenés, on a l'impression d'être sur une autre planète, ou peut-être sur Terre avant que la vie ne l'envahisse. Puis vient la falaise, qui tombe à pic en arc de cercle sur une immense zone affaissée, plus de 100 m en contrebas. Souvent le

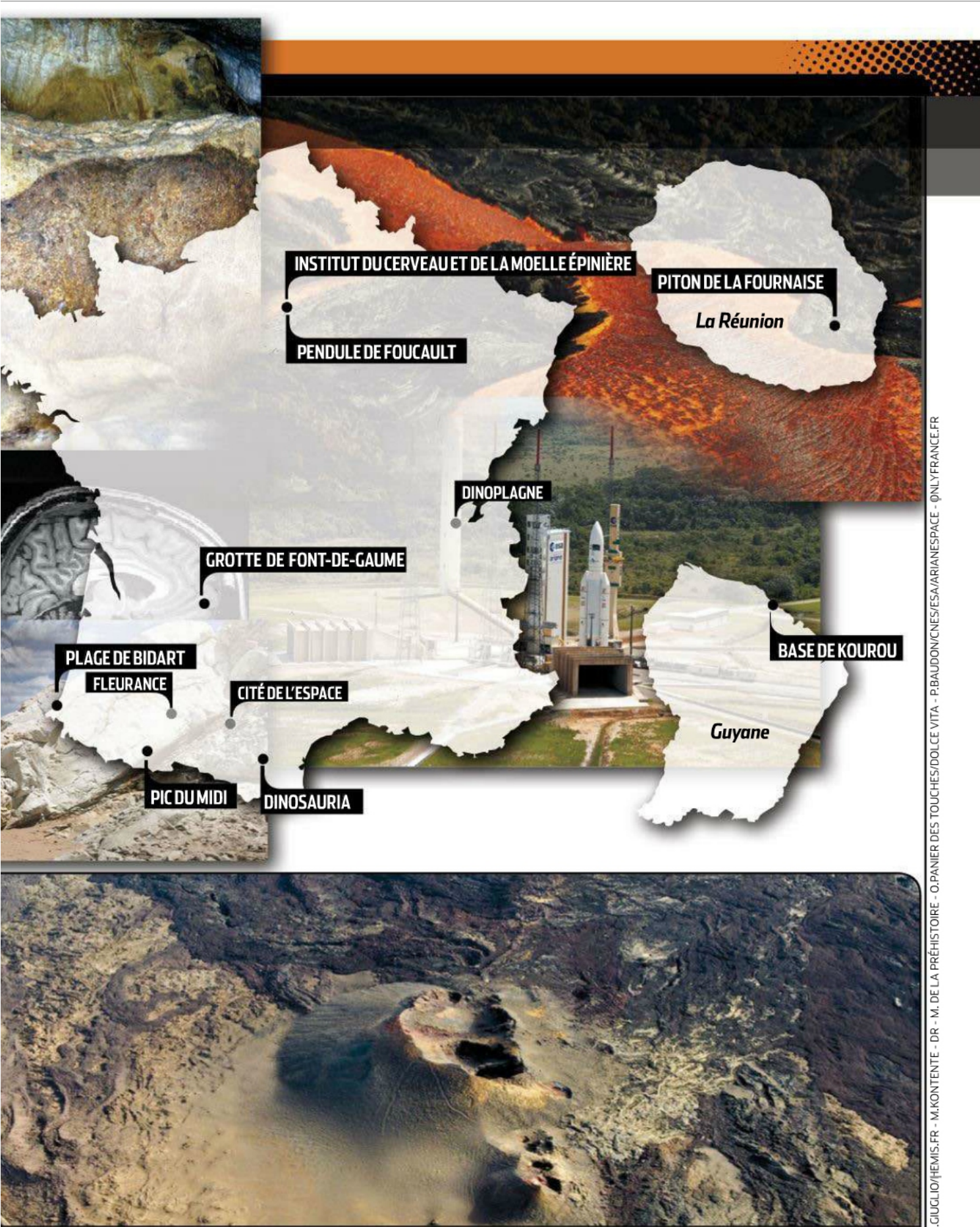
brouillard empêche de voir s'élever, au centre du cirque, le dôme du Piton de la Fournaise, un des volcans les plus actifs du monde. Mais, après la descente du rempart, en arpentant cette roche incroyablement dure dont les formes fracturées conservent les traces d'une lointaine fluidité, la puissance tellurique du magma devient perceptible, 1000 m en dessous. Presque

chaque année, un fleuve de lave remonte à la surface et se déverse dans l'océan. C'est ainsi que depuis trois millions d'années pousse l'île de La Réunion. Une inoubliable randonnée au-dessus de la forge du monde, là où la terre naît de l'océan.

EN PRATIQUE...

Site : www.fournaise.info







LA PLAGE DE BIDART (64)

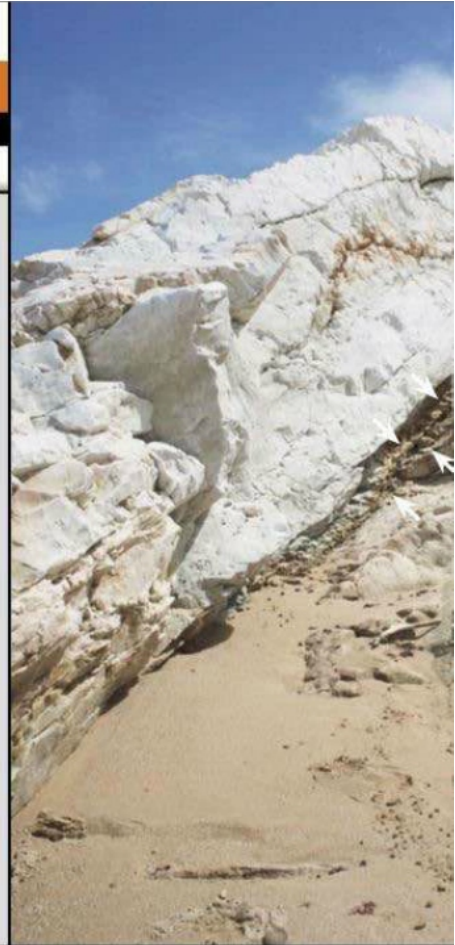
Par Boris Bellanger

Toucher la limite géologique du Crétacé et du Tertiaire

On y vient chercher les émotions fortes du surf et du kite, mais cette belle plage basque possède un autre attrait : une formation géologique unique en France, signature d'un événement majeur dans l'histoire de notre planète et de la vie, la trace de la dernière grande catastrophe qu'a connue la Terre, il y a quelque 65 millions d'années. Pour cela, il faut tourner le dos à la mer et se placer face aux rochers battus par les vents. Là, un

escarpement présente une petite bande sombre : au-dessus, les calcaires datent de l'époque tertiaire (T) ; en dessous, les marnes sont du Crétacé (K). Entre les deux, la fameuse limite K/T. Fameuse ? Et comment ! Cette fine couche d'argile gris-vert contient de l'iridium, un métal rare à la surface de la Terre... mais plus abondant dans les météorites. Voici donc la trace géologique laissée par la météorite qui a mis fin au règne des dinosaures, entraînant brutalement la disparition d'un grand nombre d'espèces de plancton ! Elle

aurait mesuré 10 km de diamètre et serait tombée dans ce qui est aujourd'hui le golfe du Mexique, projetant autour du globe d'énormes quantités de poussières cosmiques. Contempler le site de Bidart (qu'aucun panneau n'indique si ce n'est un *flash code* dans la roche), c'est donc assister à la fois à l'extinction de la vie et à sa résurrection, toucher du doigt la trace de l'origine cosmique de la catastrophe biologique. Mais le site souffre de l'érosion. Ce témoin privilégié d'un cataclysme lointain est en passe de disparaître à son tour...



EN PRATIQUE...

43° 26' 59,91" de latitude N

1° 35' 11,00" de longitude O

INSTITUT DU CERVEAU ET DE LA MOELLE ÉPINIÈRE (75) Par François Lassagne

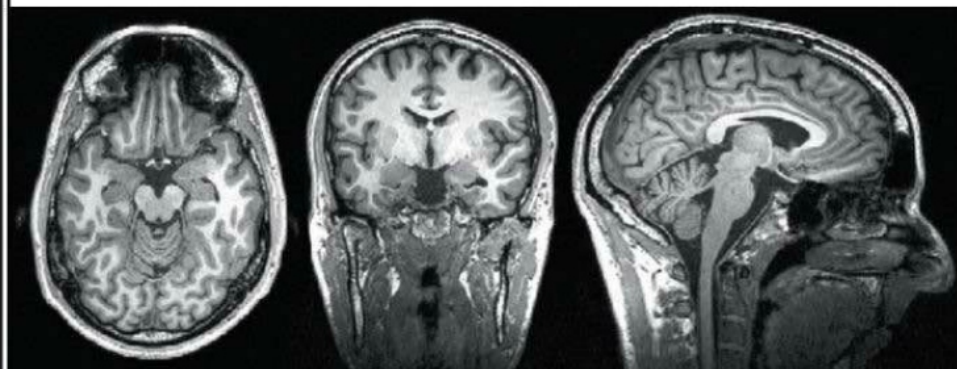
Explorer les secrets de son propre cerveau

Les infrabasses d'un concert techno. Puis le ronronnement d'un moteur diesel. Soudain, le crépitement d'un flash d'appareil photo. A l'intérieur d'un scanner à résonance magnétique, l'expérience se vit d'abord par les oreilles, bien protégées par des bouchons : sinon le son

serait assourdissant. C'est que pour percer les secrets de la boîte crânienne sans y toucher, il faut s'installer, allongé, la tête dans le tunnel de l'appareil, au cœur de champs magnétiques intenses. Leurs variations sont alors à l'origine de l'étrange concert de la

