

**DÉBAT :** À QUOI RESSEMBLERAIT LA TERRE SANS L'HOMME ?

# LE MONDE DES **Sciences**

Bimestriel - Février/Mars 2014 - N° 12

**NewScientist**

## Ce qui vous attend en **2014**

*Les événements  
et découvertes  
les plus attendus*

- > **Le 1<sup>er</sup> bébé né de trois parents,**
- > Le séquençage d'un génome humain d'un million d'années,
- > **La capsule Orion décolle pour Mars,**
- > La 1<sup>re</sup> voiture à hydrogène liquide du commerce, **etc.**

▲ Le 20 janvier 2014, Rosetta (ci-dessus) sort de son sommeil et nous fait découvrir la genèse du système solaire.

**L'HOMME QUI  
VOULAIT PESER  
LA PENSÉE**

**TOUTE NOTRE VIE  
EST ENREGISTRÉE  
DANS LE SANG**

**+ UN CAHIER  
ENCYCLOPÉDIQUE  
LA MÉTÉO  
DE L'EXTRÊME**



[www.appstore.com/sciences](http://www.appstore.com/sciences)

**Pourquoi lire  
*Le monde des Sciences*  
sur iPad ?**

**Quoi de plus que le papier ?**

- ✓ Des vidéos inédites et des schémas animés pour illustrer les articles,
- ✓ Une mise en page interactive, spécialement conçue pour la lecture sur tablette,
- ✓ Un nouveau système d'abonnement,
- ✓ La possibilité de partager les articles sur les réseaux sociaux ou par email,
- ✓ Des mises à jour après la parution,
- ✓ La sauvegarde des numéros dans le Cloud,
- ✓ Une résolution d'écran proche du papier, etc.



**Essayez-le !**



**Version **digitale enrichie**, conçue spécialement pour les tablettes**



www.facebook.com/MONDE.SCIENCES

Le Monde des Sciences  
est édité par Mondeo publishing SAS  
RCS 2005 B 07734

**Siège social**  
Mondeo publishing SAS  
27, avenue de l'Opéra 75001 Paris

**Coordonnées de la rédaction**  
Mondeo Publishing SAS  
Le Monde des sciences  
4, rue Poirier 94160 Saint-Mandé  
Tél. : 01 75 43 09 09  
Fax : 01 75 43 40 18  
redaction@mondeo.fr

**Coordonnées du service Lecteurs  
(abonnements et correspondances)**  
Mondeo Publishing SAS  
Le Monde des sciences  
4, allée Charles V 94300 Vincennes  
Tél. : 01 75 43 09 09  
lecteur@mondeo.fr  
ou retrouvez-nous sur  
facebook.com/monde.sciences

**Directeur de la publication  
et de la rédaction**  
Gilles Harpoutian  
(harpoutian@mondeo.fr)

**Ont collaboré à ce numéro :**  
Nolwenn Le Jannic, Aurélie Angot, Étienne  
Lécroart, Sabine Casalonga, Marine Haquin,  
Victor Haumesser, Caroline Lormeau  
(maquette), Séverine Soury (maquette),  
Hélène Perrin, Benoît Rey, Caroline Williams,  
Cat Ferguson, Catherine Brahic, Christie  
Aschwanden, Christopher Kemp, Emma  
Young, Hal Hodson, Helen Pilcher, Jacob  
Aron, Jeff Masters, Jessica Hamzelou,  
Linda Geddes, Lisa Grossman, Maggie  
McKee, Matthew Chalmers, Michael Reilly,  
Moheb Costandi, Niall Firth, Nigel Henbest,  
Olive Heffernan, Paul Marks, Rowan  
Hooper, Simon Makin, William Laurance.

**NewScientist®**

2012 Reed Business Information Ltd, England  
New Scientist is published weekly  
by Reed Business Information Ltd.  
Ce magazine est publié sous licence  
d'exploitation avec Reed Business  
Information Ltd. Il est basé pour partie sur  
des articles, reportages, ou visuels de la  
rédaction de Newscientist publiés dans  
son édition anglaise hebdomadaire, avec  
l'accord des auteurs et ayants droit.

**Service ventes et réassorts  
pour les marchands**  
Pagure Presse  
01 44 69 82 82

**Distribution**  
PRESSTALIS

**Commission paritaire et ISSN**  
CCPAP - en cours  
ISSN - 2262-3337

Ce magazine est imprimé en France  
à Ruitz (62) chez Léonce-Déprez.  
Toute reproduction des textes, photos, graphismes  
publiés dans ce magazine est interdite.

LEKIOSK.FR

# LE MONDE DES Sciences

## Ce qu'il faut savoir!

**1**

**Votre magazine  
est bimestriel.  
Le prochain  
numéro (n° 13)  
paraîtra  
fin mars  
2014.**

**2**

**Votre magazine  
est conçu avec  
Newscientist,  
l'une des plus grandes  
rédactions de  
journalistes scientifiques  
au monde.**

**3**

**Son contenu est  
basé sur l'actualité  
la plus récente.  
Nos articles sont  
le fruit d'un véritable  
travail d'investigation  
journalistique.**

## ÉDITORIAL

GILLES HARPOUTIAN, DIRECTEUR DE LA RÉDACTION

Un chercheur nous a dévoilé très récemment que d'anciens Polynésiens utilisaient le langage binaire... En effet, un ancien peuple de l'île Mangareva (Polynésie Française) avait créé un système hybride de nombres décimaux et binaires pour réaliser des calculs arithmétiques. Ainsi le mathématicien du XVII<sup>e</sup> siècle, Gottfried Leibniz, à qui l'on attribue le langage binaire, n'a rien inventé. Ce système, habituellement utilisé par nos ordinateurs et qui permet de représenter n'importe quel nombre par une série de 0 et de 1, existerait depuis au moins 500 ans! Dans le même esprit, votre magazine vous propose un reportage sur des maladies millénaires. Les Égyptiens souffraient d'une maladie « moderne », l'athérosclérose. Néandertal avait des tumeurs. Et nos ancêtres voilà 75 000 ans connaissaient l'autisme... Nous n'avons même pas créé nos maladies! Vous retrouverez également ce mois-ci un reportage



sur la construction des immeubles les plus hauts du monde. « L'inventeur de l'escalier habitait sûrement au premier étage » dit un jour le célèbre chat de Philippe Geluck. Et bien non! Notre précédent numéro révélait que 8 000 ans avant notre ère, fut construite la tour de Jéricho de plus de 8 m de hauteur avec son escalier... Alors, on n'inventerait rien de rien? 2014 fera mentir ce lieu commun! Cette fois-ci, les chercheurs et promoteurs des nouvelles technologies nous garantissent de magnifiques révolutions véritablement inédites... Ainsi nous nous livrons au jeu des pronostics pour annoncer quelques événements ou découvertes auxquels vous ne pourrez échapper dans les prochains mois. La rédaction du *Monde des Sciences* s'était prêtée à ce jeu en janvier 2013 avec une certaine réussite (ou chance diront les mauvaises langues). C'est pourquoi nous relevons le challenge cette année encore : ne nous en voulez pas trop si nous nous trompons, c'est pour une bonne cause, celle d'une prospective scientifique capable de nous sortir de la morosité de l'actualité générale : vive la science et bonne lecture!

## « L'INVENTEUR DE L'ESCALIER HABITAIT SÛREMENT AU PREMIER ÉTAGE »

# SOMMAIRE

→ FÉVRIER/MARS 2014 – N° 12 BIMESTRIEL

3 Édito

## PORTFOLIO

6 Une sélection des plus belles photos de reportages scientifiques du mois

## ACTUALITÉS

10 Une sélection des toutes dernières découvertes...

## L'AGENDA 2014 DES DÉCOUVERTES

23 Ce qui nous attend!

34 Ce qu'il faut retenir de 2013

## EN COUVERTURE

36 Et si nous n'avions jamais existé...

## L'AVENTURE SPATIALE

42 Un astronaute amateur dans l'espace!

## PHYSIQUE

46 Quand l'univers surgit

50 Pourquoi l'espace a trois dimensions?

## EN DIRECT DES LABOS

54 Des maladies millénaires

58 Votre histoire écrite dans le sang

62 Les abeilles robots

## HOMO SAPIENS

66 L'homme qui voulait peser la pensée

70 Un corps sain... égale un esprit sain

## ENVIRONNEMENT

74 La Terre devient plus verte!

## SAVOIRS

80 Tout savoir sur la météo extrême

## TECHNO/CULTURE

90 Vue d'en haut

## GRANDES RENCONTRES

94 Skylar Tibbits



36

Et si nous n'avions  
jamais existé...



► EN COUVERTURE

L'AGENDA 2014  
des DÉCOUVERTES

23

... CE QUI  
NOUS ATTEND!

74

La Terre  
devient  
plus verte!

CE MOIS-CI

ESPACE

BIOLOGIE

NATURE

CULTURE

**Abonnez-vous**  
Page 79

42  
//////////

*Un astronaute  
amateur  
dans l'espace!*



90  
//////////

**VUE  
D'EN  
HAUT**



**Un corps sain...  
égale  
un esprit sain**

70  
//////////

54  
//////////

Des maladies  
**millénaire**



TOU**T** SAVOIR  
SUR...

**LA MÉTÉO DE  
L'EXTRÊME**

80  
//////////





## Un symbole divin

Les Anciens voyaient dans le Pélican frisé (*Pelecanus crispus*) une incarnation vivante du sacrifice. Ils racontaient que lorsque la nourriture venait à manquer, le pélican se poignardait le cœur avec son bec pour offrir son sang à ses petits.

En réalité, la poche de son bec se colore en rouge vif lors de la saison de reproduction. Et lorsqu'il revient au nid nourrir sa progéniture, il frappe à plusieurs reprises cette poche contre sa poitrine pour en faire tomber le produit de sa pêche. C'est ce geste qui a donné naissance au mythe. Espèce fortement menacée à cause du braconnage et de la destruction de son habitat, le Pélican frisé pourrait malheureusement ne pas survivre à sa légende...

**Rowan Hooper et Victor Haumesser**



LES PHOTOS DU MOIS

© Photographe David Pattyn  
naturepl.com



## Une machine à glaçon géante

Comment tester la résistance des moteurs d'avion aux conditions extrêmes qui peuvent survenir durant un vol ?

La division aviation de General Electric a construit au Canada cette impressionnante soufflerie, dans laquelle sept énormes ventilateurs mettent les moteurs à rude épreuve. Grâce à 125 buses ajustables et contrôlables à distance diffusant des minuscules gouttelettes d'eau glacée, les ingénieurs peuvent simuler différents types de conditions météorologiques intenses : blizzard, tempêtes de neige ou encore brouillard givrant.

Paul Marks et Victor Haumesser

# LES PHOTOS DU MOIS

● **Photographe** Noah Kalina  
noahkalina.com



## CHASSER LA VIE SUR LA SURFACE MARTIENNE

Par Benoît Rey et Lisa Grossman

**B**onne nouvelle concernant la chasse aux Martiens. Le rover Curiosity pourra être en mesure de détecter des traces de vie. C'est une surprise totale pour les scientifiques de la mission qui n'affichaient pas une telle ambition lors de son parachutage en août 2012. Leur robot n'était censé se prononcer que sur l'"habitabilité" de la planète il y a 4 milliards d'années. Car entre-temps, la surface desséchée a été continuellement irradiée par une pluie diluvienne de rayons cosmiques, éradiquant toute molécule organique. Ainsi, les scientifiques n'avaient pas osé imaginer qu'il serait possible de chercher la moindre trace de vie passée sans creuser profondément dans le sol rouge de la planète. Et pourtant. « En novembre dernier, le rover a effectué la première datation du sol d'une planète autre que la Terre », se réjouit Ken Farley, de l'équipe de Curiosity. Résultat : le sol de Yellowknife Bay, où a été prélevé l'échantillon, n'a passé que les derniers 80 millions d'années à l'air libre. À l'échelle du système solaire, c'est un battement de cil ! Assez court pour que des traces anciennes de vie soient épargnées par les rayons cosmiques. Bombardés par les étoiles environnantes, ils sont redoutables pour les molécules du vivant. Nous autres Terriens ne devons notre salut qu'à l'atmosphère bienveillante de notre planète. Les Martiens, s'ils ont existé, n'ont

pas eu cette chance... Malgré cela, une découverte a fait grand bruit le 9 décembre dernier. « L'argile de Yellowknife Bay formait autrefois le fond d'un lac faisant partie d'un vaste réseau souterrain qui a pu subsister des millions d'années », affirme John Grotzinger, le chef du projet. Assez longtemps pour permettre à la vie d'y éclore ! Mais hélas, les rayons cosmiques avaient dû tout effacer depuis. Ainsi, la surprise était totale lorsque la datation du sol a révélé ses résultats. L'opération consistait à mesurer la concentration relative de trois isotopes : l'argon-36, le néon-21 et l'hélium-3. Des éléments qu'engendrent les rayons cosmiques lorsqu'ils frappent le sol et cassent des atomes plus gros. La teneur du sol en ces éléments permet de dater son exposition aux rayons cosmiques. « Le résultat a été comme un choc » se souvient Grotzinger. 80 millions d'années seulement, c'est à peine croyable pour Mars. Car si sur terre le sol est continuellement renouvelé par le mouvement des plaques tectoniques, sur Mars rien ne bouge. La tectonique est passée de mode depuis des milliards d'années. Oui, mais il y a du vent. Un vent léger, qui caresse les falaises de la planète et délicatement les érode, mettant à nu les roches cachées dessous. Plus besoin de creuser, le vent le fait pour nous ! Et maintenant que les scientifiques en ont conscience, ils orientent leur rover vers les

### HUMIDITÉ TROPICALE

Sur Mars aussi, les tropiques sont humides. Moins que par chez nous, certes, mais suffisamment pour laisser des traces visibles depuis l'espace. Au début de chaque printemps martien apparaissent sur certaines pentes ensoleillées du sud de l'équateur de mystérieuses traces sombres, observées pour la première fois en 2011 par la sonde spatiale Mars Reconnaissance Orbiter (MRO). Des traces qui s'évanouissent dès que survient l'hiver. Ainsi, l'explication la plus plausible est la présence de glace dans le sous sol, qui fond sous la chaleur du soleil d'été, mouille la terre, avant de s'évaporer. Aujourd'hui, de nouvelles observations de MRO révèlent que de telles traces apparaissent aussi à l'équateur... Et cette fois on commence à s'en soucier. Il ne faudrait pas que l'eau soit suffisamment abondante pour que les bactéries transportées depuis la Terre par les rovers comme Curiosity s'y développent. Si un jour ceux-ci trouvent des traces de micro organismes, comment être sûr qu'il sont pas d'origine terrienne ?

régions les plus venteuses des environs. Peut-être Curiosity aura-t-il l'honneur de détecter pour la première fois des traces de vie sur une autre planète. Peut-être au contraire que c'est peine perdue, que Mars n'a jamais été qu'un caillou stérile. Quoi qu'il en soit, il y souffle désormais comme un léger vent d'espoir. ■