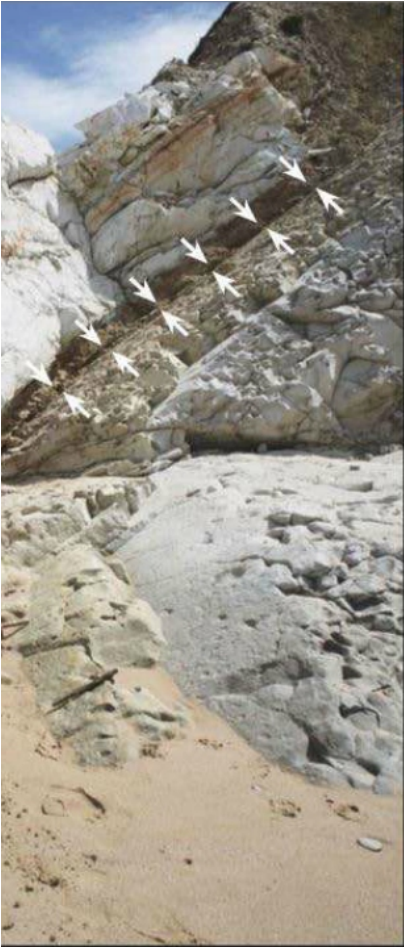
machine... et des images proprement extraordinaires que les chercheurs en tirent. Après s'être relevé, l'esprit n'a que quelques minutes pour se préparer – le temps du calcul informatique – à découvrir son substrat. Bien rangé sous les contours du crâne

– dont chacun reconnaîtra sans peine qu'il est bien le sien – se révèle alors la forme en fer à cheval de l'hippocampe, cette structure qui héberge nos souvenirs ; là, le corps calleux, qui fait se parler hémisphères gauche et droit ; là encore, l'amygdale, cette petite amande lovée sous le cortex, noyau essentiel aux émotions... Frisson garanti pour les volontaires qui prêteront – sans risque aucun – leur cerveau aux scanners des centres de recherche en neurologie de la Pitié-Salpêtrière.



EN PRATIQUE...

Site : <http://faites-la-science.risc.cnrs.fr>



LE PIC DU MIDI (65)

Par Serge Brunier

Passer la nuit à la plus belle étoile

Il semble dominer l'immense muraille des Pyrénées. Le pic du Midi, 2870 m d'altitude, et son antenne de télécommunications haute de 100 m se remarquent de loin, placés aux avant-postes, une vingtaine de kilomètres devant la chaîne de montagnes. Sa situation exceptionnelle en fait

un belvédère sublime tourné vers le ciel. On y vient en pèlerinage de tous les coins du monde : l'observatoire astronomique qui y fut installé en 1878 est un véritable temple de la découverte pour tous les astronomes. Balayé par le vent d'ouest, le ciel y est en effet l'un des plus purs

et les plus stables d'Europe. Les meilleures images de la Lune ? Elles ont été prises ici. Accessible par une vertigineuse montée en téléphérique, il est désormais ouvert au public et héberge même la nuit touristes et astronomes amateurs. Si tout le ciel y est accessible, ce sont les planètes qui offrent le spectacle le plus inoubliable. Lorsque la nuit est calme, l'œil à l'oculaire, on se croit derrière le hublot d'un engin spatial...



EN PRATIQUE...

Tél. : 0 825 00 2877

Site : www.picdumidi.com/

DINOSAURIA (11)

Par Philippe Chambon

Exhumer des fossiles de dinosaures

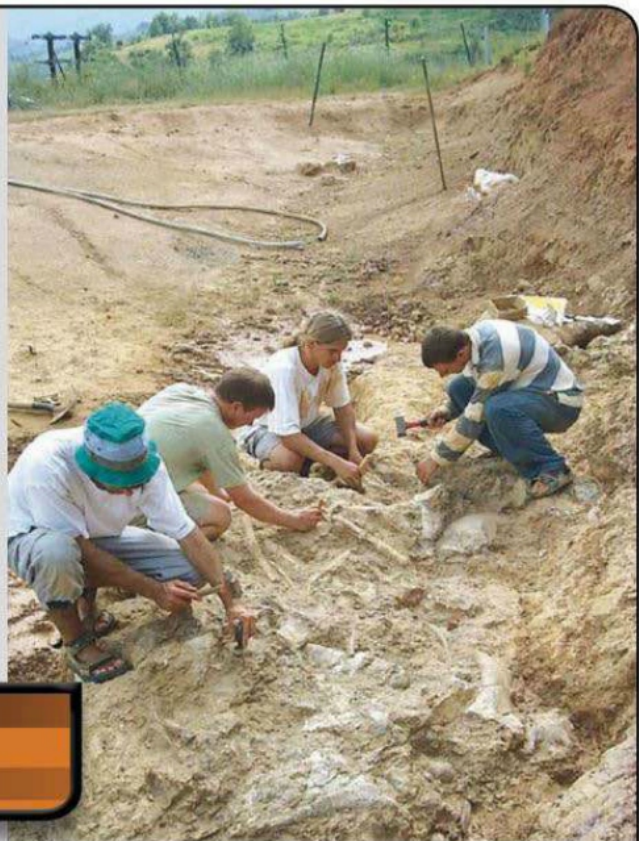
Massette et burin en mains, une dizaine de jeunes gens grignotent la roche à flanc de colline par petits coups prudents et obstinés. "J'ai quelque chose, regardez !" crie l'un d'eux. Le groupe s'est à peine retourné, qu'un autre lance : "Moi aussi !" Un filon ? Non. Des inclusions d'une structure manifestement différente de celle de la pierre brune et granuleuse qui les enserre : des coquilles d'œufs de dinosaure fossilisées. Le spécialiste prévient : "Allez-y doucement." L'œuf est peut-être entier et des ossements pourraient se cacher tout près. Les coups se font grattements. En 2001, le squelette quasi complet d'un dinosaure de l'espèce *Ampelo-*

saurus ataxis a été découvert ici, à Bellevue, dans ces sédiments de la haute vallée de l'Aude qui datent d'il y a quelque 70 millions d'années. Animée par Eric Buffetaux, l'équipe de paléontologues accueille l'été des stagiaires. Le site a déjà livré plus 4 000 ossements fossilisés de toutes sortes d'animaux (exposés au musée Dinosauria, à Espérazza). Pour participer à ce voyage dans le temps, il faut avoir plus de 18 ans et envoyer une lettre de motivation.

EN PRATIQUE...

Tél. : 04 68 74 26 88

Site : www.dinosauria.org





LA GROTTE DE FONT-DE-GAUME (24)

Par Muriel Valin

Contempler des chefs-d'œuvre immémoriaux

Tapie sous un escarpement rocheux, l'entrée de la grotte n'a rien de spectaculaire, pas plus que les cinquante premiers mètres de progression dans l'étroit boyau naturel creusé dans le calcaire. C'est juste après que vient la surprise... Eclairés soudain par la lampe du guide, les murs de la grotte révèlent d'incroyables peintures rupestres, d'une extraordinaire précision, datant d'il y a environ 15 000 ans (de l'époque magdalénienne à la fin du Paléolithique). Ici, pas de reconstitution. Ce sont les

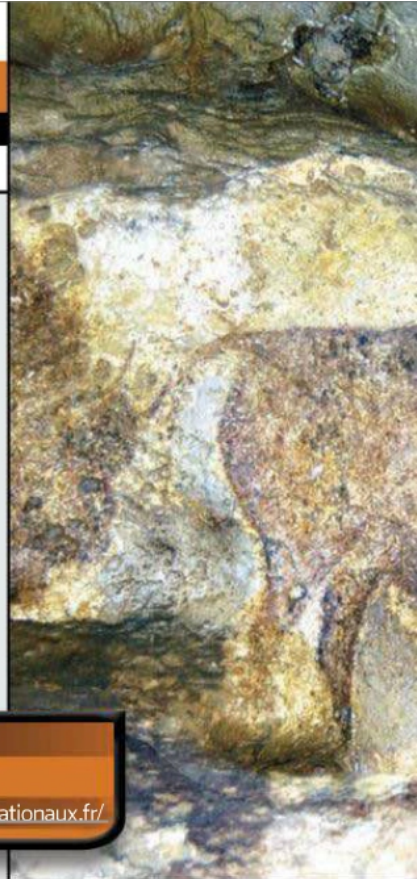
œuvres peintes par les mains de ces mystérieux hommes du passé : Font-de-Gaume, en Dordogne, est la seule grotte de France ouverte au public à présenter des œuvres aussi anciennes, comparables par leur richesse à celles de Lascaux (fermée aux visites) ou d'Altamira en Espagne (accès ultra-limité). L'art pariétal est ici à son sommet avec, notamment, un groupe de bisons dont les corps ressortent en relief grâce à l'illusion d'optique créée par la concavité de la grotte. Un effet ici

parfaitement maîtrisé. Plus loin, un couple de rennes, en noir et ocre rouge. Ils se font face, l'un dominant l'autre, énigmatiques. C'est l'une des plus belles scènes préhistoriques découvertes à ce jour dans le monde. Pour les admirer, il suffit de réserver car, afin de protéger ces merveilles, le nombre de visiteurs est limité.

EN PRATIQUE...

Tél. : 05 53 06 86 00

Site : <http://eyzies.monuments-nationaux.fr/>



LA BASE DE KOUROU (GUYANE)

Par Yves Sciamma

Assister à l'envol d'une fusée Ariane

Les plus chanceux – ceux qui seront en Guyane au bon moment et qui auront été assez rapides pour obtenir une place – en seront éblouis : éprouver le suspense du

compte à rebours, voir la fusée s'élancer, suivre des yeux son aveuglante traîne, ressentir sa puissante vibration qui fait trembler, plusieurs minutes durant, les bâtiments... Inoubliable ! Bonne nouvelle : plusieurs lanceurs prendront envol cet été (le 28 juillet, le 11 septembre et fin septembre). Mais même en dehors de ces moments d'exception, la visite du Centre spatial guyanais reste une expérience unique, un véritable hommage au génie humain. Passer au pied des 52 m d'une Ariane 5 en cours d'assemblage, voir les équipes d'ouvriers, telles des fourmis

de blanc vêtues, s'affairer sur les immenses ponts roulants et songer qu'une erreur d'un seul d'entre eux provoquera la destruction instantanée du fruit de dizaines de milliers d'heures de travail... voilà qui laisse une impression profonde. Comme la visite du pas de tir, colosse de béton flanqué de quatre interminables paratonnerres (la foudre des orages tropicaux est la hantise des ingénieurs spatiaux), creusé de trois immenses tunnels d'évacuation des gaz d'échappement, dont le gigantisme reflète les puissances mises en jeu pour projeter 750 t à 200 km du sol en quelques minutes. Grâce à la qualité des guides, les visites sont elles aussi passionnantes, pour le néophyte comme pour les visiteurs plus pointus.