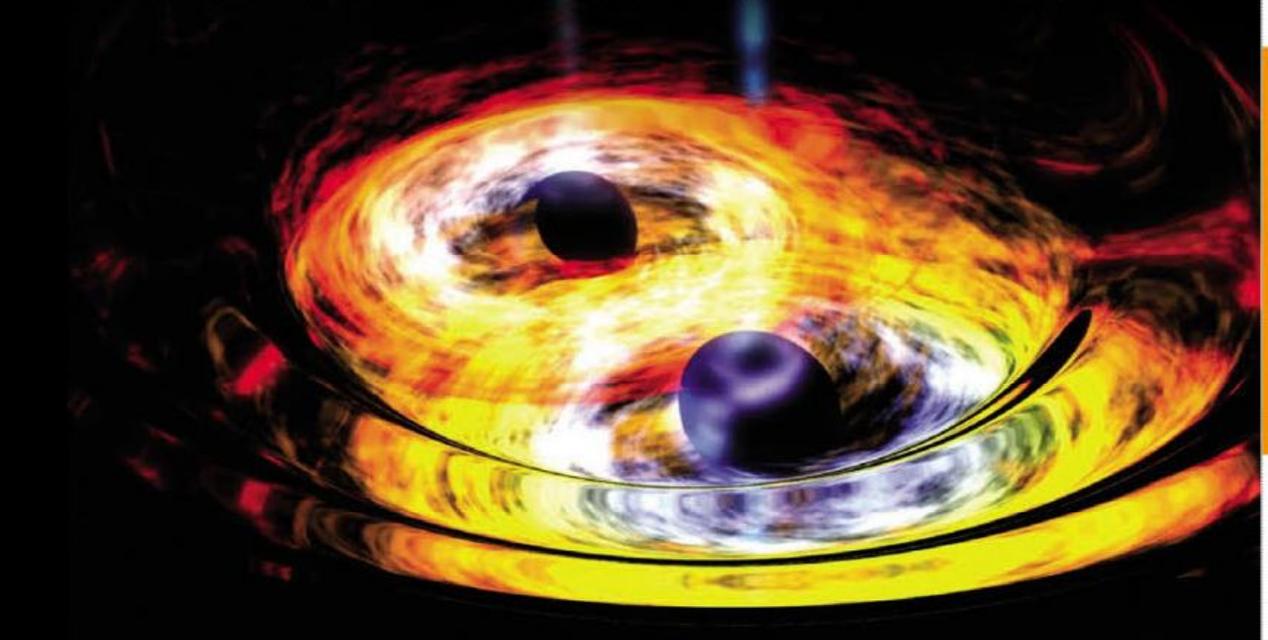
« C'est la première datation du sol d'une planète autre que la Terre »

## UN COUPLE DE TROUS NOIRS SURPRIS EN PLEINE PARADE NUPTIALE

**D**eux trous noirs supermassifs s'apprêtent à fusionner dans la galaxie WISE J233237.05-505643.5. Les deux monstres spiralent l'un autour de l'autre en se rapprochant imperceptiblement. Et s'ils sont encore à quelques années-lumière de distance, c'est inexorable : dans environ 10 000 ans, ils s'enlaceront puis fusionneront dans un gigantesque

jaillissement d'ondes gravitationnelles. C'est en tout cas l'explication la plus plausible de Thomas Jarret, de l'université du Cap en Afrique du Sud, pour interpréter les surprenantes images qu'il a captées grâce au télescope à infrarouge WISE. Celles-ci ne dévoilent en réalité qu'un seul trou noir au centre de la galaxie susnommée. Il est actif : à l'instar d'un volcan, il crache de la matière très

chaude sous forme de deux jets lumineux symétriques. Or si l'un file bien droit dans le cosmos, le second jet est tordu ! Quelque chose, qui reste invisible sur les images, l'incite à prendre une forme de spirale. Le chercheur, persuadé qu'il s'agit d'un second trou noir, va scruter la scène dans les ondes radios pour voir à travers les étoiles de la galaxie et prendre sur le vif le mystérieux partenaire. ■



### La seiche n'oublie jamais un repas

**V**ous avez déjà oublié le menu de votre dernier repas ? Cela n'arrive jamais à la seiche ! Déjà réputé pour sa mémoire spatiale, le mollusque étonne encore : il semble doué d'une forme de mémoire épisodique. C'est la mémoire qui permet de se souvenir quand et où a eu lieu une expérience personnelle. La seiche ayant la position difficile de prédateur et de proie, elle ne sort de sa cachette que pour chasser et doit être efficace si elle ne veut pas s'exposer aux prédateurs. Se souvenant du lieu et de l'heure à laquelle elle peut trouver sa nourriture favorite, la seiche part à la chasse au moment le plus propice. ■



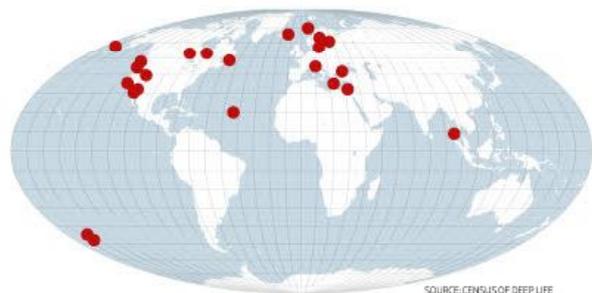
## LES MICROBES VENUS DES PROFONDEURS TERRESTRES

Par Marine Haquin et Catherine Brahic

**D**ix-neuf. C'est le nombre d'organismes microscopiques que l'on retrouve tout autour du monde, à 2 kilomètres de profondeur dans la croûte terrestre, du Canada à l'Indonésie, en passant par l'Europe (comme l'indique la carte). D'après Rick Colwell de l'université d'État de l'Oregon (États-Unis), « il y a un groupe central de micro-organismes qui apparaissent encore et toujours dans ces environnements ». En surface, même si deux régions offrent des conditions similaires, ce ne sont pas les mêmes organismes qui les occupent, et une espèce ne peut se répandre que si elle a un bon moyen de dispersion. « Il est facile de comprendre pourquoi on retrouve les mêmes poissons d'un océan à l'autre, mais c'est incroyable de trouver des micro-organismes identiques dans des fissures rocheuses distantes de 16 000 kilomètres », reconnaît Matt Schrenk de l'université d'État du Michigan (États-Unis). Matt Schrenk apporte une hypothèse plutôt radicale pour expliquer la présence globale de ces organismes : la plupart d'entre eux ont été retrouvés dans de la serpentine (une famille minérale) qui se forme dans des conditions similaires à celles qui auraient accueilli les premières traces de vie, il y a plus de 4 milliards d'années. Il pense donc que ces micro-organismes seraient nés dans des habitats primordiaux et auraient été

### La communauté des profondeurs

Des équipes ont étudié des mines, puits et derricks partout dans le monde pour toujours retrouver les mêmes ensembles génétiques.

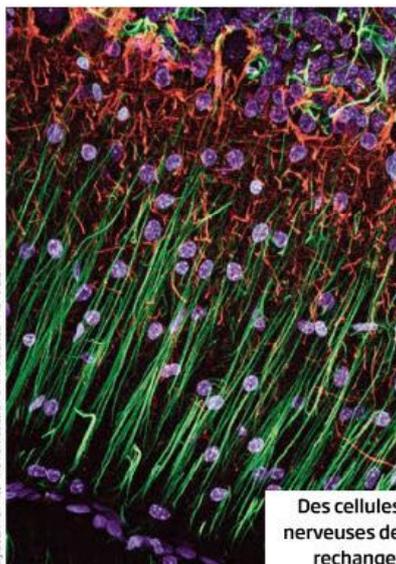


SOURCE: CENSUS OF DEEP LIFE

transportés tout autour du monde par la tectonique des plaques. Rick Colwell se veut plus modéré quant à cette hypothèse, mais étant donné la stabilité des conditions en profondeur, il admet que les micro-organismes y sont peut-être depuis une éternité. ■

## Premiers pas vers le **tissu cérébral artificiel**

Une équipe suédoise, conduite par Paolo Macchiarelli et Silvia Baiguera, vient de faire un premier pas en direction de la création d'un tissu cérébral fonctionnel. Ce défi est le plus complexe parmi ceux relevés par les bio-ingénieurs, qui tentent de cultiver tissus et organes comme autant de pièces détachées pour réparer notre corps lorsqu'il est blessé ou malade. Dans ce processus complexe, la découverte récente de l'importance du rôle de « l'échafaudage » de protéines qui constitue le milieu extra-cellulaire s'est avérée capitale, et a mené à cultiver *in vitro* avec succès des cellules cardiaques ou des nodules lymphatiques à partir de cellules-souches. Mais la matrice qui entoure les tissus nerveux est beaucoup plus complexe et spécialisée, ce qui avait fait échouer toutes les tentatives précédentes de mise



Des cellules nerveuses de rechange.

en culture de neurones. Dans un article publié dans la revue *Biomaterials*, Macchiarelli et Baiguera ont imprégné un gel avec des échantillons « décellularisés » de tissus cérébraux de rat, ne conservant que le réseau moléculaire entourant les neurones. Ils ont pu constater que les cellules-souches provenant de la moelle osseuse ont pu trouver suffisamment d'indices pour s'y différencier et donner de nouvelles cellules nerveuses. L'implantation *in situ* d'une matrice de ce type permettrait la migration de cellules saines, puis leur prolifération. Nous sommes encore loin d'applications cliniques, mais cette technique pourrait conduire à la réparation de zones endommagées du cerveau, ou de soigner efficacement des patients touchés par une maladie neurodégénérative. ■

## La dyslexie : un défaut de communication

Une mauvaise communication entre les différentes aires du langage dans le cerveau pourrait bien être à l'origine de la dyslexie. Au cours de ses recherches, Sophie Scott, de l'University College de Londres (Angleterre), a scanné le cerveau de 55 adultes dont 23 dyslexiques. Chez tous les participants, l'activité nerveuse en réponse à des sons et discours était similaire, suggérant que le cerveau se représente les sons de la même façon que l'on soit dyslexique ou non. L'équipe a ensuite exploré les connexions entre 13 aires du cerveau impliquées dans le processus du langage. Il a été découvert chez les dyslexiques des connexions défectueuses, entraînant une mauvaise communication entre ces régions, notamment le cortex auditif et les aires impliquées dans le langage et le discours. Les connexions défectueuses pourraient être restaurées grâce à une technique non invasive de stimulation du cerveau. ■



## CE QUE DISENT **LES COULEURS** DU CAMÉLÉON

Les couleurs dont les caméléons se parent ne sont pas seulement un moyen de se camoufler, mais servent aussi à communiquer et livrent de précieuses informations. Grâce à une caméra haute vitesse, Russel Ligon, un écologiste comportemental de l'université d'État de l'Arizona a montré que la rapidité et l'intensité des changements de couleur d'un mâle sont proportionnelles à ses chances de remporter un combat. Ces indications ne sont pas réservées aux adversaires potentiels, mais sont aussi destinées à indiquer aux femelles les qualités de reproducteur lors de la saison des amours. ■

## LE RÉCHAUFFEMENT FAVORISE LES CHAUVES-SOURIS À LA VOIX GRAVE

Certaines chauves-souris vont être affectées par le réchauffement climatique. L'animal produit un son dont l'écho lui revient, ce système d'écholocation l'informe de la distance à laquelle se trouve sa proie. Sauf que les propriétés du son sont différentes dans un air plus chaud. Les tons graves seraient plus avantageux, mais certaines chauves-souris ayant une gamme de cris limitée ne pourront s'adapter. ■

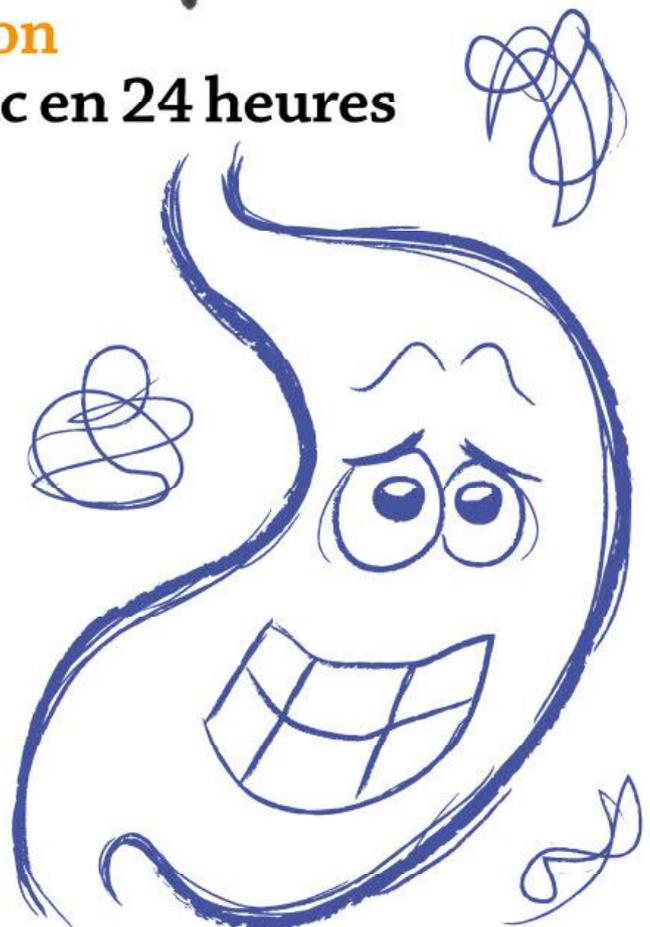


## Changer d'alimentation révolutionne l'estomac en 24 heures

Chez la souris, changer de régime alimentaire entraîne très rapidement des changements dans le microbiome de l'estomac, c'est-à-dire l'ensemble des micro-organismes qu'abrite notre système digestif.

Peter Turnbaugh de l'université Harvard (États-Unis) a demandé à dix volontaires d'adopter un nouveau régime alimentaire : soit à base de viande, d'œufs et de fromage soit à base de graines, fruits et légumes durant cinq jours. « En particulier pour le régime à base de viande, nous avons observé des changements drastiques dans l'abondance de certains micro-organismes, dès le premier jour », explique Peter Turnbaugh. Par exemple, la concentration en *Bilophila wadsworthia* augmente fortement. Ces organismes aident à la digestion des acides gras saturés du lait. Changer pour le régime végétarien par contre, provoque une multiplication des bactéries consommant les glucides fermentés et produisant du butyrate. Cet acide gras semble réduire les inflammations intestinales et les risques de cancer colorectal. Ces changements rapides dans notre flore intestinale et ses produits métaboliques pourraient en partie expliquer l'influence de notre alimentation sur notre santé, d'après Harry Flint de l'université d'Aberdeen (Royaume-Uni).

« Il est aussi intéressant de se demander si cette flexibilité a pu jouer un rôle au cours de l'évolution, remarque Peter Turnbaugh, si vous trouvez de nouvelles ressources alimentaires, ce doit être avantageux d'avoir un microbiome pouvant s'adapter et qui permet d'augmenter le gain d'énergie fournit par cette nourriture. » ■



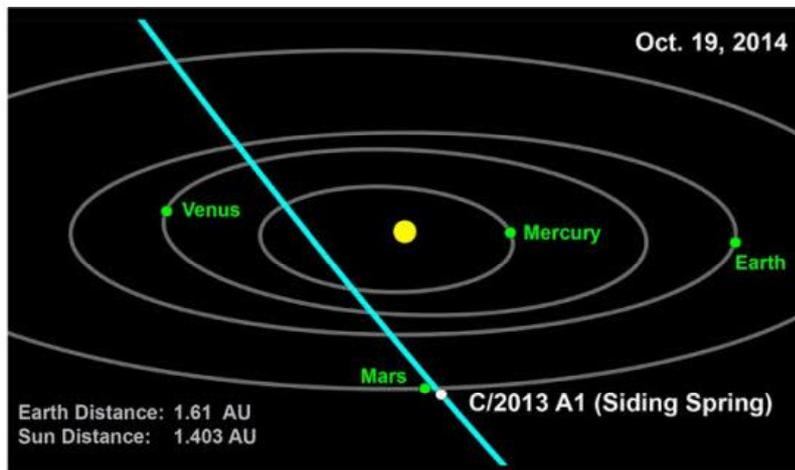
## Des batteries biodégradables à base de mélanine

Comment alimenter en électricité les appareils médicaux implantables alors que les batteries classiques au lithium peuvent être toxiques à long terme ? Des chercheurs de l'université Carnegie-Mellon (États-Unis) ont mis au point une batterie biodégradable, capable de se dissoudre dans l'organisme

sans effet secondaire. Leur secret ? Utiliser des substances que l'on trouve naturellement dans le corps humain : du sodium, de l'eau... et de la mélanine. Ce pigment sombre, présent en quantité variable dans la peau, a la particularité de pouvoir stocker une grande quantité d'ions. ■



SUBBOTINA ANNA - FOTOLIA



## UNE DOUCHE DE MÉTÉORITES POUR MARS

Un fantastique spectacle d'étoiles filantes est prévu sur la planète Mars pour la fin de l'année. En cause : le passage en rase-mottes d'une comète, dont la myriade de débris illuminera l'atmosphère martienne. Découverte en janvier 2013, la comète C/2013 A1, surnommée « Siding Spring », fonce actuellement vers Mars, dont elle croisera l'orbite le 19 octobre 2014. Mais n'en déplaise aux amateurs de cataclysmes cosmiques... elle ne s'y écrasera pas ! Bill Cooke, de la NASA, a calculé qu'elle passera à 173 000 km de la planète rouge. C'est si proche que la chevelure de la comète, composée par les poussières et les petits blocs rocheux relâchés par le dégazage de son noyau, pourrait englober la planète rouge ! Ses grains pénétreront à 56 km/s dans l'atmosphère martienne où ils flamberont, abreuvant la planète d'une fantastique pluie d'étoiles filantes « Ce sera certainement la plus intense pluie de météorites jamais enregistrée, » s'enthousiasme Bill Cooke. Pendant deux heures, l'atmosphère brûlera entre 1 000 et 10 000 fois la densité normale de cailloux spatiaux, offrant un splendide spectacle à... pas grand monde, à dire vrai. Seuls les rovers tels que Curiosity et Opportunity seront sur place, et auront, espérons-le, de belles photos à partager. ■

## DES LEURRES ANTIMOUSTIQUES PARFUM MENTHE OU CARMEL

Grâce à la découverte chez le moustique de récepteurs spécialisés sensibles aux composés volatils émis par le corps humain, de nouveaux produits moins nocifs pourraient être utilisés pour tenir éloignés ces insectes. Une équipe de l'université de Californie a testé des milliers de substances pour trouver celles qui seraient à la fois inoffensives, faciles à produire et agréables à sentir. Deux d'entre elles ont été utilisées avec succès pour leurrer les moustiques : l'éthyle pyruvate, un additif alimentaire qui donne un goût caramélisé et le cyclopentanone, qui se trouve dans les parfums et les chewing-gums à la menthe. ■



DEMANFA - FOTOLIA

# LA DRÔLE D'ÉVOLUTION DES PREMIÈRES BACTÉRIES

**E**n mettant en évidence l'absorption passive par certaines bactéries de fragments d'ADN, Søren Overballe-Petersen du Muséum d'Histoire Naturelle du Danemark pense avoir identifié un nouveau mécanisme évolutif. Nous en connaissons jusqu'à présent trois : les mutations aléatoires, qui transforment petit à petit le génome, la reproduction sexuée, qui permet à deux individus de mélanger leur patrimoine génétique, et chez les procaryotes, le transfert actif de gènes. Ce quatrième mécanisme diffère des autres sur deux points. Premièrement, il ne semble pas avoir besoin d'un système cellulaire spécifique. Ce qui signifie qu'il est

sûrement apparu très tôt dans l'histoire de la vie, et permettrait d'expliquer comment des organismes simples ont pu évoluer rapidement. Ensuite, et de manière surprenante, puisque l'ADN absorbé provient de l'environnement, il pourrait appartenir à des individus ou même des espèces qui n'existent plus ! Pour appuyer ce dernier point, Overballe-Petersen a mis de l'ADN de mammoth provenant d'os

vieux de 43 000 ans en présence de bactéries, et a effectivement constaté son intégration dans leur génome. Il reste maintenant à découvrir en pratique quels avantages ces fragments d'ADN apportent. Ils sont trop petits pour contenir des gènes entiers, mais auraient néanmoins une taille suffisante pour héberger une séquence promotrice, qui influencerait sur l'expression de certains gènes. ■

## Et si la vie était apparue dans les lueurs du Big Bang ?

**P**our les exobiologistes, la présence d'eau liquide est impérative pour que la vie puisse apparaître et se développer. Une planète ne doit donc se trouver ni trop proche de l'étoile autour de laquelle elle orbite, ni trop éloignée, dans une fine bande appelée zone d'habitabilité, sous peine que toute l'eau présente ne se vaporise ou ne gèle. De plus, les éléments chimiques nécessaires à la formation de molécules organiques (oxygène, carbone, azote, etc.) sont forgés lorsque des étoiles massives explosent en supernova. Toutes ces conditions portent donc à

croire que la vie n'a pu émerger que bien longtemps après la naissance de l'Univers.

Pour Abraham Loeb, de l'université Harvard, il existe une autre possibilité : 15 millions d'années après le Big Bang (soit un millième de l'âge de l'Univers, évalué à 13,8 milliards d'années), l'Univers était encore suffisamment chaud pour constituer une seule vaste zone homogène d'habitabilité. Cette période aurait duré quelques millions d'années, assez pour que des organismes vivants très simples, comparables à nos bactéries, puissent se

développer. Mais y'avait-il déjà à cette époque des systèmes planétaires suffisamment stables pour permettre à ces organismes de s'épanouir ? La plupart des spécialistes s'accordent pour répondre que rien ne permet de l'affirmer. Mais selon Loeb, nos lacunes dans la connaissance de la structure précoce de l'Univers laissent la porte ouverte à cette possibilité. Cette hypothèse, bien que très incertaine, a le mérite d'illustrer à quel point le chemin vers la compréhension d'un phénomène aussi complexe que l'apparition de la vie risque d'être long et plein de surprises. ■

## UNE MINUTE AVEC

# CRAIG VENTER, créateur de vie artificielle

Par Victor Haumesser et Linda Geddes

**Vous êtes né en 1946.**

**Dans quelle mesure la définition du vivant a-t-elle évolué au cours de votre parcours ?**

Lorsque la structure de l'ADN a été découverte, en 1953, il n'était pas encore établi que cette molécule était le support de l'information génétique. De nos jours, en séquençant puis en réécrivant des génomes, nous avons prouvé que l'ADN était la base de la vie.

**Quelle est la découverte qui a modelé votre compréhension de ce qu'est la vie ?**

En modifiant l'ADN d'une cellule, nous avons transformé une espèce en une autre. La vie serait donc une sorte de système d'information dont le logiciel est l'ADN. Si vous changez le logiciel, vous transformez l'espèce.

**Pourquoi pensez-vous que les gens ont du mal à accepter l'idée de la vie en tant que système d'information ?**

Parce que nous aimons penser en termes de complexité. Lorsque nous avons séquencé le génome humain, beaucoup se sont montrés aigris d'avoir seulement 22 000 gènes, et non 300 000 [comme il avait été estimé, N.D.L.R.]. C'est pourtant plus de complexité qu'aucun d'entre nous ne

pourra jamais imaginer quoi qu'en pensent les adeptes d'une pensée linéaire qui voudraient faire correspondre un gène à chaque typologie de caractère.

**Vous vous êtes rendu célèbre pour avoir construit un organisme synthétique. Quel en était le but ?**

Nous sommes partis de seulement quatre composés chimiques pour construire de l'ADN, puis l'intégrer au fonctionnement d'une cellule vivante. Nous voulions prouver que nous pouvons réduire la vie à un système d'information.

**Mais vous avez inséré de l'ADN artificiel dans une cellule pré-existante. Est-ce que ce n'est pas un peu de la « triche » ?**

On le sait, la vie a évolué depuis des systèmes plus simples. Mais nous essayons d'aller vers les étapes suivantes de l'évolution, ce n'était donc pas très utile de tout reprendre depuis le début.

**Actuellement, vous tentez de créer un organisme possédant le minimum de gènes nécessaires à son fonctionnement. Pourquoi ?**

Comprendre à quoi ressemble un système d'exploitation basique pour le système d'information qu'est la vie est

## PROFIL

**Craig Venter** est des pionniers de la biologie synthétique. Après avoir créé le premier organisme artificiel, il pense que le temps est venu de découvrir le système d'exploitation du "logiciel de la vie" : l'ADN.

essentiel. Ensuite, nous serons capables d'ajouter des éléments pour le faire évoluer en une nouvelle espèce. Les premiers essais ont échoué. Nous ne savons toujours pas ce que font tous les gènes, donc on ne peut pas créer quelque chose *ex nihilo*. Mais il n'y a pas d'ambiguïté pour savoir si ce que nous avons créé est vivant ou non.

**Vos projets semblent être conçus pour provoquer, comme lorsque vous avez codé votre nom dans le génome de vos organismes synthétiques. Est-ce délibéré ?**

Rien n'est fait pour provoquer les gens. Nous sommes en train de créer des espèces et je pense que notre responsabi-

lité est d'y insérer des signes de reconnaissance de leur origine artificielle, ou alors nous risquons de perdre la piste de l'histoire évolutive naturelle. De plus, beaucoup de sang, de sueur et de larmes ont coulé au long de ce projet. Nous nous sentons aussi passionnés que des artistes : nous signons nos œuvres.

**Les biologistes synthétiques se contentent pour le moment de bricoler des bactéries. Iront-ils jusqu'à radicalement altérer des organismes plus complexes, voire l'espèce humaine ?**

Travailler sur des bactéries pourrait conduire à de grandes avancées sur des sujets tels que la production de nourriture ou de carburant. Mais en s'intéressant à des bactéries dont le génome est considérablement plus grand, la complexité du travail croît en proportion. Donc je ne pense pas qu'on puisse produire des humains synthétiques dans un futur proche. ■

MARK HANNE VREDDUX/ETEVINE

# UNE RÉALITÉ VIRTUELLE PLUS SAVOUREUSE

Par Marine Haquin et Paul Marks

➤ Nous pourrions bientôt goûter les bonnes choses que nous voyons à la télévision ou dans les jeux vidéo grâce à un simulateur de goût!

La réalité virtuelle pourrait très vite devenir encore plus savoureuse, un simulateur digital peut virtuellement transmettre le goût de la nourriture et des boissons à notre langue. Nimesha Ranasinghe de l'université Nationale de Singapour révèle que son équipe a « mis au point une stimulation thermique et électrique non invasive pour que la langue génère les premières sensations du goût ». Un signal électrique reproduit les quatre principales saveurs (sucré, salé, amer, acide), il est transmis via une électrode en argent touchant le bout de la langue. Les récepteurs de goûts sont ainsi trompés par un courant alternatif et de légers changements de température contrôlés par un élément semi-conducteur qui peut chauffer et refroidir très rapidement. D'après Nimesha Ranasinghe, les amateurs de Masterchef et autres Meilleur Pâtissier pourront bientôt goûter, en direct, les savoureux plats et gâteaux qu'ils peuvent voir à la télévision. Une fois perfectionné, l'appareil pourrait aussi trouver d'intéressantes applications médicales : « Des personnes diabétiques pourraient utiliser le

synthétiseur de goût pour simuler les sensations sucrées sans nuire à leur taux de glycémie. Des malades du cancer pourraient aussi l'utiliser pour améliorer leurs sensations, affectées durant une chimiothérapie ». Autre piste imaginée par Jennifer Cornish, de l'université Macquarie à Sydney (Australie) : le simulateur pourrait freiner la surconsommation de boissons sucrées, telles que les sodas et boissons énergétiques, en apportant le plaisir lié au sucre sans en subir les conséquences néfastes pour la santé! ■



« Les diabétiques pourraient simuler les sensations sucrées sans nuire à leur glycémie »

GETTY IMAGES - FOTOLIA

## Zone de concentration

Par Marine Haquin et Hal Hodson

➔ Hal Hodson travaille sous le contrôle d'un logiciel régulant la charge de travail en fonction de son activité cérébrale.

**D'**un clic, je planifie une trajectoire à travers les montagnes pour l'un des cinq drones que je contrôle. Ceci étant fait, j'autorise mon cerveau à prendre un peu de repos. Mais c'est sans compter cette machine surveillant de près mon activité cérébrale : elle décide de me désigner un nouveau drone, jugeant mon esprit apte à gérer de nouvelles informations. Le logiciel garde ainsi mon cerveau dans un état de grande concentration, « dans la zone » comme on dit. Si je ne suis pas assez actif, le programme remarque que mon attention flanche et me donne du travail. À l'inverse si je commence à être éreinté, l'ordinateur me retire des tâches.

Ce système contrôle ma charge de travail grâce à l'imagerie spectroscopique proche infrarouge fonctionnelle (ISPIf). Des pulsations lumineuses sont envoyées dans mon cortex préfrontal et la façon dont le sang absorbe et réfléchit la lumière reflète mon engagement cérébral. Je suis également connecté à un imposant dispositif de câbles en fibre optique et équipé d'un ensemble de LED sur le front. Dan Afergan, de l'université Tufts à Medford (États-Unis), planifie de rendre le dispositif moins volumineux et transportable, notamment en vue de l'intégrer à des lunettes à réalité augmentée. « Elles sont déjà sur votre tête, il n'y a qu'un pas avant d'intégrer l'ISPIf au ban-

### GARDER UN PILOTE CONSCIENT

L'équipe de Thomas Muehleman de l'Hôpital universitaire de Zurich (Suisse) a utilisé la spectroscopie proche infrarouge fonctionnelle pour calculer le niveau d'oxygène minimum nécessaire pour garder un pilote conscient lorsque la pression chute brutalement.

Si le niveau d'oxygène chute de 16 % dans les artères, la diminution n'est que de 5 % dans les tissus cérébraux.

L'équipe pense qu'il existe un mécanisme de survie permettant d'augmenter le flux vers le cerveau si nécessaire.

deau de maintien ! ». Ces lunettes pourraient servir aux conducteurs de voiture. Les régulateurs de vitesse ou de distance sont de plus en plus fréquents et si leur utilité n'est plus à prouver, ceux-ci peuvent entraîner une baisse de l'attention. Pour Erin Solovey, de l'université Drexel à Philadelphie (États-Unis), des systèmes utilisant l'ISPIf permettraient d'ajuster le niveau d'automatisation de sa conduite afin que l'attention du conducteur soit suffisante pour assurer sa sécurité. ■



## RÉSoudre DES JEUX VIDÉO POUR AIDER L'ARMÉE

Par Victor Haumesser et Cat Ferguson

Vous sentez-vous l'âme d'un botaniste chargé d'identifier des fleurs inconnues sur une île déserte ? Ou bien vous imaginez-vous plutôt en sorcier, décodant des runes énigmatiques et contrôlant une tempête magique ?

Dans les deux cas, vous pourrez réaliser vos objectifs... et ceux du DARPA, l'agence de recherche militaire des États-Unis. *Xylem* et *Storm Bound* font partie des 5 jeux créés par cette institution pour traquer les failles de sécurité de ses logiciels ou de ses réseaux informatiques. Cette tâche ingrate et complexe est incontournable pour corriger toutes faiblesses exploitables par des pirates informatiques. Pour s'assurer que le code d'un logiciel est sain, la méthode la

plus efficace est celle de la vérification formelle, mais elle est très coûteuse en ressources humaines et matérielles. D'où l'intérêt des nouvelles méthodes dites « collaboratives ».