EN PRATIQUE...

Tél. : 05 94 32 61 23

Site : www.cnes-csg.fr



LE PENDULE DE FOUCAULT (75)

Réaliser que la Terre

D'abord, il faut oublier les imposantes colonnes néoclassiques du Panthéon, ses sculptures monumentales... pour focaliser son attention sur une petite boule dorée qui se balance au bout d'un long fil fixé au sommet de la nef. Le sens caché de cette mise en





Par Mathilde Fontez

tourne sur elle-même

scène désuète, avec ce cadran de contreplaqué imprimé de chiffres noirs, ne se dévoile pas tout de suite. Le balancement monotone de ce métro-nome géant se décale lentement vers la gauche. C'est alors que surgit l'évidence: ce n'est pas le balancement qui

se décale... mais le sol du Panthéon qui défile sous le pendule car le plan d'oscillation, lui, reste fixe, ne subissant que l'action de la gravité sur la boule métallique. Aucune force ne pouvant agir de côté, le décalage est donc dû à la rotation de la Terre sur elle-même, et ce pendule en est la première preuve, apportée par le physicien Léon Foucault. "Vous êtes invités à venir voir tourner la Terre!", clamait-il en 1851, attirant le Tout-Paris. L'invitation tient toujours. Vertige garanti. Mais pour l'explication et le récit historique, c'est au Musée des arts et métiers qu'il faut aller.



EN PRATIQUE...

Tél.: 01 44 07 32 23

Site: www.arts-et-metiers.net

ET AUSSI...

VIVRE L'ATERRISSAGE SUR MARS (31)

A ne pas rater, à la Cité de l'Espace de Toulouse, le 6 août à 6h15, l'atterrissage de *Curiosity* sur Mars (voir p. 64) en direct de la Nasa. Jamais un engin, aussi gros qu'une voiture et aussi fragile qu'un œuf, n'aura accompli une telle mission... Si elle réussit. Suspense garanti. Les spécialistes français qui ont travaillé sur le rover seront sur place et leurs collègues américains en ligne. Une exposition consacrée à l'exploration de Mars et une maquette de *Curiosity* à l'échelle seront aussi proposées.

• Tél.: 0820 377 223. Site: www.cite-espace.com

VISITER UNE CENTRALE NUCLÉAIRE

A l'occasion de journées particulières (journées du patrimoine, fêtes de la science, etc.), il est possible de pénétrer jusque dans le bâtiment du réacteur d'une centrale nucléaire. Dosimètre fourni à l'entrée. Les centrales sont accessibles toute l'année aux scolaires.

• Site: <http://energie.edf.com/nucleaire/visiter-nos-centrales-83749.html>

VOYAGER DANS LA PRÉHISTOIRE (24)

Tout près de Font-de-Gaume (voir ci-contre), nombre de sites sont ouverts au public dans la vallée de la Vézère. Le Périgord regorge de grottes et d'abris préhistoriques (dont Lascaux), prétextes à de très belles randonnées.

• Pôle international de la préhistoire, Les Eyzies-de-Tayac. Tél.: 05 53 06 06 97. Site: www.pole-prehistoire.com

TOUT SAVOIR SUR L'UNIVERS (32)

Pendant la semaine du festival d'astronomie de Fleurance, dans le Gers (du 4 au 10 août), on peut tout apprendre en compagnie de quelques stars du domaine sur le ciel, les galaxies, les planètes, les étoiles. Et aussi les observer soi-même.

• Site: www.festival-astronomie.com

SUIVRE LA PISTE D'UN DIPLODOCUS (01)

Près de Bellegarde, dans l'Ain, sur un chemin de débordage, l'affleurement des calcaires du Jurassique supérieur porte les traces de pas de dinosaures géants. Toutes sortes d'animaux ont laissé ici leurs empreintes il y a 150 millions d'années. Le site est ouvert l'été.

• Site: www.dinoplagne.com



EN PRATIQUE

QUESTIONS RÉPONSES



Pourquoi les requins se sont-ils mis à attaquer l'homme?

Cette question vous a sûrement été inspirée par la série d'attaques très médiatisées survenues l'été dernier en différents points du globe, et dont l'une a provoqué la mort de l'ex-champion de France de bodyboarder, Mathieu Schiller, le 19 septembre à la Réunion. Pour expliquer cette montée en flèche des agressions, les scientifiques avancent quatre hypothèses, potentiellement complémentaires. Dont aucune ne penche pour une modification du comportement des squales. Ceux-ci ne seraient en effet pas devenus plus agressifs. C'est plutôt le comportement des humains qui aurait modifié l'environnement des requins. Les

Question de Samia Adouane, Paris 11^e

chercheurs évoquent ainsi l'augmentation de la fréquentation des bords de mer, l'apparition de pratiques touristiques à risques, la surpêche et, de manière indirecte, le réchauffement climatique.

DES LITTORAUX DE PLUS EN PLUS FRÉQUENTÉS

Selon l'International Shark Attack File, les attaques de requins ont énormément augmenté depuis 2008, passant de 52 dans le monde (4 morts) à 75 en 2011, dont 12 mortelles. Quant à 2012, on compte déjà 27 attaques, dont 3 fatales. *"Si les Etats-Unis continuent à être en tête (36 attaques en 2011), devant l'Australie (15) et l'Afrique du Sud (10), on recense aussi désormais beaucoup d'agressions dans des régions où les squales n'avaient jamais été signalés (Extrême-Orient russe) ou rarement, comme à la Réunion"*, précise Eric Stephan, chercheur à l'Association pour l'étude et la conservation des séliaciens.

Ce phénomène serait avant tout dû à l'augmentation de la fréquentation des bords de mer par les touristes, les baigneurs, les surfeurs, les plongeurs... *"Comme il y a de plus en plus de personnes*

sur les littoraux, grâce notamment à la popularisation des vacances à la mer, cela a multiplié les occasions de rencontre entre hommes et requins et, par conséquent, le risque d'accidents", précise Bernard Seret, spécialiste des requins au Muséum national d'histoire naturelle.

Second facteur évoqué : l'explosion de pratiques à risques comme le *shark feeding*, qui consiste à appâter et nourrir les requins pour les voir de près. Des pratiques qui conduisent les animaux à s'aventurer près des baigneurs. *"L'augmentation des attaques sur les côtes de la mer Rouge serait essentiellement due à ce facteur"*, indique Bernard Seret. Dans cette zone, est également mise en cause la surpêche, pour leur aileron, des requins côtiers non agressifs (requin gris, requin pointe-noire). Ce qui aurait permis à des espèces océaniques plus dangereuses, comme le requin blanc, de s'approcher des terres. *"Cette migration a été facilitée par les profondeurs, appréciées des requins blancs, importantes dans la mer Rouge, même près des côtes"*, explique le chercheur. Mais la surpêche des proies →



⚠ Pratiques à risques et surpêche attirent les grands squales près des côtes (ici, un requin blanc) : les Etats-Unis ont connu 36 attaques en 2011.



→ naturelles des requins serait aussi une explication : calamars, gros poissons (thons, marlins, raies)...

"La surpêche entraînerait une raréfaction des proies dans les milieux naturels de ces requins. Doués d'un odorat très développé (le requin longimane peut repérer ses proies à des kilomètres), les squales s'approcheraient des côtes", détaille Bernard Seret. Ce qui expliquerait notamment l'explosion des attaques aux Etats-Unis et en Afrique du Sud. Inversement, à la Réunion, certains évoquent la création, en 2007, d'une réserve sous-marine qui se repeuple en poissons, ainsi que la réintroduction de tortues, véritables gourmandises pour les requins...

ET LE RÉCHAUFFEMENT ?

Enfin, dernière hypothèse : le réchauffement climatique global. *"L'augmentation de la température des eaux d'un ou deux degrés entraînerait une migration des populations de requins vers des zones où on ne les rencontrait pas avant",* précise

Eric Stephan. Ce qui serait à l'origine de l'augmentation des attaques dans l'Extrême-Orient russe. Bernard Seret n'y croit pas : *"Les requins sont tout à fait capables de s'adapter à une augmentation de la température de l'eau de quelques degrés."* Selon lui, un impact indirect est plus crédible : les requins migreraient pour suivre leurs proies, plus sensibles, elles, aux variations de température. Reste qu'à ce jour, les chercheurs ne connaissent aucun exemple permettant de valider cette thèse.

On en saura plus, en tout cas sur le problème réunionnais, dans deux ans et demi, quand l'Institut de recherche pour le développement récoltera les résultats d'une opération de marquage et de suivi des requins-tigres et bouledogues (projet CHARC). Mais, dès cet été, la Réunion, marquée par 5 attaques en 2011, a créé 25 postes de "vigies requins" et posé des filets amovibles à 100 m du rivage... **K.B.**

QUELQUES PRÉCAUTIONS POUR ÉVITER LES REQUINS

- Ne pas se baigner seul : la plupart des attaques sont dirigées contre des individus isolés.
- Éviter de se baigner au lever, au coucher du soleil et la nuit, quand les requins sont les plus actifs.
- Ne pas entrer dans l'eau si vous saignez (blessure, menstruations), car les requins ont un odorat très fin.
- Éviter les bijoux brillants qui, en rappelant des écailles de poisson, peuvent vous faire passer pour une proie.
- Éviter les eaux troubles, riches en matière organique.
- Ne pas porter de vêtements aux couleurs vives : elles attirent certains requins
- Ne pas nager à côté d'animaux familiers : le rythme saccadé de leur nage pouvant être interprété comme un signal de détresse par un squal.