Mais comment un joueur sans connaissances en programmation peut-il se révéler plus performant que des programmes d'analyse automatique ? De manière surprenante, sur ce type de problème bien précis, les capacités d'adaptation des humains aux situations inédites sont plus efficaces que la puissance de calcul déployée par les ordinateurs actuels. Et la force de ce système réside dans le grand nombre de participants, qui assure de couvrir

le plus de situations différentes possibles. L'utilisation de ce type de jeu augmente depuis le succès de *Foldit* en 2008, qui permet de décoder la structure tridimensionnelle de protéines. D'autres jeux scientifiques lui ont emboîté le pas, comme *Flow Jam*. Tous ont pour point commun de transformer en mécanismes ludiques les actions fastidieuses, mais nécessaires à la résolution de problèmes complexes. Bien sûr, en raison des contraintes imposées, ces jeux sont difficiles et nécessitent un apprentissage plus ardu que les jeux traditionnels pour en maîtriser les règles. Mais leur efficacité est telle que l'on peut s'attendre à de nombreuses futures missions. ■

« Les capacités d'adaptation des humains sont plus efficaces que la puissance de calcul brut »

# LA FIN DU MOT DE PASSE

Par Victor Haumesser et Hal Hodson

Vous avez du mal à retenir vos innombrables mots de passe ? Ces solutions vont vous simplifier la vie.

Qu'est-ce qu'un bon mot de passe ? Il doit être composé d'un grand nombre de caractères, mélanger lettres, chiffres et symboles et ne pas avoir de logique apparente. À éviter donc, les « 123456 » et autres « password ». Mais plus un mot de passe est difficile à deviner, plus vous aurez du mal à vous en souvenir vous-même ! Et cette difficulté augmente encore avec la multitude de comptes auxquels on doit se connecter.

Mais il est fort possible que demain, vous soyez libérés de cette corvée. Des acteurs majeurs d'Internet veulent donner une forme « physique » à leurs solutions de sécurité. Prenez la Yubikey, développée par Google. Cette petite carte personnelle s'enfiche dans un port USB et délivre une assurance supplémentaire qui vient compléter l'identification par mot de

« un cristal de quelques millimètres permet de crypter plusieurs dizaines de Go d'informations »

Opal. Très simple d'utilisation, la copie est difficile, mais pas impossible. Pour éviter ce cas de figure, l'entreprise californienne Verayo a mis au point l'Opal, en s'inspirant des recherches que Srinivasa Devayya mène depuis une dizaine d'années au MIT. Son principe de fonctionnement se base sur les innombrables et infimes différences qui caractérisent un objet physique d'un autre apparemment semblable. En y envoyant un signal électromagnétique, on obtient une empreinte spécifique de ces variations. Concrètement, l'Opal est un petit boîtier gros comme le pouce.

Il contient une batterie et une puce électronique dont les imperfections, qui apparaissent au cours de la fabrication, sont uniques et non prédictibles. Une fois activé, l'Opal se synchronise en Bluetooth avec les appareils mobiles de son propriétaire : tablette, téléphone, ordinateur portable. Ceux-ci captent le signal et le comparent à celui enregistré sur les serveurs de Verayo. Si l'Opal est distant de plus d'un mètre, aucun mot de passe ne pourra être validé. Et en cas de perte ou de vol, Verayo pourra rendre

## DES PUCES DANS LES BOUCHONS EN LIÈGE !

Ce n'est pas un nouveau scandale qui touche le secteur vinicole, mais la parade mise en œuvre pour démasquer les vins contrefaits. Ceux-ci sont particulièrement nombreux en Asie, où la demande augmente. Une entreprise japonaise a déjà équipé 15 millions de bouteilles avec le système de Verayo. Si l'acheteur potentiel a un doute, il peut scanner la bouteille avec son téléphone et s'assurer de la qualité du contenu. ■

Opal inefficace en bloquant sa reconnaissance. Selon Roarke Horstmeyer du California Institute of Technology à Pasadena, cette technologie est promise à un bel avenir. Il a calculé que les irrégularités de structure d'un cristal de quelques millimètres cubes permettent de crypter plusieurs dizaines de gigaoctets d'informations... ■



## Les androïdes de Google

Par Victor Haumesser et Paul Marks

➔ Qu'est-ce qui peut bien pousser Google à s'intéresser si soudainement aux robots ?

Ce n'est pas une, mais bien huit entreprises spécialisées que le géant de l'Internet s'est offertes. Selon Andy Rubin, un de ses plus hauts dirigeants, qui vient de prendre la tête de la division robotique, ces achats s'inscrivent dans une vision sur dix ans et vont participer aux projets phares de la firme comme la voiture intelligente, la fameuse Google, Car. Mais il paraît tout de même difficile pour le moment de prédire à quoi ressembleront les futurs produits estampillés Google, étant donné la variété des robots

construits par ses nouvelles acquisitions : robots de compagnie humanoïdes ou non, caméras robotisées pour l'industrie des effets spéciaux visuels, automates industriels, et même d'inquiétants robots militaires que la société Boston Dynamics développe pour l'armée américaine. Une piste évoquée est celle d'un usage en interne de ces robots, à l'instar des autres poids lourds du secteur : Amazon a dépensé 750 millions de dollars pour acheter Kiva, un fabricant de robots manutentionnaires qui œuvreront dans ses immenses entrepôts, et Apple a prévu 10 milliards de dollars d'investissements pour automatiser ses usines. Mais n'oublions pas que la firme californienne est avant tout un spécialiste des



moteurs de recherche et de l'utilisation de l'information, qui sait tout de nos habitudes de consommation et qui amasse des fortunes en les exploitant. Selon Chris Melhuish, directeur du laboratoire Bristol Robotics, cette expertise robotique fraîchement acquise et l'expérience des moteurs de recherche permettraient de mettre sur le marché des robots-assistants dans les aéroports et les supermarchés. Mais une chose est sûre, étant donné la situation financière de Google, la rentabilité à court terme n'est pas impérative. Et comment ne pas faire de lien avec un objectif que Google médiatise peu : sa quête de l'intelligence artificielle. Celle-ci s'est accélérée, grâce au recrutement récent de Ray Kurzweil, le spécialiste mondial du cerveau artificiel et à des investissements massifs dans les recherches liées au post humanisme, ce courant qui prône l'usage sans réserve des nouvelles technologies pour créer l'humain du futur. ■

« Il paraît difficile pour le moment de prédire à quoi ressembleront les futurs produits estampillés Google »



# L'AGENDA 2014 des DÉCOUVERTES

... CE QUI NOUS ATTEND!

Prouesses technologiques, grandes découvertes, bouleversements environnementaux, l'année 2014 s'annonce d'ores et déjà captivante ! Si la science et notre planète nous réservent toujours des surprises, voici tout de même un aperçu de ce qui nous attend cette année.

Mais n'oublions pas trop vite 2013, année riche en événements scientifiques, technologiques et internationaux... Retour sur Higgs, Chelyabinsk, Kepler, Snowden, Haiyan, et autres noms ayant marqué ces derniers mois.



## L'AGENDA 2014 des DÉCOUVERTES

# ROSETTA EST-ELLE À L'HEURE À SON RENDEZ-VOUS ?

Le 20 janvier 2014, (nous imprimons ces pages juste avant!) Rosetta sortira du sommeil dans lequel elle était plongée depuis 4 ans. Lancée en 2004, cette sonde de l'Agence Spatiale Européenne a pour objectif la comète Churyumov-Gerasimenko, qu'elle rejoindra en août. Pour l'observer en détail, elle se placera en orbite durant

plusieurs semaines, avant d'envoyer le module Philae à sa surface. Ces deux exploits n'ont jamais été réalisés, et permettront d'obtenir des renseignements précieux sur la genèse du système solaire et de confirmer la présence de molécules organiques complexes au sein des comètes.

*Stuart Clarke et Victor Haumesser*



« Philae s'amarrera à la comète  
grâce à un harpon, puis analysera  
sur place sa composition »

## UN PETIT PAS VERS MARS

Bien qu'encore lointain, l'objectif d'envoyer une mission habitée sur Mars pourrait se rapprocher d'un grand pas dès cette année. L'Agence Spatiale Américaine a en effet programmé un vol inhabité de sa nouvelle capsule spatiale Orion. La réussite de ce test sera donc cruciale si la Nasa veut pouvoir envoyer un équipage sur la planète rouge à l'horizon 2035. De son côté, la société SpaceX lancera sa fusée Falcon Heavy, qui deviendra, en cas de réussite, le lanceur le plus puissant actuellement en opération, et qui pourrait être utilisée pour envoyer en plusieurs fois le matériel indispensable à la future mission martienne.

*Jacob Aron et Victor Haumesser*



## SÉQUENCER UN GÉNOME D'UN MILLION D'ANNÉES

Le plus ancien génome séquencé à ce jour a été révélé en juin 2013. S'il affiche l'âge tout à fait honorable de 700 000 ans, les généticiens veulent aller plus loin en franchissant le cap du million d'années. Se pourrait-il que la sensation en 2014 vienne du séquençage d'un ancien génome humain tel que celui d'un individu *Homo erectus*? Les généticiens, dont David Reich de l'École de Médecine Harvard, sont optimistes quant à la possibilité de découvrir

de l'ADN aussi ancien, même dans les climats chauds prisés par nos ancêtres, ce qui était inconcevable jusqu'à de récentes découvertes, l'ADN se conservant mieux dans le froid. Parmi les autres candidats au séquençage : le microbe de la peste bubonique *Yersinia pestis* ou le mammouth pourraient nous en apprendre beaucoup sur l'évolution et les écosystèmes aujourd'hui disparus.

*Michael Marshall et Marine Haquin*



## LE MONDE PERDU DE L'ANTARCTIQUE

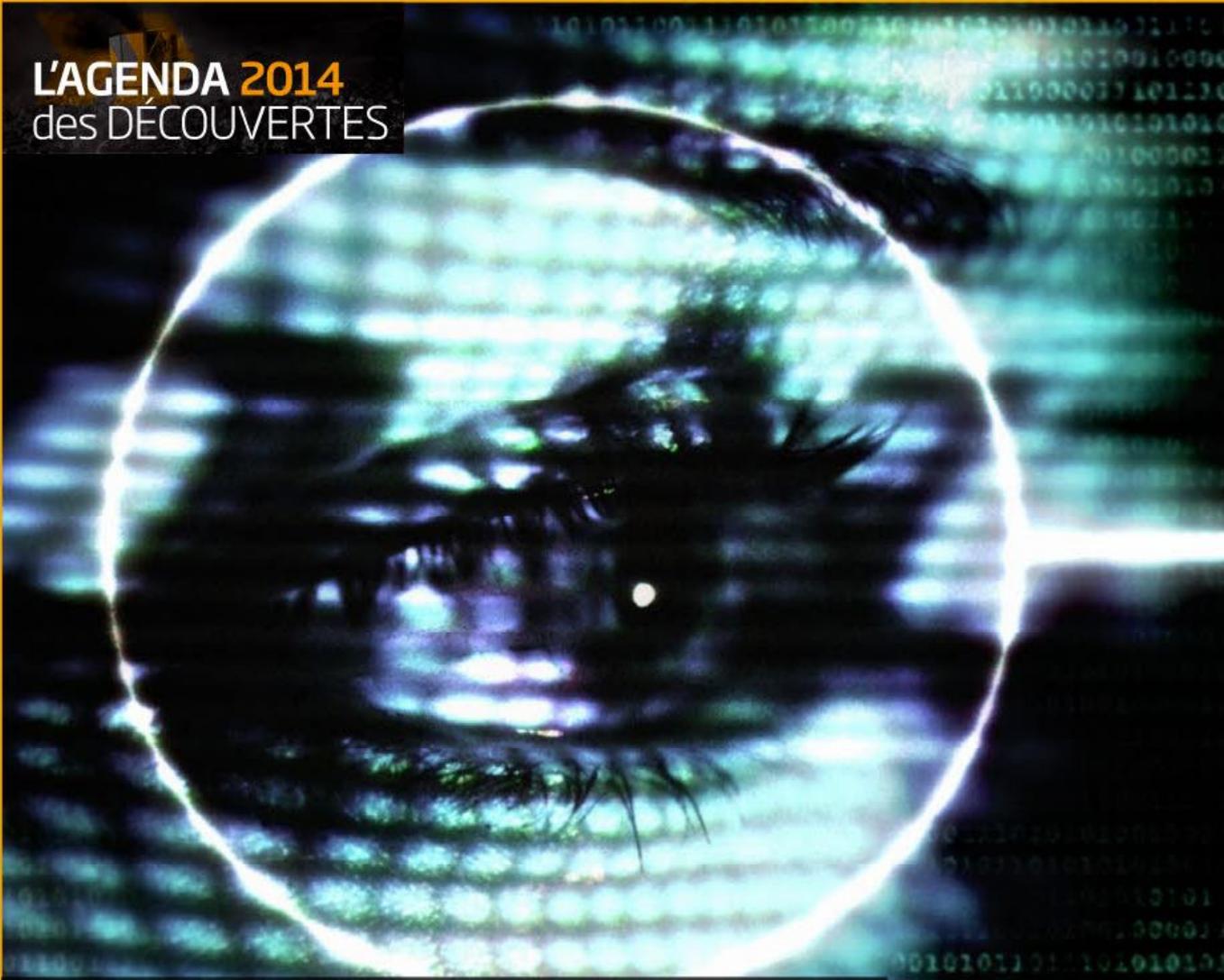
Nous projetons de visiter Mars, mais c'est un monde bien plus proche qui vient de s'ouvrir à nous : l'Antarctique. En 2013, une équipe russe a découvert de l'ADN dans le Lac Vostok, situé sous pas moins de 4 kilomètres de glaces antarctiques.

S'il s'avère qu'il n'y a eu aucune contamination au moment des prélèvements, 2014 révélera quelles formes de vie peuplent le lac : certainement des unicellulaires, mais pourquoi pas des organismes plus gros ? « Le meilleur moyen de répondre à la question est d'envoyer une caméra et simplement de regarder » s'enthousiasme déjà Martin Siegert de l'université de Bristol.

*Catherine Brahic et Marine Haquin*



« Le gros lot serait de séquencer l'ADN d'un ancêtre humain »



## L'AGENDA 2014 des DÉCOUVERTES

# AFFAIRE SNOWDEN, LES CONSÉQUENCES

Combien vaut la confiance ? Pas loin de 35 milliards de dollars. Soit, selon la Fondation pour la Technologie de l'Information et l'Innovation, le montant des pertes que pourraient subir en 2014 et 2015 les entreprises américaines, suite aux révélations d'Edward Snowden sur les programmes de surveillance d'Internet par les États-Unis, via la NSA et le programme PRISM.

Et s'il y avait un bon côté à cette crise ? Les utilisateurs semblent apparemment de plus en plus sensibles à la protection de leurs données personnelles. Des outils informatiques plus respectueux de la vie privée, comme le moteur de recherche DuckDuckGo qui promet de ne pas collecter de données personnelles, connaissent un succès grandissant.  
*Paul Marks et Victor Haumesser*

## LUNETTES EN VUE

Les très attendues Google Glass, ces lunettes bardées de technologies, seront mises en vente au cours de l'année. Caméra embarquée, connexion à Internet, reconnaissance spatiale : Google vante les services qu'elles pourront rendre dans les domaines de l'assistance personnelle ou de l'éducation. Gageons qu'elles seront aussi capables, comme les autres produits de la firme, de délivrer des publicités personnalisées ciblant au plus près l'utilisateur.

*Hal Hodson et Victor Haumesser*



JUSTIN SULLIVAN/GETTY IMAGES

« Nous pourrions observer les premiers signes d'une fragmentation d'Internet »

## LE PREMIER BÉBÉ À TROIS PARENTS BIOLOGIQUES

Certains parlements européens sont en plein débat éthique sur une loi autorisant une nouvelle forme de fécondation *in vitro* : associer le spermatozoïde du père à l'ovocyte d'une donneuse dont le noyau aurait été remplacé par celui de la mère. L'idée est de ne pas utiliser l'ADN mitochondrial (ADNm, qui

n'est pas dans le noyau) défectueux de la mère, mais de conserver l'essentiel de ses informations génétiques, qui sont-elles dans le noyau. Bien que ne contribuant qu'à 0,1 % du patrimoine génétique total, une mutation sur l'ADNm peut causer cécité, démence ou encore

épilepsie. D'où l'importance de recourir à une donneuse si les risques sont bien présents. L'utilisation du noyau de la future mère implique qu'elle sera bien la mère biologique de l'enfant et que celui-ci portera ses gènes : il pourra lui ressembler autant qu'au père.  
*Jessica Griggs et Marine Haquin*



« Avoir un enfant sans  
prendre le risque de  
lui transmettre une  
maladie génétique »

## MARCHER DE NOUVEAU GRÂCE À UN EXOSQUELETTE

The Walk Again Project (projet Marche de Nouveau) est une collaboration internationale visant à surmonter la paralysie. Un exosquelette a été créé pour supporter le bas du corps paralysé. Les signaux créés par le cerveau pour réaliser un mouvement sont transmis à un ordinateur grâce à des électrodes placées sur le crâne ou dans le cerveau lui-même, les signaux sont ensuite convertis en mouvements, l'exosquelette est ainsi directement contrôlé par la pensée.

Afin de donner l'impression que l'exosquelette est bien une partie du corps de l'utilisateur, les chercheurs planent sur l'ajout de récepteurs pour transmettre des sensations de toucher, de chaleur, de dureté du sol. Le 12 juin 2014, un adolescent devrait, grâce à son exosquelette, donner le coup d'envoi de la Coupe du Monde de Football au Brésil en tapant dans un ballon.

*Helen Thomson et Marine Haquin*

## L'AGENDA 2014 des DÉCOUVERTES

### FAIRE LE PLEIN... D'HYDROGÈNE LIQUIDE

La Hyundai Tucson va révolutionner le marché automobile au printemps 2014. Ses piles à combustible combinent l'hydrogène du réservoir à l'oxygène de l'air, créant une réaction électrochimique qui génère un courant alimentant le moteur. Le seul produit rejeté lors de la réaction étant de l'eau, la Tucson est la voiture la plus verte jamais créée. Faire le plein d'hydrogène ne prend que quelques minutes et le réservoir doit tenir 480 kilomètres, sachant que cette voiture peut atteindre les 160 km/h. Bientôt proposée en location en Caroline du Sud (États-Unis), la Tucson se veut sûre : elle a brillamment réussi les multiples crachs-tests auxquels elle a été soumise et un conduit d'aération évacue le gaz hors du véhicule en cas de fuite. Écologique et sécurisée...

# D'APRÈS LE GIEC, IL FAUT SE PRÉPARER À TOUT

Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC ou Intergovernmental Panel on Climate Change en anglais) révélera son dernier rapport en mars : Impacts, Adaptation and Vulnerability.

L'analyse a pour but de prédire comment les tendances climatiques actuelles devraient changer certains aspects essentiels de nos vies : nourriture, apports en eau, vie sauvage, économie nationale et

bien d'autres sujets sont abordés dans cette première tentative en sept ans de prévoir l'impact des changements climatiques sur des régions géographiques précises. Ainsi le sud de l'Europe doit se préparer à voir les sécheresses se multiplier et le Canada à accueillir toujours plus de pluie et de neige. Certaines régions ou certains aspects du climat restent très durs à prévoir tant celui-ci est le résultat de nombreux facteurs et

interactions complexes.

En l'absence d'indications, comment se préparer à l'avenir ? Le plus judicieux serait de nous rendre moins vulnérables à tout changement, par exemple en mettant au point des cultures résistantes à la fois aux crues et aux sécheresses. La polyvalence pourrait bien être la clé pour survivre aux futurs changements climatiques.

*Fred Pearce et Marine Haquin*

« Nous devons nous rendre moins vulnérable à tout changement »

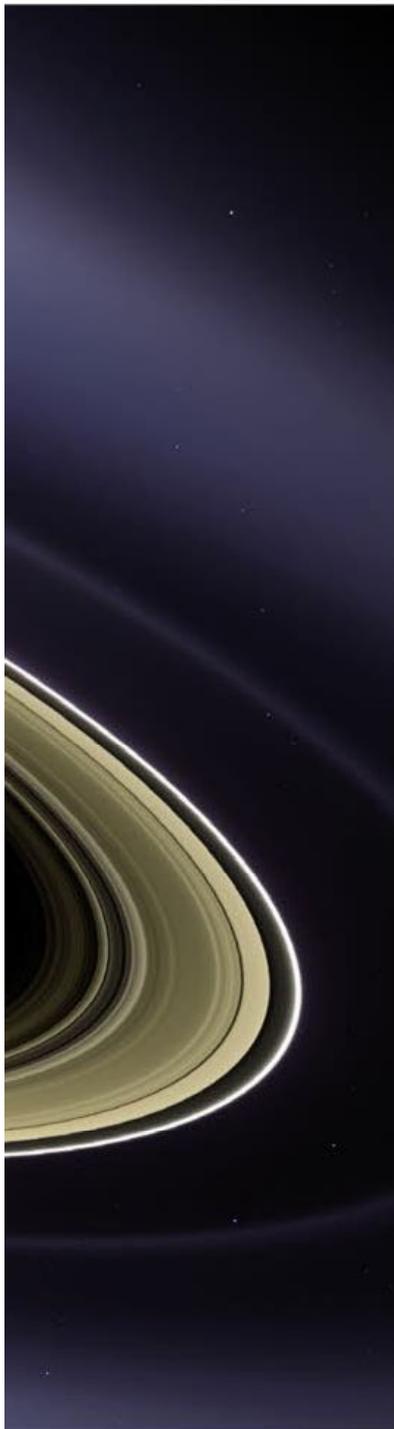
# Ce qu'il faut retenir de



NASA/PI-CALTECH/SSS

📌 Capture de Saturne rétro-éclairée par le soleil prise par le vaisseau de la Nasa, Cassini, en juillet 2013.

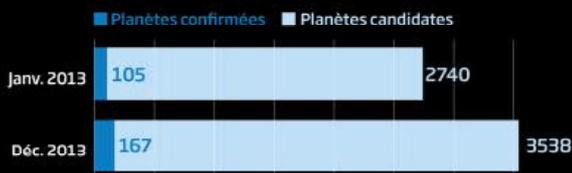
# 2013



## JANVIER

L'année commence plutôt mal : une pièce vitale de Kepler casse. Le télescope chasseur d'exoplanètes ne peut plus chercher de nouvelles planètes, mais les données déjà enregistrées restent précieuses.

### Kepler n'est plus, mais le travail continue



## FÉVRIER

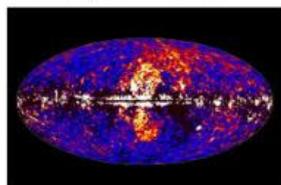
Une météorite explose au-dessus de la région de Chelyabinsk en Russie. Elle pourrait donner une idée des dégâts infligés par de plus gros objets.

La fondation Inspiration Mars annonce son projet d'envoyer deux personnes sur Mars le 5 janvier 2018.



## MARS

L'Agence Spatiale Européenne dévoile la carte du fond diffus cosmologique dans une résolution jamais atteinte.



## AVRIL

Google teste le premier ordinateur que l'on porte sur soi : Glass, comme des lunettes.

## MAI

La grippe aviaire H7N9 se répand chez des hommes, en Chine.

Le taux de CO2 atmosphérique passe la barre symbolique des 400 parties par millions.

## JUIN

Le lanceur d'alerte Edward Snowden révèle les détails de la surveillance massive menée par l'Agence Nationale de Sécurité américaine (NSA).

Mise au jour du plus ancien squelette primate jamais découvert.

## JUILLET

L'Agence internationale de l'énergie prédit qu'en 2016, les énergies renouvelables seront la 2e source d'électricité derrière le charbon.

Naissance du premier bébé dont le génome aura été entièrement séquencé avant fécondation.

## AOÛT

Une attaque au gaz tue des centaines de personnes à Damas en Syrie, alimentant la guerre civile.



Premier hamburger à base de viande créée en laboratoire.

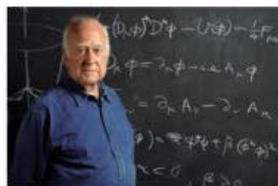
## SEPTEMBRE

Un rapport du Groupe d'experts sur l'évolution du climat rend l'homme responsable du réchauffement climatique.



## OCTOBRE

Peter Higgs reçoit le prix Nobel de physique après confirmation de l'existence du boson de Higgs.



## NOVEMBRE

Le typhon Haiyan dévaste les Philippines. Il est certainement le plus fort à avoir traversé des terres.

L'émission des gaz à effet de serre semble ralentir.

## DÉCEMBRE

Preuve que la mémoire se transmet. Une souris réagit à une odeur expérimentée par ses grands-parents.



# Et si nous n'avions

➔ Si nous pouvions voyager dans le temps et observer la Terre d'il y a 125 000 ans, que verrions-nous? À quoi ressemblerait la Terre avant que l'homme n'ait un impact irréversible sur elle? Et si nous n'avions jamais existé, que serait devenue notre planète?

Par Marine Haquin et Christopher Kemp

**S**i 125 000 ans ne signifient pas grand-chose en termes géologiques, ces 125 000 mêmes années représentent presque l'intégralité de notre existence à nous, *Homo sapiens*. Imaginez que l'on puisse regarder ces années comme un film, diffusé à l'envers. En remontant si loin dans le temps, nous pourrions voir ce qu'était la Terre avant que nous, les hommes, y laissions une profonde empreinte. Et puisqu'on y est, pourquoi ne pourrions-nous pas lancer un nouveau film et regarder la Terre reprendre le cours de son existence, sans nous! Commençons par remonter tranquillement le cours du temps. Chaque minute, des bois et des forêts naturels sont restaurés sur une surface équi-



# jamais existé...

valente à dix terrains de football. Au bout d'un an, c'est la surface du Danemark qui est reboisée, en seulement 150 ans, l'essentiel de ce que nous avons détruit reprend paisiblement le cours de son existence. Dans le même temps, les zones urbaines se réduisent. Les métropoles deviennent des villes, puis des villages nichés au cœur de campagnes intactes. Les rivières retrouvent leur cours naturel, le fond des mers est débarrassé de ses épaves et autres pipelines. Les restes des 108 milliards d'humains qui ont séjourné sur la Terre disparaissent des sols, remplacés petit à petit par les carburants fossiles, pierres précieuses et métaux que nous avons extraits. Des tonnes de polluants, dont le carbone et le dioxyde de soufre sont éliminés de

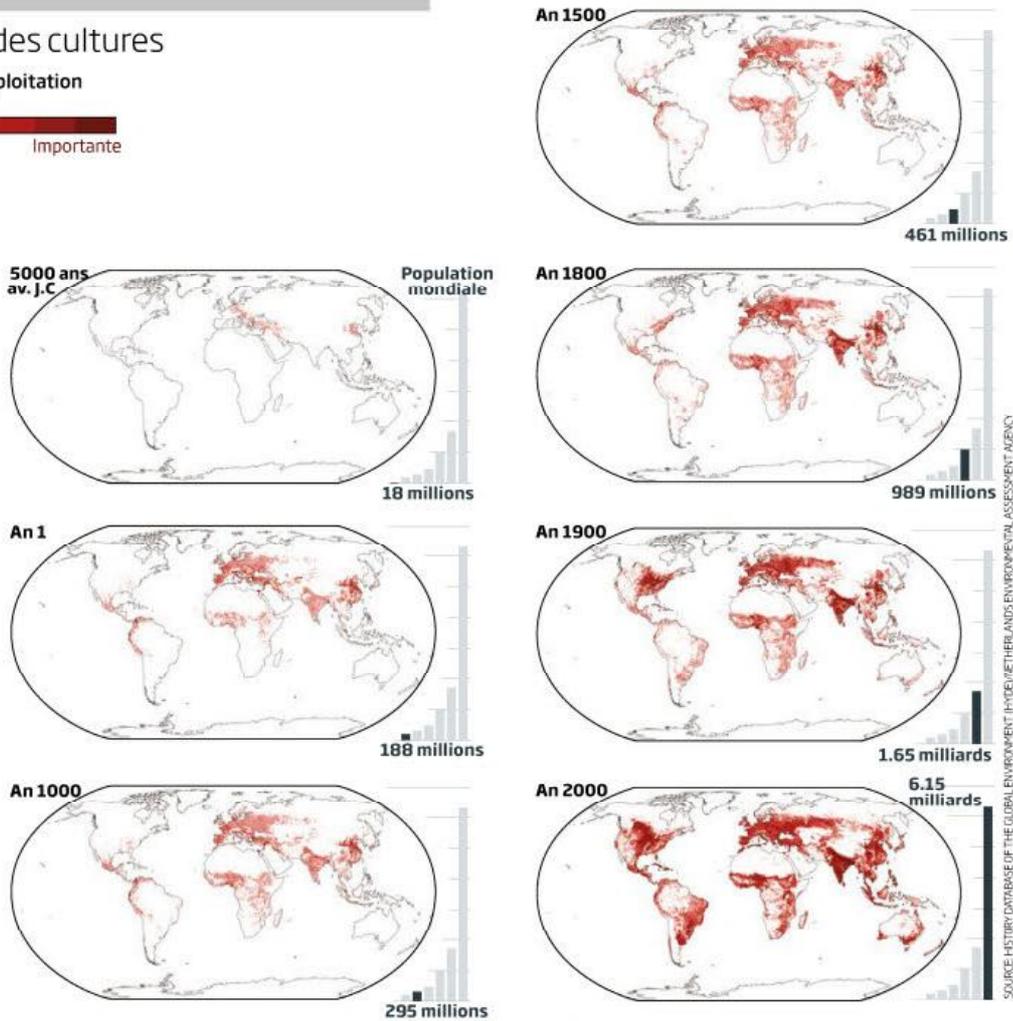
l'atmosphère. Après avoir traversé une longue période glaciaire, le climat se réchauffe, les banquises continentales reculent depuis le sud de l'Allemagne en Europe, depuis l'Illinois en Amérique. Et nous arrivons au début du film : il y a 125 000 ans.