Un matériau sera plus dur si ses atomes partagent des électrons...

La liaison covalente, qui consiste en un partage d'électron entre atomes, est la plus forte des liaisons. Organisés ensuite en un réseau compact de mailles (ci-dessous), ces atomes formeront un matériau très dur : le diamant.

Organisation des atomes de carbone à l'intérieur d'un matériau dur (diamant)

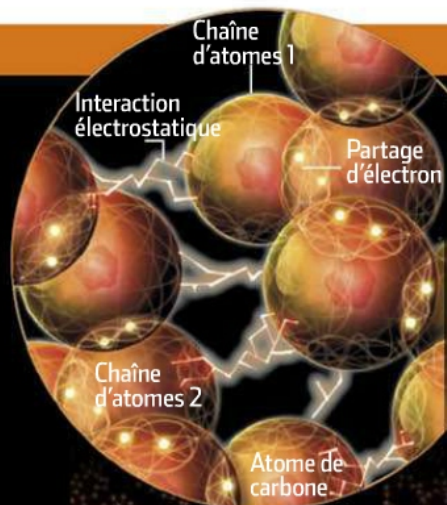
Qu'est-ce qui fait qu'un matériau sera dur ou mou ?

Question de Stéphane Schmidt, Peymeinade (06)

Tout dépend de la disposition que ses atomes adoptent les uns par rapport aux autres et des liens qui les unissent. Ces liaisons sont plus ou moins fortes selon leur nature, laquelle est déterminée par les conditions dans lesquelles le matériau s'est formé (température, pression...). Ainsi obtiendra-t-on avec des atomes de carbone un matériau plus ou moins dur (diamant ou graphite). *"Ces liaisons peuvent être assimilées à des ressorts plus ou moins raides qui relient les atomes",* résume Alfonso San Miguel, directeur du Laboratoire de physique

de la matière condensée et nanostructures du CNRS à Lyon. Si les chimistes en distinguent une dizaine, certaines sont plus fréquentes.

Les deux plus fortes sont la liaison covalente, par laquelle deux atomes partagent un électron, et la liaison métallique (fer, aluminium...), qui réunit les atomes par la mise en commun d'électrons libres. Vingt fois plus faible qu'une liaison covalente, la liaison hydrogène relie des molécules contenant des atomes d'hydrogène (eau, tissus biologiques...) par interaction électrostatique, un phénomène comparable à



... et plus mou si ses liaisons sont électrostatiques

Les atomes forment ici des chaînes très solides grâce aux électrons qu'ils partagent. Mais ces chaînes ne s'assemblent que par interaction électrostatique. Ces liaisons plus faibles donnent sa souplesse au matériau.

Organisation des atomes de carbone à l'intérieur d'un matériau mou (caoutchouc)

l'attraction entre deux charges électriques. La liaison de van der Waals, elle-même encore dix fois plus faible, est une interaction électrostatique due à la fluctuation de charge des électrons.

COMME DES SPAGHETTIS...

Un même matériau pouvant abriter plusieurs types de liaisons, il sera d'autant plus dur qu'il a peu de liaisons faibles. Et ces liaisons seront d'autant plus fortes qu'elles sont courtes, sachant que la distance interatomique dépend des atomes : celle-ci est ainsi de 1,54 angström entre deux atomes de carbone dans le diamant, contre 2,28 entre ceux du brome. Mais la rigidité dépend aussi de leur disposition : ordonnés en un réseau compact de mailles, les atomes forment des solides. La géométrie tubulaire d'un nanotube de carbone rend ainsi ce matériau plus rigide dans le sens de la longueur. Inversement, dans les matières molles comme les polymères (gommes, résines...), les longues chaînes d'atomes sont organisées

comme des spaghettis dans un plat, ce qui rend ces matériaux plutôt mous, alors que les liaisons atomiques y sont fortes.

Mais au fait, qu'entend-on par dureté ? En physique, la rigidité d'un matériau se mesure en calculant le "module de Young", c'est-à-dire la pression à exercer pour allonger le matériau jusqu'à deux fois sa longueur initiale. Pour le diamant, cette valeur est de 1 000 gigapascals (GPa), contre 200 pour l'acier, 3 pour le polystyrène et moins de 0,1 pour le caoutchouc. Mais la rigidité d'un polymère pourra varier selon la température, alors que celle-ci a peu d'impact sur les métaux. Ainsi, sous -70°C , les molécules du caoutchouc se figent et s'organisent comme dans un solide. Enfin, la dureté d'un matériau sera également fonction de la vitesse à laquelle on le sollicite : ainsi l'eau paraît-elle molle quand on y plonge un doigt, mais dure quand on y tombe de haut, le temps que ses molécules se déplacent. **P.-Y.B.**

Est-ce que l'hymen sert à quelque chose ?

Question de Carbel Kanal, Liban

Physiologiquement, à rien. Cette membrane, située 1 à 2 cm à l'intérieur du vagin, et qui l'obture en partie, est l'objet de nombreuses interrogations, et d'autant nombreux fantasmes. Car si elle est percée d'un orifice par lequel s'écoule le sang menstruel, elle sera déchirée (et l'ouverture élargie) lors du premier rapport sexuel. Cet événement marque, dans beaucoup de cultures, la perte de la virginité. Il faut cependant savoir que l'hymen peut aussi se déchirer spontanément lors de certains mouvements, ou qu'il peut être suffisamment souple ou ouvert pour ne pas se déchirer lors d'un premier rapport. Contrairement à une idée assez répandue, il ne fait pas office de barrière contre les infections vaginales, très courantes chez les petites filles. Au contraire, chez les jeunes enfants, l'hymen peut être à l'origine d'infections : lors de la miction, l'hymen s'ouvre sous l'effet de la relaxation des sphincters. L'urine, qui a pu

pénétrer dans le vagin (mal protégé par des lèvres trop petites), est retenue par l'hymen et stagne dans le repli de peau. Une infection pourra alors s'y développer.

UN BIEN CURIEUX VESTIGE

Inutile du point de vue physiologique, l'hymen n'a été conservé au cours de l'évolution que chez peu de mammifères, *a priori* très disparates : baleines, chimpanzés, cobayes, éléphants, lamas, porcs, rats... Il ne serait finalement qu'un vestige du développement de l'embryon. Le vagin se construit en effet à partir de la 13^e semaine de développement embryonnaire, quand les tissus qui ferment le bas du corps (le plancher pelvien) se percent d'un orifice chez l'embryon masculin (l'anus), et de deux orifices chez l'embryon féminin. Ce deuxième orifice constituera la vulve. Mais le plancher pelvien ne s'ouvre pas totalement ; il reste une fine membrane, l'hymen, qui se perforera peu après la naissance. **A.D.**

GAGNEZ UN ABONNEMENT D'UN AN À SCIENCE & VIE

Cette rubrique est la vôtre, écrivez-nous !

Nous ne pourrions répondre à toutes et à tous, mais les auteurs des questions que la rédaction sélectionnera se verront offrir un abonnement d'un an à Science & Vie (pour eux-mêmes ou pour une personne de leur choix). La question doit impérativement être rédigée sur une carte postale.

SCIENCE & VIE, QUESTIONS/RÉPONSES

8, rue François-Ory, 92543 MONTRouGE CEDEX.

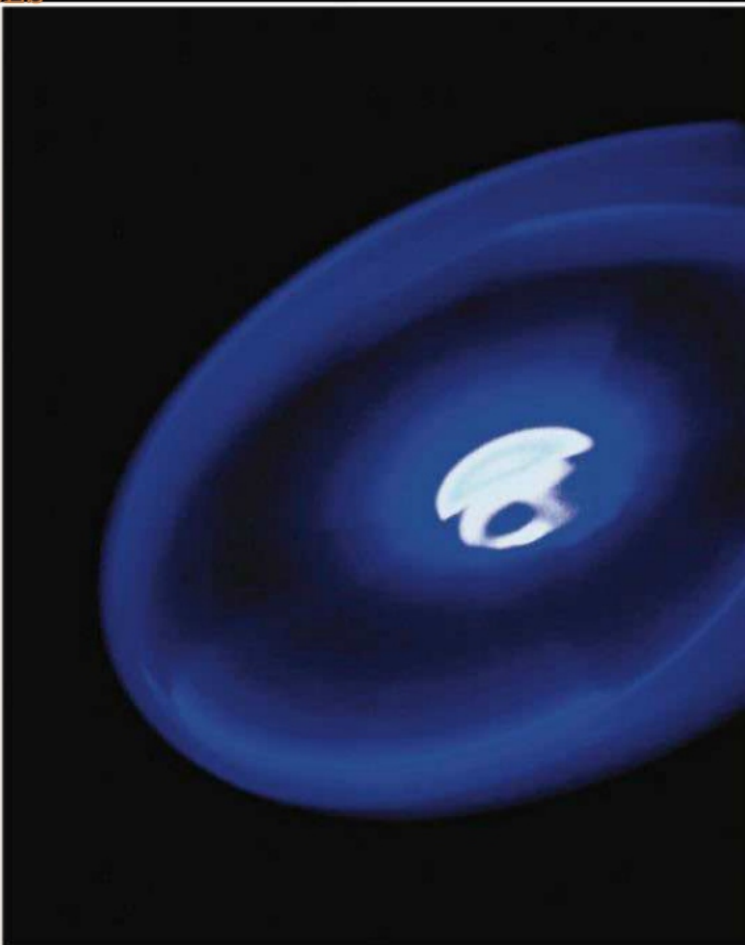


Comment le frisbee peut-il voler ?

Question de Geoffroy Canadas, Carpentras (84)

Si le frisbee vole mieux sur de longues distances qu'une feuille de papier ou qu'une boîte à pizza, c'est à son design qu'il le doit. Sa suspension est d'abord assurée par un effet aérodynamique. Son tranchant, arrondi vers le bas et rigide, se déplace en séparant l'air en deux : le flux poussé sous le disque le porte vers le haut, tandis que l'air qui s'écoule au-dessus n'exerce qu'une faible pression vers le bas parce qu'il y circule plus librement. Le résultat de ces deux forces est appelé la "portance". Mais si vous jetez le frisbee sans le faire tourner, votre lancer fera un flop car la rotation

est essentielle à sa stabilité en vol. En effet, sous l'effet de la rotation, la portance s'exerce successivement sur chaque point de la surface du disque, faute de quoi, elle ne soulève que l'avant et le fait basculer. Les rainures gravées sur le rebord supérieur augmentent la surface de contact avec l'air et créent de minuscules turbulences qui renforcent l'appui sur l'air, ce qui allonge la portée du tir. Lorsque le frisbee ralentit sous l'effet du frottement avec l'air, la portance diminue mais l'engin plane encore, maintenant sa stabilité tant qu'un minimum de rotation subsiste. **G.S.**



N'est-il pas étrange de voir si bien sous l'eau avec un masque ?

Question de Lea Charret, Yvrac (33)

C'est vrai : en ménageant une zone d'air devant les yeux, le masque permet à ceux-ci de voir comme s'ils étaient hors de l'eau ; mais cela ne vaut qu'en termes de netteté, car ce n'est pas le cas pour ce qui concerne les distances, la taille et le champ de vision. Et pour cause : il faut savoir que si la lumière se propage en ligne droite dans l'espace, sa direction se modifie lorsqu'elle

franchit la surface séparant deux milieux transparents différents (comme la cornée qui sépare l'air et l'intérieur de notre œil). Ce phénomène de déviation est appelé "réfraction". Il explique notamment pourquoi, lorsqu'on plonge un bâton dans l'eau, la partie immergée semble former un angle avec la partie émergée.

La réfraction que produit notre œil est parfaitement

adaptée à la vision dans l'air : sa "puissance réfractive" est de 46 dioptries (unité de mesure du pouvoir de réfraction), telle que les rayons provenant du champ visuel sont déviés par la cornée (membrane bombée située devant l'œil) et le cristallin (lentille optique située derrière l'iris) de façon à focaliser l'image sur la partie centrale de la rétine. L'image ainsi formée est d'une grande netteté. Cet équilibre optique est rompu quand l'eau se trouve au contact de

l'œil. La nouvelle interface œil-eau entraîne une diminution de plus de 85 % de la puissance réfractive de l'œil, qui chute à 5 dioptries. Du coup, l'œil ne focalise plus les rayons lumineux sur la rétine, mais à l'arrière de celle-ci. La vision est dès lors très floue, c'est ce que l'on appelle "l'hypermétropie". Ce que le masque ou les lunettes de natation corrigent en recréant l'interface air-cornée.

Cependant cette correction se fait au prix de

Pourquoi se met-on à crier quand on a mal?

Les scientifiques ne le savent pas précisément, mais ils avancent pourtant trois grandes hypothèses... peut-être complémentaires: le cri de douleur servirait à prévenir qu'on est menacé afin qu'il nous soit porté secours; à se défendre, en effrayant et faisant fuir l'agresseur, ou en lui signifiant d'arrêter son geste, et/ou, enfin, à soulager la douleur.

Concernant la théorie du cri comme moyen de communication, en 2003, une équipe canadienne menée par Michael Sullivan a montré sur 64 volontaires que les cris sont plus longs lorsqu'ils sont émis en présence d'autres personnes; ce qui soutient l'idée que la vocalisation de la douleur a

Question de Luc Mathieu, Paris 13^e

pour but d'attirer l'attention afin de se faire aider. En revanche, l'hypothèse selon laquelle le cri soulagerait la douleur suppose que crier déclencherait, *via* des mécanismes encore inconnus, la libération de substances neuronales calmantes (enképhalines, endorphines...).

UNE PROTECTION RÉFLEXE

De manière générale, crier est une réponse de protection réflexe à la douleur, au même titre que le retrait de la main quand on se brûle. Mais, *"contrairement au réflexe de retrait, le cri est émis lors des douleurs perçues comme fortes, rarement lors*

de douleurs faibles", précise Radhouane Dallel, chercheur en neurobiologie de la douleur à Clermont-Ferrand.

Mais face à une même douleur, on ne crie pas tous et pas toujours. Et pour cause: *"La perception de la douleur est très subjective; selon notre vécu ou notre état psychologique du moment, on ne ressent pas une douleur donnée de la même façon que son voisin, ni de la même façon que la veille."* Enfin, le cri de douleur n'est pas l'apanage de l'homme: les animaux capables d'émettre des vocalisations (chiens, rongeurs...) "crient" aussi lorsqu'ils ont mal. **K.B.**

▲ Sa forme permet au frisbee de voler, mais c'est sa rotation qui assure sa stabilité en vol.

certains inconvénients. Ainsi, la zone d'air piégée devant nos yeux par le masque fausse la perception des distances: les objets paraissent plus près de 25 % qu'ils ne le sont en réalité. Ils semblent aussi plus gros de 30 %. Conséquence: si un requin vu à travers un masque paraît être à 4 m et faire 3 m de long, en réalité il est à 5 m et sa taille n'est que de 2 m... Enfin, le port du masque réduit le champ de vision de chaque côté et en haut et en bas. Ainsi, le champ visuel qui est de 130° à la verticale et 180° à l'horizontale est, dans l'eau avec un masque, inférieur à un angle de 97°. **K.B.**



◀ L'air piégé dans le masque permet de voir aussi net que hors de l'eau, mais au détriment de l'appréciation de la taille et des distances.



EN PRATIQUE

TECHNOFOLIES

La première berline avec airbag piéton

Sous le capot de cette voiture : un airbag qui se déploie sur le pare-brise en 0,3 s en cas de collision avec un piéton. Une première mondiale, qui pourrait sauver des milliers de vies.

Amortir les chocs que subissent les piétons renversés par une voiture grâce à un airbag se déclenchant à l'extérieur du véhicule : telle est la prouesse réalisée par Volvo avec sa nouvelle berline compacte, la V40. Une

première mondiale qui tombe à pic, puisqu'en dépit des campagnes de sécurité routière qui se sont multipliées ces dernières années, les piétons continuent à payer un lourd tribut sur la route. En Europe, environ 8 000 personnes décèdent chaque année percutées par un véhicule... Soit pratiquement 20 % des tués sur la route – ce pourcentage pouvant même doubler en ville.

La Commission européenne pousse donc les constructeurs à améliorer leurs carrosseries et à intégrer des systèmes innovants, tels les détecteurs de piétons. C'est dans ce contexte que Volvo a étudié la mise en place d'un airbag piéton. "D'après les statistiques, les blessures les plus graves, celles à la tête, ont lieu en haut du capot et du pare-brise. Dès la fin des années 1990, nous avons donc réfléchi à un dispositif de protection", explique Rikard Fredriksson, directeur du département de recherche en biomécanique chez Autoliv, spécialiste des

Volvo V40 diesel

Longueur/largeur/hauteur :
4,37/2,04/1,45 m

Type : 4 cylindres en ligne, diesel
Moteur : 1,6 litre, 115 ch (D2)

3 DATES CLÉS

1953

L'ingénieur américain John Hetrick dépose un premier brevet pour un "coussin de sécurité" pour automobile.

1973

La Toronado de la marque américaine Oldsmobile est la première voiture de série équipée d'un airbag, pour le passager avant uniquement.

2001

Le manufacturier suédois Autoliv, spécialisé dans la sécurité pour le secteur automobile, présente au Salon de Francfort le premier prototype d'airbag piéton.



systèmes de sécurité pour l'automobile, qui s'est associé sur ce sujet avec le fabricant suédois en 2006.

Dès 2001, un premier prototype était présenté au Salon automobile de Francfort, avec deux airbags. Un modèle peaufiné pour aboutir à la version actuelle, équipée d'un seul coussin gonflable, déclenché par des capteurs intégrés aux pare-chocs. Le principe ? La V40 dispose d'un système de détection

de piétons (radar et caméra sur le rétroviseur), capable d'actionner un freinage automatique si le conducteur ne réagit pas. Ce système fonctionne quand la voiture roule entre 20 et 50 km/h : au-delà, la distance de freinage devient telle que la sécurité du piéton n'est plus garantie. D'où le dispositif d'airbag : quand le choc est inévitable, des capteurs situés dans le pare-chocs avant détectent la nature de



Un airbag ultrarésistant

Spécialement conçu pour l'extérieur de l'habitacle et très solide, il recouvre le tiers inférieur du pare-brise ainsi que ses montants latéraux, très durs.

Comment ça marche ?

Quand le système de freinage automatique ne suffit plus, la détection d'une collision avec un piéton par des capteurs déclenche l'ouverture d'un vaste airbag, replié sous le capot mobile.

Un capot actif

Ses charnières sont équipées d'un mécanisme qui donne du jeu à la fixation (voir ci-dessous). En cas de choc, le gonflage de l'airbag soulève la tôle qui se décolle du bloc-moteur et joue alors le rôle d'amortisseur de chute.

En position normale

Fixation au châssis

POSITION OUVERTE

Fixation au capot

Au moment de l'impact

L'ARRIÈRE DU CAPOT SE SOULÈVE

POSITION FERMÉE

Sept capteurs

Sept accéléromètres, positionnés dans le bouclier avant, détectent le choc. L'électronique de bord détermine la nature de l'obstacle (s'agit-il d'un piéton ?) en mesurant sa vitesse de déplacement.