## La Terre avant l'homme

Nous sommes donc sur une Terre débarrassée de 125 000 ans d'exploitation par l'homme. Que voyons-nous ? Nous sommes en plein Émien, une période interglaciaire au climat tempéré qui a duré 15 000 ans. Il y fait un peu plus chaud qu'aujourd'hui, le niveau des océans est également plus élevé. Et qui s'épanouit sous ce doux climat ? ▶

## Surface des cultures

Intensité d'exploitation



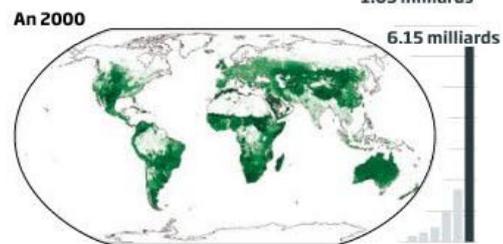
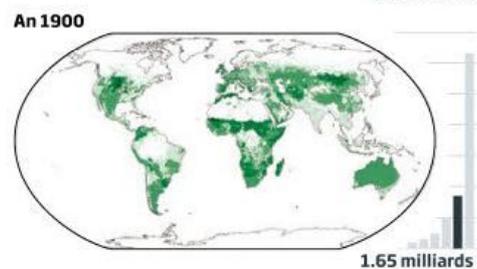
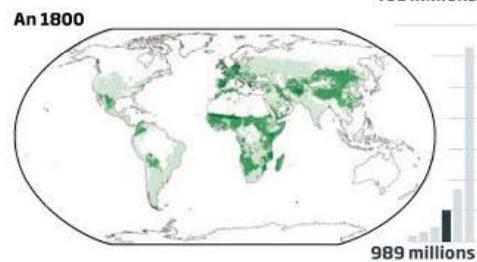
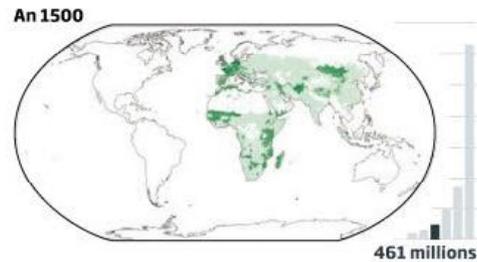
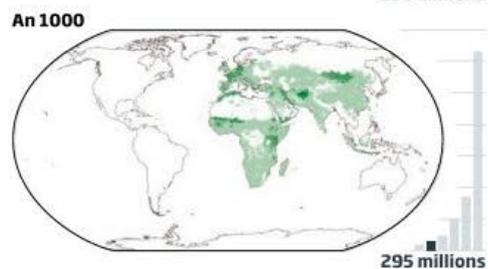
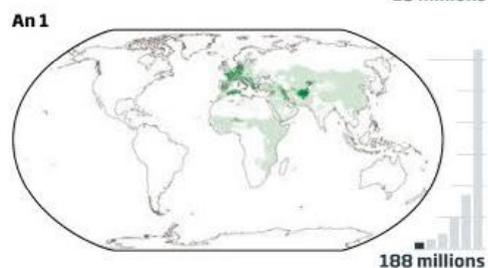
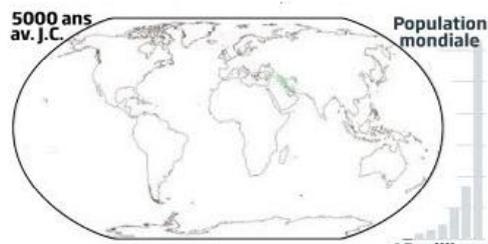
► L'Homo sapiens ! L'espèce est apparue dans l'est de l'Afrique et on devait dénombrer entre 10 000 et 100 000 têtes il y a 125 000 ans. À l'époque, quelques chasseurs commencent à peine à s'aventurer hors de leur territoire ancestral à la conquête du monde, peuplé de grands animaux. Des baleines règnent sur les océans, des troupeaux d'herbivores broutent sur les terres. « Je pense que si vous pouviez vous téléporter dans ce monde-là, la première chose que vous remarqueriez, c'est cette mégafaune, imagine Jed Kaplan, historien de l'environnement à l'Institut des Sciences et de l'environnement de Genève. Vous verriez ces troupeaux d'énormes animaux parcourant le monde, les mammoths laineux en Arctique, de gros félins en

Europe, peut-être des chevaux en Amérique, des bisons, des ours, des loups, ce genre d'animaux de meutes partout sur la planète. » Il ne faut pas oublier non plus qu'à cette époque, nos ancêtres n'étaient pas les seuls humains, au

**« Si vous pouviez vous téléporter il y a 125 000 ans, la première chose que vous remarqueriez, c'est la mégafaune »**

## Surface des pâturages

Intensité d'exploitation



moins trois espèces d'*Homo* cohabitaient sur cette planète : *Homo sapiens* en Afrique, *Homo erectus* en Asie et *Homo neandertalensis* en Europe. Évidemment, nous ne savons pas tout, d'autres espèces, dont nous n'avons pas retrouvé les traces, se battaient peut-être pour leur survie.

### 125 000 ans de vie humaine

Il y a environ 100 000 ans, l'homme a significativement changé son style de vie et tout s'est accéléré. Encouragé par un climat agréable, de la nourriture à portée de lances et une confiance qui l'a poussé à agrandir son territoire, l'homme a pris ses aises sur la planète. Nous sommes aujourd'hui plus de 7 milliards.

Les sols ont été complètement transformés. Partout ils ont été façonnés par l'agriculture notamment : pâturages et cultures occupent aujourd'hui plus d'un tiers des terres.

En se dispersant tout autour du monde, l'homme a modifié l'équilibre de nombreux écosystèmes, causant au passage la disparition de bien des espèces : le dodo a disparu en 1662, le grand pingouin en 1852, le loup des Falklands en 1876 ou le pigeon migrateur en 1914 entre autres exemples. Les vagues de disparition ne se sont pas cantonnées aux continents, la faune océanique a également souffert de l'envahisseur humain. Prenons l'exemple des baleines. La chasse a décimé les populations et la variété de ces cétacés. Une étude ►

► controversée publiée dans *Science* estime qu'avant la chasse intensive de la baleine à bosse, la population était d'environ 1,5 million d'individus contre 100 000 aujourd'hui, d'après la Commission baleinière internationale. Et l'histoire est la même pour le grand cachalot ou la baleine boréale.

Autre conséquence de l'expansion d'*Homo sapiens* : le réchauffement climatique engendré notamment par l'augmentation du niveau de dioxyde de carbone atmosphérique. Cette augmentation est en partie due à la consommation de carburants fossiles. En effet, durant le

XXe siècle, notre consommation d'énergie a été multipliée par 16. D'après un article de l'*International Journal of Oil, Gas and Coal Technology*, depuis 1870, nous avons extrait du sol 944 milliards de barils de pétrole, soit 135 milliards de tonnes. Durant l'année 2011, 1 milliard de tonnes de charbon sont sorties des mines américaines, 3 milliards des mines chinoises. La déforestation n'est pas non plus étrangère aux problèmes climatiques : durant des millions d'années, ces étendues boisées ont agi comme un puits de carbone, moins d'arbres signifie moins d'absorption, le carbone reste donc dans l'atmosphère. Tout autour du monde, quelques glaciers sont en expansion, mais dix fois plus sont en voie de disparition. La banquise se craquelle causant la fuite d'immenses icebergs vers les océans. Pas plus tard que cet été, un morceau de la taille de New York s'est détaché du glacier de Pine Island en Antarctique après l'apparition d'une fissure longue de 30 km.

### Tout recommencer, sans nous !

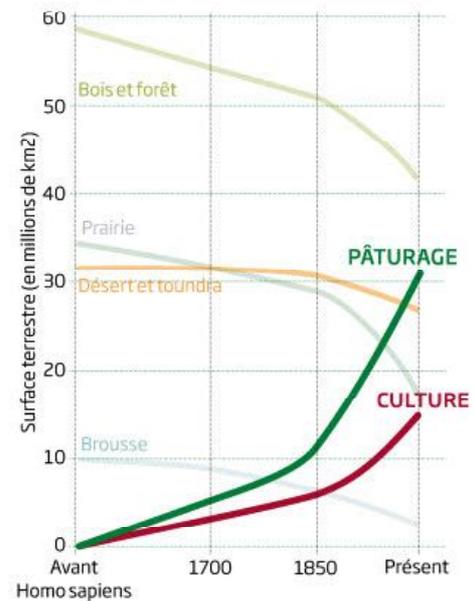
En remontant le cours des 125 000 dernières années, nous avons effacé tous ces impacts de



La chasse à la baleine du XXe siècle a décimé les populations.

## Les terres exploitées

L'agriculture occupe aujourd'hui plus du tiers des 135 millions km<sup>2</sup> de surface continentale terrestre.





J. REIDEN - GETTY IMAGES

De grands troupeaux d'herbivores foulaient les plaines il y a 125 000 ans.

l'activité humaine. Imaginons maintenant qu'une catastrophe soit arrivée il y a 125 000 ans, en Afrique de l'Est, une épidémie ou une sécheresse, terrassant nos jeunes ancêtres *Homo sapiens*. Regardons maintenant le film de la Terre... sans nous. D'un côté un scénario évident serait que cette Terre au visage alternatif serait similaire à la Terre d'il y a 125 000 ans : « une biosphère continue tout autour du globe, des savanes, des forêts, à perte de vue », décrit Jan Zalasiewicz, géologue à l'université de Leicester (Angleterre). De grands animaux peuplent les plaines et les océans grouillent de baleines et poissons. Mais cette quiétude pourrait être utopique. L'idée est encore sujette à controverse, mais il se pourrait que sans 125 000 ans d'acti-

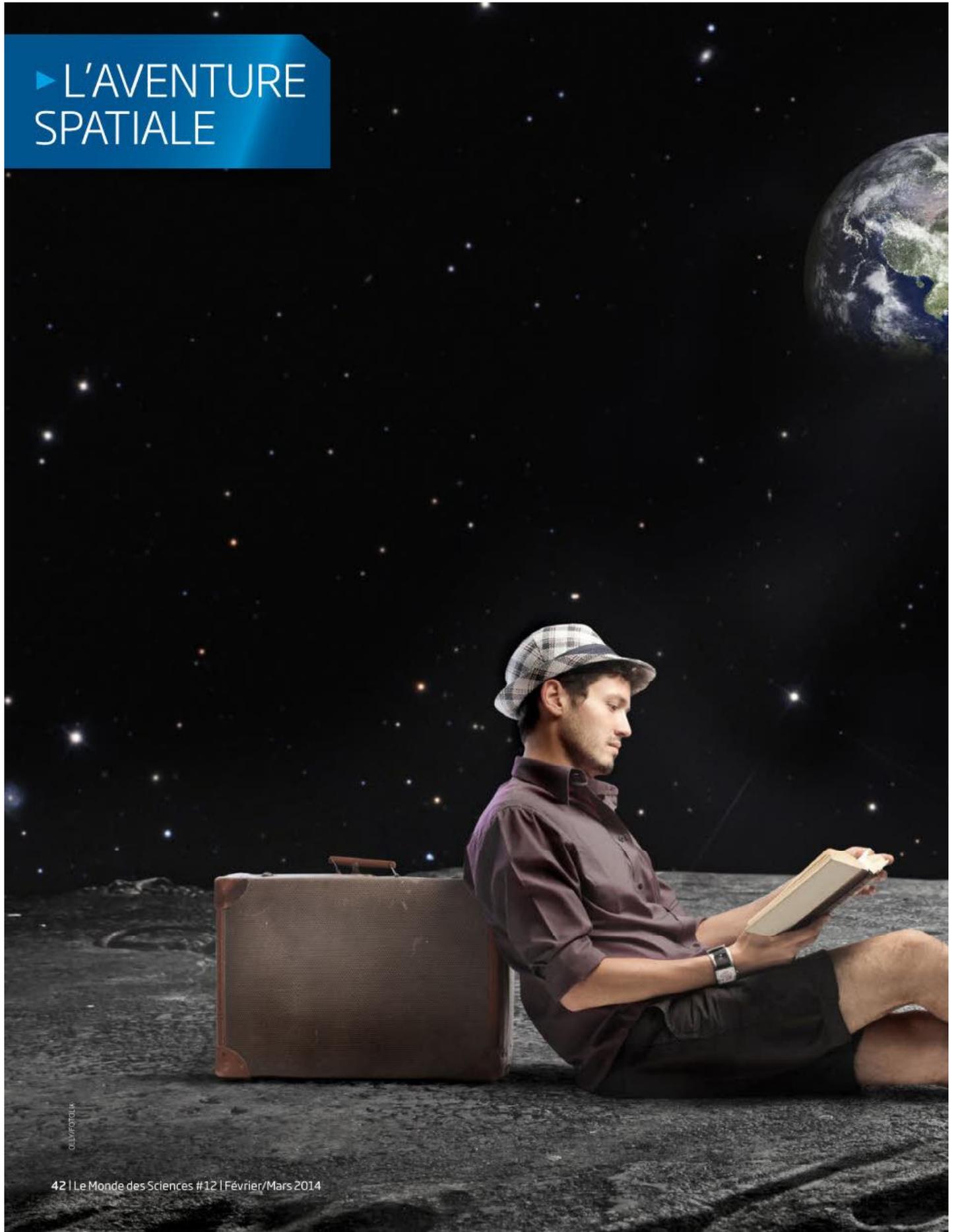
tivité humaine, la Terre de 2013 soit à l'aube d'une nouvelle ère glaciaire : banquises et toundra seraient plus fréquentes que les prairies luxuriantes. Les glaces recouvriraient l'archipel canadien et le nord de la Sibérie.

À moins qu'une autre espèce ait pris le contrôle de la planète ! N'oublions pas que notre espèce a, un jour, été contemporaine d'*Homo erectus* et *Homo néandertalensis*. Peut-être que sans *Homo sapiens*, l'une de ces deux espèces aurait conquis le monde à sa place et aurait tout bonnement exploité la planète de la même manière. David Grinspoon, conservateur au Museum de la Nature et de la Science du Colorado, raconte : « il y a une théorie, appelée évolution convergente, qui dit que si nous ne faisons pas les choses, quelqu'un d'autre les fait. Il y aurait une pression sélective sur d'autres espèces pour les conduire à une évolution similaire à la nôtre : développement cérébral, apparition du langage, création de l'agriculture ».

Ainsi, nous aurions beau replanter toutes les forêts, retrouver les espèces disparues et n'enlever qu'*Homo sapiens* de l'équation, le visage de la Terre serait peut-être bien le même 125 000 ans plus tard. ■

« Imaginons qu'une catastrophe ait éliminé nos ancêtres *Homo sapiens*. Que serait devenue la Terre ? »

► L'AVENTURE  
SPATIALE



OLIVIERO TOLSON



➤ Raid au cœur du désert marocain, via ferrata dans les dolomites, trekking en pleine jungle thaïlandaise : oubliez tout cela, l'aventure touristique prend aujourd'hui une nouvelle dimension. Destination : l'espace ! L'anglais Nigel Henbest nous raconte comment il prépare ses prochaines vacances... sans gravité !

Par Marine Haquin et Nigel Henbest

# Un astronaute amateur dans l'espace !

*Lundi 23 septembre  
Aéroport international de Los Angeles,  
Californie.*

À mon arrivée à l'aéroport de Los Angeles, un agent des services de l'immigration me demande de préciser la nature de mon « voyage d'affaires ». Je me surprends à répondre, très naturellement : « je suis un futur astronaute de Virgin Galactic ». Je constate que l'agent, lui, n'est pas surpris, il semble même bien connaître l'entreprise spatiale de Richard Branson. Depuis tout petit, je rêve d'aventure spatiale. Je me souviens de l'émotion ressentie en tenant ma radio transistor tout près de mon oreille pour entendre Neil Armstrong faire ses premiers pas sur la Lune en 1969.

En 2008, je buvais une bière en compagnie d'un ami avec lequel j'ai fondé une société de production. La discussion s'égarant sur le sujet des voyages spatiaux, mon ami plaisantait : « Tu sais, si tes associés rachetaient tes parts de l'entreprise, tu pourrais aller dans l'espace avec Virgin Galactic ! » Quelques mois plus tard, c'était chose faite, j'étais l'heureux propriétaire du ticket numéro 249 à destination de l'espace. ➤



*Eve, le "vaisseau mère" et moi*

► *Mercredi 25 septembre  
Mojave, Californie.*

Le soleil se lève à peine lorsque j'aperçois l'écriteau : « Mojave Air and Space Port - Home of SpaceShipOne » (aéro- et astroport de Mojave, Résidence de SpaceShipOne). Je distingue alors SpaceShipTwo, l'impressionnant avion spatial qui accueillera les touristes de l'espace. J'imagine déjà : SpaceShipTwo est transporté par un « vaisseau mère », nommé Eve. Eve accompagne l'avion spatial à une altitude de 15 kilomètres avant de laisser le pilote de SpaceShipTwo prendre les commandes. L'avion passe le mur du son. En 90 secondes à peine, nous atteignons 100 kilomètres d'altitude. Les gaz sont coupés. Emportés par notre élan, nous continuons notre ascension pendant quelques minutes. Puis la gravité nous rappelle à l'ordre.

En attendant ce grand moment, nous avons la chance de voir l'envers du décor. Nous visitons un hangar, immense, dans lequel se construisent deux vaisseaux mères et trois avions spatiaux. On nous présente ensuite le lieu le plus secret de Mojave, les photographies y sont strictement interdites : l'atelier de fabrication des fauteuils !

Le briefing continue avec quelques recommandations, nous devons rester en forme et faire des exercices cardio-vasculaires en attendant le grand voyage. Puis des pilotes nous décrivent leurs sensa-

*Mardi 24 septembre  
Beverly-Hills, Californie.*

Alors que j'arrive à l'hôtel, les portes s'ouvrent sur un tapis rouge où d'élégants invités sirotent du champagne. Bien que le tarif de 250 000 \$ (environ 185 000 €) l'excursion d'une journée dans l'espace soit loin d'être la plus chère, on peut malgré tout qualifier les astronautes de Virgin Galactic de nantis. Mais lors d'une précédente soirée Virgin, j'ai pu rencontrer une personne encore plus privilégiée que moi : la chanteuse anglaise Sarah Brightman. Elle a récemment payé plus de 2 500 000 € pour une semaine entière à bord de la Station Spatiale Internationale !



*Richard Branson et moi*

tions durant un vol à bord de Eve ou de SpaceShipOne. Cependant l'audience est impatiente et n'a qu'une seule question pour Richard Branson : « QUAND ? ». Virgin Galactic accumule les retards depuis le lancement du projet, mais Richard Branson se veut rassurant, il prévoit le premier vol avec passagers vers le milieu de l'année 2014.

Lorsque le soleil se couche sur Los Angeles, la fête bat son plein au California Science Centre où se tient la légendaire soirée annuelle de Virgin Galactic.



*En apesanteur !*

*Jendredi 26 septembre  
Aéroport de Bob Hope à Burbank,  
Californie.*

Je suis à bord de l'avion Zero-G, zéro gravité. Je vais vivre ma première expérience sans gravité. Ce qui est moins réjouissant, c'est que cet avion est affectueusement surnommé « Vomit Comet », la comète de vomit. Sans commentaire. Vomit Comet est un Boeing 747 modifié qui peut prendre de l'altitude dans un angle de 45° tout en effectuant quinze boucles paraboliques. Chaque boucle offre 30 secondes d'apesanteur durant lesquelles les joyeux futurs astronautes expérimentent cette sensation, que le corps ne supporte pas toujours bien ! J'ai eu la chance de croiser George Whitesides, directeur général de Virgin Galactic, qui m'a révélé le secret pour résister à Vomit Comet : fixer le plafond du regard et ne surtout pas ciller durant les phases d'accélération.

Lorsque l'avion atteint le sommet de sa première boucle, je subis une gravité faible, similaire à celle sur Mars. Lors des deux boucles suivantes nous nous sentons comme sur la Lune. Puis, enfin, nous expérimentons la fameuse zéro-g. J'entre en lévitation !

Après avoir été totalement désorienté durant deux boucles, je commence à contrôler mes rebonds et me voilà qui flotte, au milieu de la cabine. Instinctivement je me mets à nager, c'est précisément ce que l'on m'a dit de ne pas faire : je n'avance pas et en plus je donne des coups à mes camarades.



*Superman n'a qu'à  
bien se tenir !*

Finalement, je commence à maîtriser l'art de l'acrobatie en apesanteur. Une impulsion contre la paroi et me voilà qui traverse la cabine tel Superman. Je comprends pourquoi ce vol d'entraînement est conseillé : notre vol dans l'espace ne durera que peu de temps, il serait dommage de perdre de précieuses minutes en se débattant et en mettant des coups partout ! Durant l'avant-dernière boucle, alors que je perfectionne mon déplacement dans la cabine, je m'aperçois que du sang s'échappe de ma tête. Je ne sais quel objet j'ai heurté, mais ce petit accident m'oblige à passer le reste du vol assis bien que ma blessure soit superficielle. Non sans regret, je retrouve la terre ferme. Après cette expérience, mon compatriote britannique Julian Ranger me révèle que son inspiration a toujours été Biggles, personnage d'une BD anglaise, inspiré des Tanguy et Laverdure français. « C'est pour cela que je me suis dirigé vers l'aérospatiale et que j'ai voyagé dans le monde entier », m'a révélé Julian. Il est aujourd'hui entrepreneur, il travaille avec une équipe ambitionnant de décrocher le prochain X Prize en envoyant un rover privé sur la Lune. Puis, la tête déjà dans les étoiles Julian résume l'extraordinaire aventure qui nous attend : « Tu sais ce que nous faisons là ? Nous sommes en train de vivre nos rêves d'enfant ». ■

# Quand l'univers surgit

➔ L'analyse des données recueillies par le satellite Planck apporte de nouvelles lumières sur les débuts de l'Univers.

Par Hélène Perrin et Maggie McKee

**F**in de mission pour Planck : l'Europe a éteint sa machine à remonter le temps. Lancé en 2009 pour étudier les origines de l'Univers, le télescope européen a été désactivé le mercredi 23 octobre 2013. À son bord, deux instruments, LFI (Low Frequency Instrument) et HFI (High Frequency Instrument), ont observé le ciel dans le domaine radio pour le premier, dans le domaine submillimétrique et infrarouge lointain pour le second. Au cœur de sa mission, la cartographie du fond diffus cosmologique, le fameux CMB (Cosmic Microwave Back-

ground). Ce rayonnement électromagnétique fossile a été émis seulement 380 000 ans après le Big Bang, à l'époque où l'Univers était bien plus dense et chaud qu'actuellement. Il a depuis été dilué et refroidi et nous apparaît désormais comme un rayonnement très froid, moins de 3 Kelvin (-270 °C). Ce sont ces photons, vestiges des premiers temps de l'Univers, que Planck a recueillis et étudiés. Avant lui, deux autres satellites, COBE puis WMAP avaient déjà fourni une cartographie du CMB. Mais pas avec la même précision ! « Planck a environ deux fois la résolu-





tion angulaire et dix fois la sensibilité de WMAP », précise Martin Bucher, Directeur de recherche au CNRS au Laboratoire Astroparticules et Cosmologie (APC) de l'université Paris 7, et collaborateur de la mission Planck. Avec, à la clef, des éléments de réponse sur une question qui agite les cosmologistes : l'inflation.

#### **Une isotropie trop parfaite**

Les observations du CMB fournies par Planck ont confirmé que sa température était extrêmement uniforme sur tout le ciel. Elle ne varie que de

quelques millièmes de Kelvin (0,000001 K). Quelle que soit la direction du ciel dans lequel on l'observe, le rayonnement possède les mêmes caractéristiques. Et cette isotropie, soit l'absence de variation des propriétés physiques, pose problème. Comment expliquer que des portions du ciel qui sont trop éloignées les unes des autres pour avoir pu interagir depuis que l'Univers existe soient aussi semblables ? De notre point de vue d'observation terrestre, nous nous trouvons à mi-chemin entre des régions du ciel entre lesquelles aucune lumière, et donc aucune information, n'a ►

## « Les légères fluctuations de température que nous observons seraient les héritières des petites fluctuations quantiques qui agitaient l'Univers au moment où il a connu sa phase d'inflation »

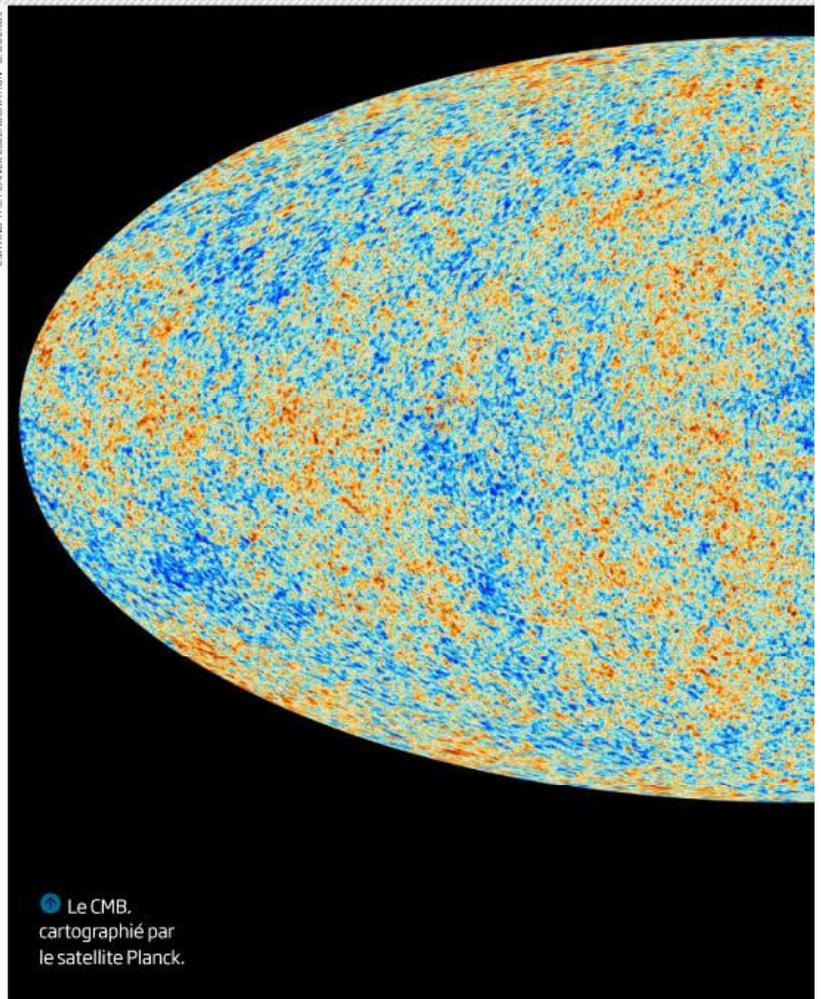
► eu le temps de transiter. Pourquoi des régions qui ont a priori évolué sans influence l'une sur l'autre présenteraient-elles de telles similitudes ?

### La solution de l'inflation

Pour résoudre ce paradoxe et expliquer les petits écarts à l'uniformité parfaite observés sur le fond diffus cosmologique, les cosmologistes ont imaginé un scénario surprenant : l'inflation. La région de l'Univers que nous voyons aujourd'hui, et qui s'étale sur plusieurs dizaines de milliards d'années-lumière, a été, à un moment de l'histoire de l'Univers, suffisamment petite pour avoir eu le temps de s'uniformiser. Elle aurait ensuite subi une phase d'expansion, très brève, mais très violente, qui lui aurait fait atteindre une taille beaucoup plus grande que celle de l'Univers observable. L'inflation se serait déroulée extrêmement tôt dans l'histoire de l'Univers ( $10^{-32}$  secondes après le Big Bang, il y a 13,8 milliards d'années), quand sa température était voisine de  $10^{29}$  K. Voilà qui expliquerait pourquoi des régions de l'Univers, très éloignées actuellement, mais très proches avant l'inflation, présentent des caractéristiques aussi semblables.

Et l'attrait de l'inflation ne s'arrête pas là. Cette théorie explique également la formation et l'agencement des grandes structures de l'Univers, comme les galaxies. Les légères fluctuations de température que nous observons sur le CMB seraient les héritières des petites fluctua-

ESA AND THE PLANCK COLLABORATION - D. BUCERUS

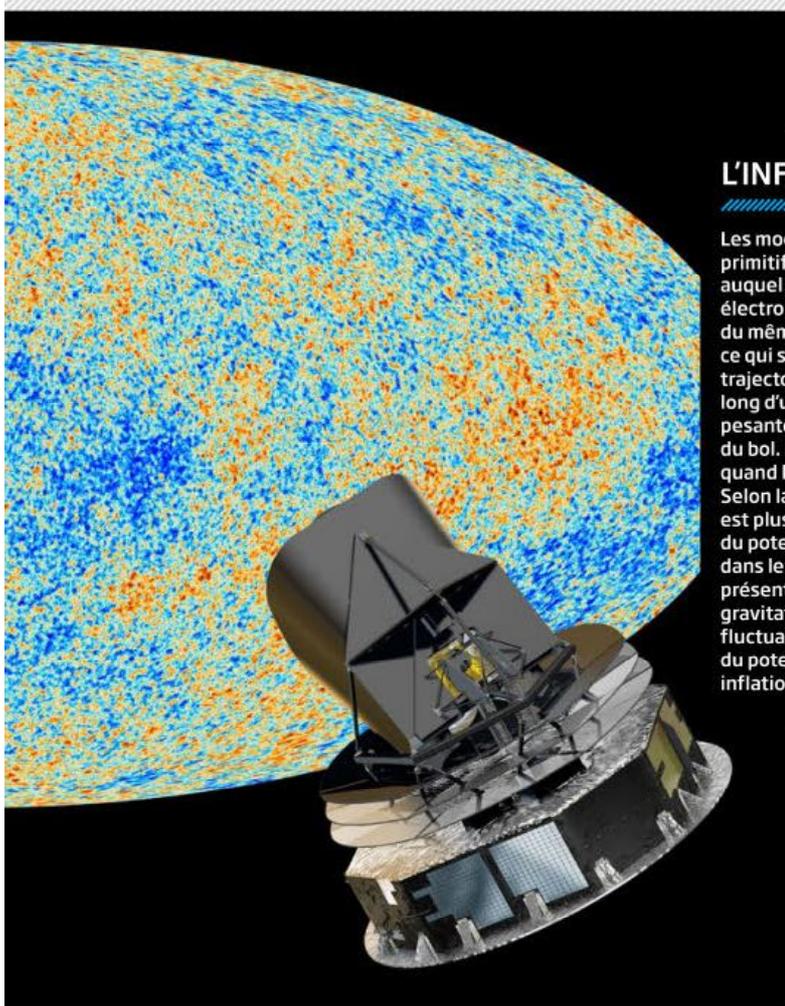


Le CMB, cartographié par le satellite Planck.

tions quantiques qui agitaient l'Univers au moment où il a connu sa phase d'inflation. Ces fluctuations, initialement microscopiques, ont été démesurément étalées dans l'espace lors de cette phase d'expansion très violente. C'est à partir de ces petits écarts à l'uniformité que, sous l'action de la gravité, la matière s'est progressivement agglomérée pour former les galaxies et amas de galaxies que nous observons aujourd'hui.

### Tester l'inflation avec Planck

Les résultats de Planck apportent des éléments décisifs en faveur de l'inflation et affinent la théorie. Par rapport à l'expérience WMAP, Planck a sensiblement diminué le nombre de modèles admissibles pour le potentiel régissant l'évolution de l'inflation (voir encadré L'inflation dans un bol). Les données de Planck, précise Martin Bucher, « suggèrent – sans le requérir – un potentiel dont la pente augmente quand on descend »,



## L'INFLATION DANS UN BOL

Les modèles cosmologiques d'inflation décrivent un Univers primitif essentiellement composé d'un boson appelé inflation, auquel on associe un champ, un peu comme on associe le champ électromagnétique au photon, ou le champ de Higgs au boson du même nom (voir *Le Monde des Sciences* n° 11). Pour illustrer ce qui se passe pendant l'inflation, prenons comme image la trajectoire que suivrait une bille – l'inflation – qui roulerait le long d'une pente ou au creux d'un bol sous l'effet de la pesanteur. Avant la période d'inflation, la bille est au sommet du bol. La phase d'inflation a lieu pendant la descente et cesse quand la bille – l'inflation – atteint le fond.

Selon la forme du bol dans lequel évolue la bille, l'inflation est plus ou moins intense, plus au moins longue. La forme du potentiel conditionne donc indirectement les fluctuations dans le fond diffus cosmologique et l'abondance des structures présentes dans l'Univers (galaxie et amas, ondes gravitationnelles). À partir des observations des petites fluctuations du CMB, les cosmologistes reconstituent la forme du potentiel de l'inflation pour retracer l'histoire de la phase inflationnaire de l'Univers.