300 ms pour se déployer

Au moment de la collision, l'airbag est libéré. En se gonflant, il soulève le capot et se déploie sur le pare-brise. À peine 300 millisecondes plus tard, quand le piéton heurté bascule sur la voiture, sa tête retombe sur le coussin amortisseur : le risque de blessures mortelles est donc limité.



l'obstacle en mesurant sa vitesse de déplacement. Et s'il s'agit bien d'un piéton, l'airbag se déclenche en seulement 300 millisecondes.

OBJECTIF : - 85 % DE TUÉS

Thomas Broberg, spécialiste de la sécurité chez Volvo, détaille le dispositif : "En se gonflant, l'airbag va soulever le haut du capot d'une dizaine de centimètres, afin d'éloigner la carrosserie du bloc-moteur et de créer une

zone d'amortissement. Capot bloqué, le coussin continue sa course et sort, recouvrant la partie inférieure du pare-brise et les montants latéraux. Le conducteur continue à voir ce qui se passe devant lui, car seul un tiers du pare-brise est couvert." Pour mettre ce dispositif au point, les ingénieurs ont conçu un airbag spécifique dédié à l'extérieur de l'habitacle, c'est-à-dire capable de résister à de grandes variations

de température. Ce coussin devait, de surcroît, pouvoir soulever le capot et résister à une force équivalente à 10 kilonewtons (soit la pression d'une tonne) lors de l'impact. D'où la fabrication d'un tissu ultrarésistant.

Verdict ? D'après Volvo, le coussin gonflable répond déjà aux meilleurs critères de l'organisme international Euro NCAP en matière de chocs à la tête pour les piétons. Grâce à lui, le

constructeur espère sauver la vie de piétons dans 85 % des cas où ils auraient probablement été tués ! Bonne nouvelle : cette nouveauté pourrait à l'avenir équiper d'autres modèles de la marque, à commencer par les carrosseries les plus compactes. Avant, sans doute, d'essayer chez les autres constructeurs... **E.T.-A.**

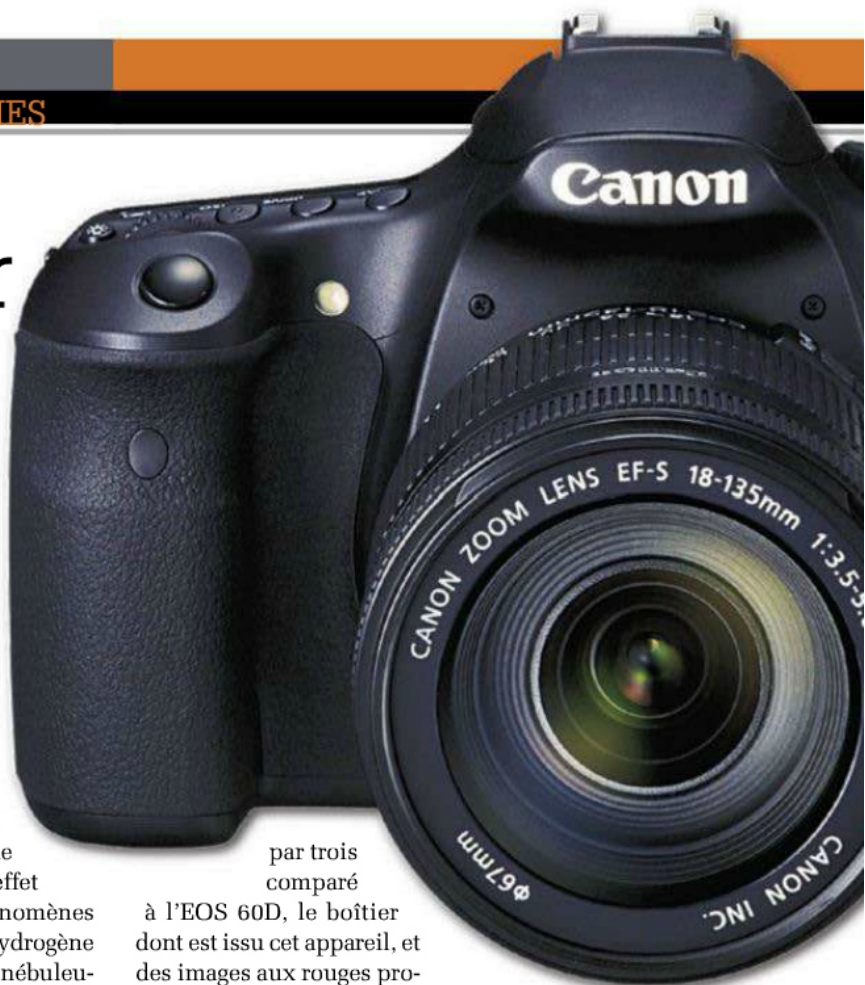
Prix : à partir d'environ 25 000 € (essence et diesel)
Rens. : www.volvocars.com/fr



Un reflex pour tutoyer les étoiles

Un reflex capable de restituer au mieux les ciels étoilés... voici ce que propose le fabricant Canon avec son nouvel appareil, l'EOS 60Da. Pour cela, le reflex embarque un nouveau filtre dit "passe-bas" dédié à cette utilisation. Pour rappel, sur un appareil photo numérique classique, le capteur est placé derrière un filtre qui permet de bloquer les rayons infrarouges afin d'éviter les artefacts. Or, en astrophotographie, ces rayons permettent de mieux repérer les phénomènes interstellaires. C'est pourquoi l'EOS 60Da comporte un filtre modifié, trois

fois plus transparent à la lumière "hydrogène alpha" – une raie d'émission particulière de l'hydrogène, de 656,3 nanomètres, bien connue des astrophotographes. Situé dans la partie rouge du spectre visible, l'hydrogène alpha permet en effet de repérer les phénomènes d'ionisation de l'hydrogène à l'œuvre dans les nébuleuses diffuses. Résultat : une qualité d'enregistrement de ces phénomènes multipliée



par trois comparé à l'EOS 60D, le boîtier dont est issu cet appareil, et des images aux rouges profonds. Ce nouveau boîtier embarque aussi un capteur CMOS de 18 millions de

pixels ainsi qu'un processeur DIGIC 4 de 14 bits, permettant

L'ordinateur qui veille à votre confort



▲ C'est sa webcam qui donne l'alerte en cas de mauvaise posture prolongée.

Le moniteur ErgoSensor 241P4LRYES de Philips pense à votre santé. Au sommet du cadre, une webcam enregistre en permanence en basse définition votre posture, lorsque vous utilisez le clavier. Si vous gardez une mauvaise position pendant plusieurs minutes (trop loin ou trop près de l'écran, tête penchée sur le côté), l'écran affiche un message d'alerte. Et toutes les heures, il vous conseillera de faire une pause ! Ces recommandations se présentent sous la forme de pictogrammes affichés en bas de l'écran. Si vous vous absentez un certain temps, le moniteur (24 pouces, 1920 x 1080 pixels) s'éteint automatiquement. En outre, un commutateur vous permet au besoin de couper entièrement son alimentation. Dommage que les haut-parleurs intégrés ne servent pas aussi à donner des conseils vocaux aux malvoyants. **Ph.R.**

Prix : env. 360 €. Rens. : www.philips.fr



▼ L'appareil est conçu pour capter les rayons infrarouges, indispensables pour photographier les phénomènes interstellaires.



de réaliser des prises de vue détaillées même avec des sensibilités ISO élevées (valeur maximum de 6400 ISO, extensible à 12800 ISO). L'appareil est équipé d'un écran orientable de 7,7 cm, maniable même quand il est fixé à un télescope. Enfin,

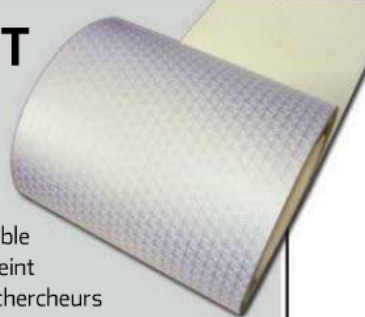
en option: la télécommande à intervallo-mètre permet de prendre des photographies à intervalle régulier. Utile notamment pour réaliser des animations accélérées des ciels de nuit.

E.T.-A.

Prix: env. 1400 €. Rens.: www.canon.fr

LE COIN DES PROTOTYPES

LE PAPIER PEINT ANTI-ONDES



Protéger votre domicile des ondes du voisinage ou empêcher vos voisins de se connecter à votre réseau... ce sera bientôt possible grâce au Méta-papier, un papier peint que sont en train de finaliser les chercheurs grenoblois du Centre technique du papier. Ce support est en effet capable, selon les modèles, de réfléchir soit les ondes wi-fi, soit celles des téléphones portables, mais tout en laissant passer les ondes radio (FM). Fait de composants électroniques – directement imprimés sur le papier à l'aide d'une encre spéciale – entre lesquels circule un très faible courant, le revêtement filtre jusqu'à 99 % de la puissance des ondes incidentes. Sauf à se trouver à proximité d'une antenne, une seule couche suffit donc à isoler le logement du bain d'ondes dans lequel il baigne. Bon à savoir: il peut également être recouvert d'un papier peint standard si le motif unique n'est pas de votre goût. La commercialisation est prévue d'ici à un an.

G.S.

Rens.: www.webctp.com.

LA PREMIÈRE SERINGUE SANS AIGUILLE

Les patients ayant la phobie des aiguilles pourront bientôt s'injecter eux-mêmes des traitements. C'est la promesse de Zeneo, une seringue sans aiguille, conçue par la société française Crossject. Un système simple d'utilisation, puisqu'il suffit de retirer l'embout vert et de presser l'instrument contre la peau pour administrer le produit. Vu de l'intérieur, un piston doté d'un générateur de gaz vient pousser le médicament dans plusieurs petits orifices, dont le nombre et le diamètre varient selon le volume du liquide et sa viscosité, tandis que la pression dépend, elle, du mode d'injection souhaité (intradermique, sous-cutané ou intramusculaire). Le liquide perce alors la peau du simple fait de la vitesse acquise, grâce à la poussée par le piston. L'opération dure, selon les concepteurs, à peine 55 millisecondes. Zeneo est à usage unique et pré-rempli. Il sera proposé dans un premier temps aux laboratoires pharmaceutiques.

G.S.

Rens.: www.crossject.com



L'ENCEINTE QUI DIFFUSE LES ODEURS D'UN FILM

Parfum de lavande, senteur de poulet rôti... Les films vont gagner en réalisme grâce à "Odoravision", une enceinte de diffusion qui associe des odeurs à des scènes vidéo. Quarante mini-turbines reliées à autant de flacons odorants émettent des senteurs dans un rayon de 4 m. Une fois l'enceinte connectée en wi-fi à l'ordinateur sur lequel est lu le film, un logiciel dédié synchronise odeurs et séquences vidéo. Certains films fonctionnent déjà avec ce système, et la société Bordier Ingénierie peut encoder les autres. Le dispositif est une enceinte de 1,20 m, une table basse ou une dalle à fixer au plafond.

G.S.

Prix: de 1800 à 3500 €. Rens.: www.odoravision.com



Un projecteur chez soi digne des grandes salles de cinéma

Après avoir lancé en 2004 le premier vidéoprojecteur Full HD (1920 x 1080 pixels), Sony propose aujourd'hui quatre fois mieux: le tout premier modèle du marché (le VPL-VW1000ES) doté d'une résolution 4K (4096 x 2160, soit 8,8 millions de pixels). Une résolution réservée jusque-là aux appareils professionnels – très encombrants – des grandes salles de cinéma. Pour obtenir une taille domestique (64 x 52 x 20 cm) tout en conservant cette résolution 4K, Sony a réduit de moitié les panneaux LCD réfléchissants à l'intérieur (qui servent à projeter l'image en reflétant la lumière),

ainsi que le conduit d'aération. En attendant les films 4K (les premiers sortiront à la fin de l'année), un convertisseur transforme les contenus 1080 pixels tels que les films Blu-ray en version 4K, y

compris ceux en 3D. Il offre une luminosité de 2000 lumens (presque deux fois celle des modèles existants) pour un taux de contraste

exceptionnel de 1 000 000:1. Son niveau sonore est de 22 dB, ce qui équivaut à celui d'un petit vidéoprojecteur portable. **L.B.**

Prix: env. 19 000 €. Rens.: www.pro.sony.eu



La première planche de surf pliable et gonflable !



Finis le surf intransportable... sans voiture! Conçu par le designer français Thomas de Lussac, ce Surf Air est une planche



gonflable, développée grâce à la technique innovante du tissu tridimensionnel. Pour atteindre une rigidité et une étanchéité suffisantes, la planche est constituée de deux parois enduites d'un PVC (plastique) résistant aux ultraviolets et reliées entre elles par un entrecroisement de fils en polyester (un tous les 7 mm). Gonflé avec la pompe fournie, le Surf Air fait 2,05 m sur 58 cm, et 7 cm d'épaisseur et pèse 4,7 kg! **J.J.**

Prix: env. 490 €. Rens.: www.surfgonflable.com/

LA PLAQUE À INDUCTION DE TABLE

La plaque de cuisson conçue par Samsung se transporte facilement sur la table. Truffée de fonctions, comme l'alerte "ébullition", par exemple, qui émet un bip sonore lorsqu'il est temps de plonger les pâtes, elle fonctionne par induction, en produisant un champ électromagnétique. Seul bémol: dépourvue de batterie, elle nécessite d'être branchée à une prise électrique. **S.B.**

Prix: env. 400 €. Rens.: www.samsung.com/fr



LES CHEFS-D'ŒUVRE DU FILM DE GUERRE

UNE COLLECTION INÉDITE UNIQUEMENT DISPONIBLE PAR CORRESPONDANCE !

OFFRE DÉCOUVERTE

**2,95*
€
SEULEMENT !**

***FRAIS DE PORT
INCLUS!**

VOTRE OFFRE :

**20 films d'anthologie
et 20 livrets collector**

20 DVD D'EXCEPTION

- Les vrais chefs-d'œuvre du film de guerre, sélectionnés par la rédaction de *Guerres & Histoire*.

- Des films magistraux, rares, introuvables, et même parfois inédits en DVD !

20 LIVRETS COLLECTOR

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

• Infographies, interviews exclusives, analyses et dossiers complets... Un contenu inédit, fruit du savoir-faire de *Guerres & Histoire*.

**AVEC
CHAQUE DVD
1 LIVRET
COLLECTOR**

inédit en DVD

DVD + livret
MER CRUELLE
de Charles Frend (1953)

Nº1

COMMANDEZ VITE POUR NE RATER AUCUN NUMÉRO !

**Abonnez-vous
sans engagement**

DUR

**La collection
complète**

DU

Les volumes à l'unité

Commandez vite par internet

www.collection-guerresethistoire.com

ou sur **facebook** ou par téléphone au

02 77 63 11 59

en donnant le code promo :

MGHPO



ACTUELLEMENT EN KIOSQUE



EN PRATIQUE

CIEL DU MOIS

Par Serge Brunier

NORD

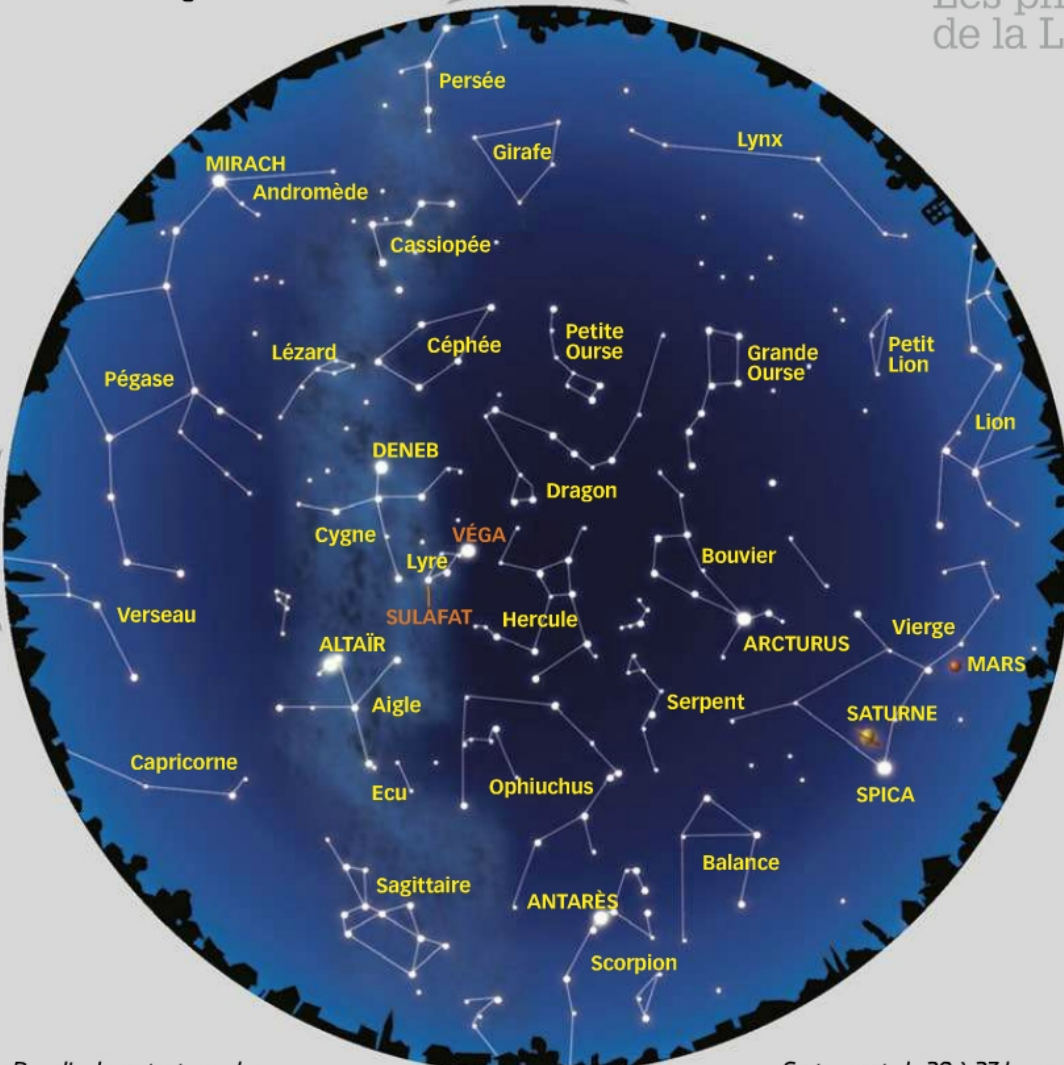
Les phases
de la Lune



EST

OUEST

SUD



Pour lire la carte, tenez-la
au-dessus de votre tête et
orientez le nord avec le nord
réel : les quatre points cardinaux
seront ainsi bien orientés.

Carte exacte le 20 à 23 heures

À NE PAS MANQUER... LE 15 JUILLET

Un spectacle exceptionnel aura lieu en fin de nuit et à l'aube, au-dessus de l'horizon nord-est : la Lune en croissant va éclipser Jupiter ! Visible à l'œil nu et aux jumelles, le phénomène commencera alors que la Lune sera proche de l'horizon, vers 3 heures du matin. Le bord éclairé de la Lune occultera la brillante planète, qui se libérera de l'autre côté, une heure plus tard. Vers 4 heures, les deux astres collés seront rejoints par l'éblouissante Vénus...

< A côté de la Lune, Jupiter. En bas, Vénus entrera dans le ballet après 4 h du matin.



▲ En bas à gauche de l'éblouissante Véga de la Lyre, l'étoile Sulafat sera bien visible à l'œil nu.

SULAFAT DE LA LYRE

Sulafat dessine le pied de la petite et spectaculaire constellation de la Lyre, dominée par l'éclatante Véga. En juillet, et aux latitudes boréales moyennes, cette étoile bien visible à l'œil nu passe exactement au zénith, entre minuit et 1 heure du matin.

Eloignée de 600 années-lumière, Sulafat est cinq fois plus massive, quinze fois plus grande et deux mille fois plus brillante que le Soleil. Cette étoile géante bleue née voici 100 millions d'années environ, va très vite évoluer vers le stade de géante rouge, qu'elle atteindra dans 200 000 ans, avant d'expulser – dans une vingtaine de millions d'années – une grande partie de sa masse et de s'éteindre lentement, sous son dernier avatar de naine blanche...



Retrouvez la chronique "Du côté des étoiles" sur France Info

tous les samedis et sur www.france-info.com

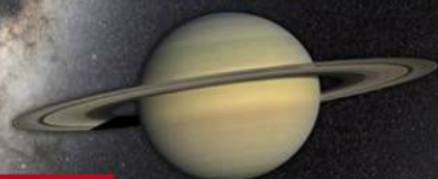
MISE À JOUR
VERSION 2.0

ENCORE + DE CONTENU

LA PLUS PUISSANTE ET LA PLUS COMPLÈTE APPLICATION SUR LE CIEL

skypix®

Carte du ciel • actu • encyclopédie



EXCLUSIF!

Revivez les 15 jours de reportage de **Serge BRUNIER** dans le plus grand observatoire mondial situé à **Cerro Paranal** au Chili.

Sur Skypix et nulle part ailleurs

UN CARNET DE VOYAGE EXCLUSIF

Rejoignez vite la communauté **Skypix** :

Déjà plus de 14 000 membres à travers le monde!



orbis - Une application Digital Dev.



Retrouvez-nous sur Facebook

Disponible sur App Store

SCIENCE & VIE AU CŒUR DE LA VIE

CONTRE-SOMMAIRE

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

3 heures du matin.....	p. 140	Impact géant.....	p. 22
Affres de la cogitation solitaire.....	p. 98	Intervallomètre.....	p. 137
Arbre du destin.....	p. 98	"J'ai quelque chose".....	p. 125
Battus par les vents.....	p. 124	Jouer aux cartes.....	p. 121
Bertillon.....	p. 110	Le pied de la petite.....	p. 141
Bodyboarder.....	p. 129	Lenticulaires.....	p. 98
Boîte à pizza.....	p. 132	Liens invisibles.....	p. 100
Brome.....	p. 131	Loi sur le vagabondage.....	p. 110
Calendrier maya.....	p. 14	Longueur de l'oreille droite.....	p. 110
Cheval de Przewalski ...	p. 20	Maladie de Kawasaki ...	p. 91
Cladistique.....	p. 99	Manteau de la Lune.....	p. 22
Clémenceau.....	p. 110	Ne pas trop.....	p. 120
Cœur de fer.....	p. 13	Néo-neurones.....	p. 33
Concert techno.....	p. 124	On croise les doigts.....	p. 70
Connexine 43.....	p. 34	Pac-Man.....	p. 14
Coupable.....	p. 91	Pagode.....	p. 40
Coussin gonflable.....	p. 134	Parfum de lavande.....	p. 137
Cratère gale.....	p. 68	Pipi au lit.....	p. 34
Creticus.....	p. 15	Plage de Bidart.....	p. 124
Criminalistique.....	p. 112	Plaisir des yeux.....	p. 14
Des allures de Titan.....	p. 16	Pompe.....	p. 138
Dernier avatar.....	p. 141	Principe de parcimonie.....	p. 100
Diamètre bizygomatique.....	p. 110	Quand on y plonge un doigt.....	p. 131
Dur ou mou.....	p. 130	Quitte ou double.....	p. 70
Ellipsoïde aplati.....	p. 98	Rêvasser.....	p. 120
Épaisse moustache.....	p. 110	Rouges profonds.....	p. 136
Episode ultime.....	p. 64	Sandwich de M13.....	p. 40
Euphorie.....	p. 98	Sans état d'âme.....	p. 110
Fer à cheval.....	p. 124	Senteur de poulet rôti.....	p. 137
Flatulences des dinosaures.....	p. 15	Shark Attack.....	p. 129
Flop.....	p. 132	Sulafat.....	p. 141
Florigène.....	p. 16	Tombe à pic.....	p. 134
Frisbee.....	p. 132	Tore carré plat.....	p. 14
Gène de la blondeur.....	p. 18	Tourner le dos à la mer.....	p. 124
Histoire violente.....	p. 101	Tricycle d'enfant.....	p. 66
Hypophosphatasie.....	p. 34	Vocalisation de la douleur.....	p. 133

SCIENCE&VIE

Une publication du groupe

MONDADORI FRANCE

PRÉSIDENT : Ernesto Mauri

RÉDACTION

8, rue François-Orly
92543 Montrouge CEDEX.
Tél. : 01 46 48 48 48 - Fax : 01 46 48 48 67
E-mail : svmens@mondadori.fr

DIRECTEUR DE LA RÉDACTION

Matthieu Villiers,
assisté de Christelle Borelli

RÉDACTEUR EN CHEF

Hervé Poirier

RÉDACTEURS EN CHEF ADJOINTS

Philippe Chambon, Grégoire Bouillier (édition),
François Lassagne

DIRECTRICE ARTISTIQUE

Yvonne Diraison

CHEF DE SERVICE

Valérie Greffoz (actualités)

CHEF DE RUBRIQUE

Caroline Tourbe (médecine)

RÉDACTEURS

Elsa Abdoun, Boris Bellanger, Germain Chambost,
Mathilde Fontez, Vincent Nouygrat, Emilie
Rauscher, Muriel Valin

SECRÉTAIRE GÉNÉRAL DE RÉDACTION

Jean-Luc Glock

SECRÉTAIRES DE RÉDACTION

Anne Riera, Clara Baudel

MAQUETTISTES

Valérie Samuel-Charrier (1^{re} maquettiste),
Elisabeth de Garriques

SERVICE PHOTO-INFOGRAPHIE

Anne Levy (chef de service photo),
Clémence Gérard, Emmanuel Jullien
(chef de service infographie)

DOCUMENTATION

Marie-Anne Guffroy

ONT COLLABORÉ À CE NUMÉRO

S. Aquino, S. Barge, K. Bettayeb, L. Blancard,
P.-Y. Bocquet, B. Bourgeois, R. Brillaud,
S. Brunier, O. Capronnier, P. Cartier, G. Girade,
A. Dagan, A. Debroise, O. Donnars, A. Dufour,
S. Fay, P. Grisot, M. Grousseau, E. Haentjens,
C. Hancock, F. Heimbürger, R. Ilkonikoff,
J. Jongwane, M. Kontente, C. Martin, J. Michaux,
E. Monnier, P. Richard, J.-M. Sabatié, S. Savatier,
Y. Sciamia, 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 Carmy (directrice exécutive), Francesca
Colin (directrice commerciale), Valérie Leclère
(directrice de publicité), Virginie Commun, Lionel
Dufour (commerciaux), Sylvie Angerville

(assistante), Sabrina Rossi-Djenidi, Stéphanie
Guillard, Angélique Consoli (planning), Stéphanie
Durand (trafic), Jean-Jacques Benezech, Grégory
Gounse, Anne-Sophie Chauvière (opérations
spéciales)

Grande-Bretagne : Publieurope LTD (info@publieurope.com) - 44 (0)20 7927 9800

Allemagne : Publieurope Munich (info@publieurope.com) - 0049 89 29081501

Suisse : Publieurope Lausanne (info@publieurope.com) - 0041 21 323 3100

Espagne : Publimedia Madrid (info@publimedia.es) - 0034 91 212 83 00

FABRICATION

Gérard Greck, Valérie Brunehaut, Nathalie Lemaure

FINANCE MANAGER

Guillaume Zaneskis

DÉPARTEMENT INTERNATIONAL

Mathilde Janier-Bonnichon, Murielle Luche

ÉDITEUR : Mondadori Magazines France

Siège social : 8, rue François-Orly

92543 Montrouge Cedex

PRÉSIDENT ET

DIRECTEUR DE LA PUBLICATION

Ernesto Mauri

ACTIONNAIRE PRINCIPAL

Mondadori France SAS

IMPRIMEUR : Mondadori Printing S.p.A.,

Via Luigi e Pietro Pozzoni, 11

24034 Ciano Bergamasco (Bergamo)

N° ISSN : 0036-8369

N° DE COMMISSION PARITAIRE :

1015 K 79977. Tarif d'abonnement légal :

1 an, 12 numéros : 42,80 € ;

1 an, 12 numéros + 4 HS : 52,80 €.

DÉPÔT LÉGAL : juillet 2012

RELATIONS CLIENTÈLE ABONNÉS

Par mail : relations.clients@mondadori.fr

Par téléphone : 01 46 48 48 96.

Par courrier : Science & Vie Abonnements

B341, 60643 Chantilly Cedex.

Par internet : <http://www.kiosquemag.com>

Etats-Unis et Canada : Express Mag, Tél. : 1 800

363-1310 (français) et 1 877 363-1310 (anglais).

Suisse : Edigroup, 022 860 84 50 - mondadori-suisse@edigroup.ch

Belgique : Edigroup Belgique,

070 233 304 - mondadori-belgique@edigroup.be

Autres pays : nous consulter.

À NOS ABONNÉS

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

À NOS LECTEURS

RENSEIGNEMENTS

Par courrier : 8, rue François-Orly,

92543 Montrouge Cedex.

Par mail : sewlecteurs@mondadori.fr

COMMANDE D'ANTIENS

NUMÉROS, RELIURES ET VPC

tél. : 01 46 48 48 97

relations.clients@mondadori.fr



EN KIOSQUE CE MOIS-CI



Nouveau

+ GRANDS
+ ILLUSTRÉS
+ SOUVENT



Peut-on encore les sauver?

Aux racines du monde

Heineken



TRADE MARK

Heineken[®]
open your world^{*}



^{*}Ouvrir une Heineken, c'est consommer une bière vendue dans le monde entier.

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