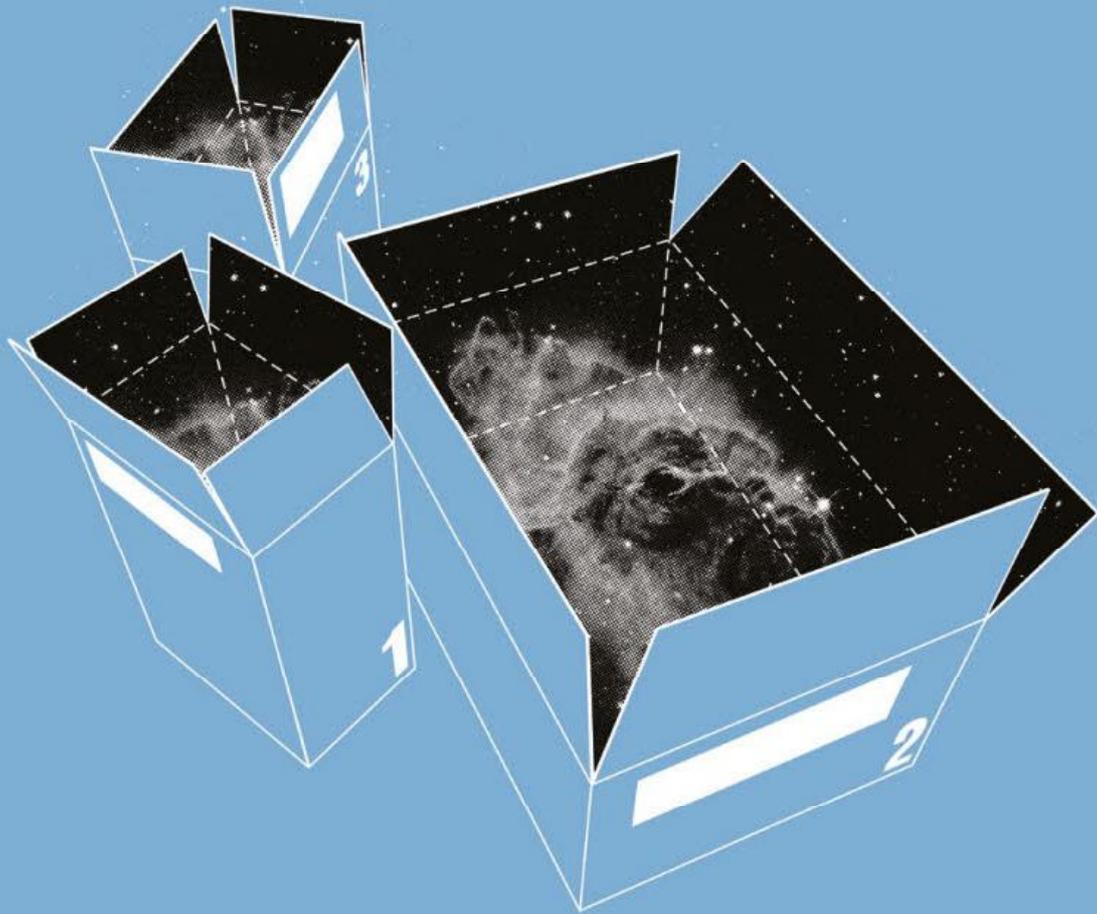
proche de zéro. Ceci est une prédiction générique des modèles d'inflation », tient à préciser Jacques Delabrouille, Directeur de recherche au CNRS au laboratoire APC. Autre élément de poids : l'amplitude des fluctuations de température du CMB en fonction de leur taille sur leur ciel. Leur distribution ne peut pas être le fruit de perturbations créées de façon continue sur une grande échelle de temps. Il faut au contraire, précise le chercheur, « que le mécanisme à l'origine des perturbations de toutes les tailles ait créé ces perturbations quasi simultanément ». Et c'est justement, ajoute-t-il « ce que les modèles d'inflation prédisent ».

Au-delà de leur apport à la recherche sur l'inflation, les résultats délivrés par le satellite Planck s'inscrivent également très bien dans le cadre plus large du modèle dit « de concordance », le modèle cosmologique qui décrit la géométrie et la composition de notre Univers. Les données recueillies ont néanmoins révélé de petites anomalies – notamment pour les fluctuations aux grandes échelles – que les chercheurs peinent à expliquer. Toutes les données de la mission Planck n'ont pas encore été exploitées. La très attendue carte de la polarisation du rayonnement fossile, qui permettra de « voir » comment la matière s'est concentrée autour de zones de surdensité du CMB, apportera peut-être son lot de réponses. Ou de surprises. ■

un peu « comme si le champ évoluait près du sommet d'une colline arrondie ». Les modèles ayant un potentiel allant fortement dans le sens contraire, c'est-à-dire « une pente moins abrupte en descendant », explique le chercheur, semblent en revanche exclus. Mais il reste difficile de savoir où est précisément la frontière entre les modèles qui sont définitivement mis en défaut par Planck et ceux qui sont encore admissibles.

Pour certains scientifiques, comme Abraham Loeb, et ses collègues Anna Ijjas et Paul Steinhardt, du Centre d'astrophysique de l'université Harvard, à Cambridge (États-Unis), les résultats de Planck posent plus de problèmes qu'ils n'en résolvent. Les modèles qui semblent le plus en accord avec les données de Planck sont loin d'être statistiquement les plus probables.

Mais beaucoup de résultats de Planck confortent bien les théories inflationnaires. « La courbure spatiale de notre Univers, mesurée par Planck avec une grande précision, est extrêmement



---

# POURQUOI L'ESPACE A



➔ L'espace dans lequel nous vivons comporte trois dimensions. « Oui, mais pourquoi? » se demandent certains physiciens? Petit tour de la question en deux temps... trois mouvements.

## DIMENSIONS?

Par Hélène Perrin et Matthew Chalmers

**T**rois, bien sûr! Demandez à un lycéen combien l'espace comporte de dimensions, sa réponse ne se fera pas attendre. En haut ou en bas, à gauche ou à droite et devant ou derrière. Il y a bien six directions dans lesquelles on peut se mouvoir, correspondant à trois dimensions indépendantes de l'espace. Certes, mais pourquoi trois? Si la question est triviale, la réponse l'est moins. Et pour tout dire, les physiciens n'ont pas vraiment de réponse satisfaisante à fournir. Pourquoi l'espace dans lequel nous vivons a-t-il trois dimensions plutôt que deux ou vingt-cinq? Les indices sont longtemps restés maigres. Mais le rideau est peut-être en train de se lever...

### Le pommier et la relativité

Pendant longtemps, notre compréhension du monde qui nous entoure a fait fi de la notion d'espace. Newton le premier a formalisé ce concept en 1687, avec sa théorie de la gravitation. Pour Newton, l'espace et le temps existent bel et bien, mais ils ne servent que de toile de fond à un spectacle bien plus intéressant, fait de pommes qui tombent et de planètes qui tournent autour de leur soleil. Il faudra attendre 1916, et la théorie de la relativité générale d'Einstein, pour que l'espace

vienne sur le devant de la scène. Il partagera alors l'affiche avec le temps, avec lequel il forme un espace-temps à quatre dimensions. Un espace-temps qui se tord sous l'effet des masses qu'il contient, faisant de la gravité une simple courbure de l'espace-temps. Mais la relativité générale n'explique pas pourquoi l'espace est tridimensionnel. Pire, elle peut même admettre d'éventuelles dimensions supplémentaires, au prix de quelques retouches.

La réponse serait-elle à chercher du côté de l'homme qui appréhende et pense l'espace dans lequel il vit? L'espace aurait simplement trois dimensions parce que nous pouvons en percevoir trois? (voir encadré *Trois parce que nous sommes là*) Un point de vue bien anthropocentrique... Et qui ne satisfait pas la plupart des physiciens. Certains d'entre eux pensent d'ailleurs que la réponse est là, cachée sous les lois physiques que nous connaissons. Ne reste plus qu'à la trouver. ➤

## TROIS PARCE QUE NOUS SOMMES LÀ

La vie dans un espace comportant moins de trois dimensions serait probablement très différente. Notre réseau neuronal est tridimensionnel, la double hélice d'ADN qui encode notre patrimoine génétique aussi. Une vie en deux dimensions serait peut-être trop fruste pour s'interroger sur les dimensions de l'espace dans lequel elle vit!

Dans notre monde à trois dimensions, la force de gravitation qui s'exerce entre deux objets décroît avec le carré de la distance qui les sépare. En deux dimensions, elle ne varierait que comme l'inverse de la distance, et dans un espace quadridimensionnel comme celui de la distance au cube. Dans les deux cas, les orbites des planètes seraient instables et notre système solaire n'existerait pas. Même constat pour la force électromagnétique, qui peinerait à former des atomes stables dans un monde à deux ou quatre dimensions. Pour certains physiciens, il n'en faut pas plus pour expliquer pourquoi l'espace est tridimensionnel : la dimension de l'espace ne serait rien de moins qu'une constante fondamentale de l'Univers, au même titre que les constantes à l'œuvre par exemple dans les lois de la gravitation ou de l'électromagnétisme. C'est en tout cas le point de vue de Leonard Susskind, de l'université de Stanford en Californie (États-Unis). Un argument qui n'en est pas un pour d'autres scientifiques. « Si l'espace dans lequel nous vivons avait six dimensions, on trouverait d'autres justifications du même type pour expliquer pourquoi il ne pourrait pas en être autrement », souligne Carlo Rovelli.

### ► La gravité prend la dimension du problème

La réponse viendra peut-être de la gravité quantique. Cette théorie cherche à unifier la relativité générale (qui offre un cadre théorique à la gravité) et la mécanique quantique (qui décrit toutes les autres interactions). Grâce à la gravité quantique, les physiciens espèrent parvenir à décrire les premiers instants de l'univers, juste après le Big Bang, quand l'espace-temps n'était qu'un minuscule bouillonnement quantique. Avec, à la clef, la possibilité de comprendre comment l'espace-temps tel que nous le connaissons aujourd'hui a émergé. Pour tenter de reconstituer la physique qui régnait alors, les physiciens ont construit un gigantesque accélérateur de particules au CERN, à Genève, le LHC (Large Hadron Collider). Des protons animés de vitesses colossales s'y entrecroquent, donnant naissance à des flots de particules que traquent des détecteurs. Mais jusqu'à présent, rien qui nous aide à appréhender la gravité quantique, et encore moins à comprendre pourquoi l'espace comporte trois dimensions. Et d'ailleurs, est-ce vraiment le cas, s'interrogent

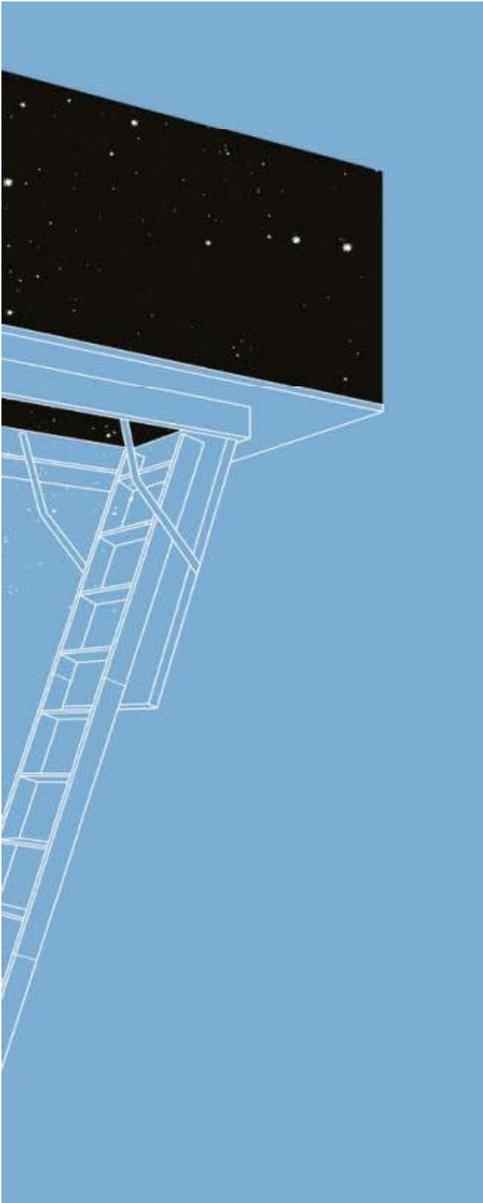
« Mais la relativité générale n'explique pas pourquoi l'espace est tridimensionnel »

les tenants de la théorie des cordes, qui ont besoin d'au moins six dimensions spatiales supplémentaires pour décrire l'univers (voir encadré *Trois, ou dix, ou...*).

Les théoriciens de la gravité quantique à boucles, pour qui l'espace est composé de petits grains élémentaires d'espace-temps (cf. *Le Monde des Sciences* n° 10, page 88), restent, quant à eux, prudents sur la question. Carlo Rovelli, du Centre de Physique Théorique de Luminy, à Marseille, le rappelle : la gravité quantique à boucles postule a priori un espace tridimensionnel. Elle ne prétend pas expliquer pourquoi il en est ainsi, si tant est d'ailleurs que la physique soit un jour capable de le faire.

### Le point de vue de la mécanique quantique

Markus Müller, chercheur à l'Institut de physique théorique de Waterloo, au Canada, a lui un tout autre point de vue. Il affirme que la solution est à chercher du



ERIC ZELINSKI

## TROIS, OU DIX, OU...

Pour les théoriciens des cordes, les particules qui composent la matière - électrons, quarks des noyaux atomiques, etc. - sont en fait de minuscules cordes vibrantes, un peu comme les cordes d'un violon. À un mode de vibration de la corde est associée une particule donnée. Mais pour que cette théorie puisse prétendre décrire le monde dans lequel nous vivons, il faut supposer que l'espace-temps, jusque-là à 4 dimensions - 3 d'espace et une de temps - acquiert des dimensions spatiales supplémentaires. Notre espace-temps serait alors au minimum un espace de dimensions 10! Les six dimensions spatiales supplémentaires seraient trop petites pour que nous puissions les voir, expliquent les tenants du modèle. Ces dimensions invisibles seraient en effet repliées sur elles-mêmes, enroulées à une échelle microscopique (des milliards de fois plus petite qu'un atome) par un

procédé de réduction dimensionnelle, ce qui ne nous permettrait pas de les détecter. Depuis, plusieurs théories dites des supercordes, dérivées de la théorie des cordes initiale, ont vu le jour. Aux cordes ont succédé les branes, qui décrivent non plus de simples particules, mais des objets étendus. La théorie M, proposée en 1995 par le physicien Edward Witten a pour but d'unifier ces différentes théories de supercordes. Elle postule l'existence d'un univers comportant onze dimensions, dix d'espace et une de temps. Mais malgré quelques succès théoriques, par exemple sur la thermodynamique des trous noirs, ces théories sont pour le moment invérifiables. Elles ne sont pas suffisamment prédictives pour faire l'objet de tests physiques pour en vérifier la validité. Encore moins pour prétendre expliquer de combien de dimensions est fait notre espace...

conséquence. Comme si les deux compères étaient capables d'échanger de l'information instantanément pour réagir comme un seul et même objet. Une propriété que les physiciens espèrent pouvoir utiliser à terme pour échanger de l'information à distance et mettre au point des systèmes de cryptographie quantique permettant de transmettre des informations à distance de manière totalement sécurisée. Mais plus que ses applications, ce sont bien les fondements théoriques de l'intrication qui intéressent Müller et Masanes. En analysant l'intrication et les autres phénomènes quantiques dans le cadre d'une théorie quantique de l'information, ils sont parvenus à la conclusion que ces derniers ne peuvent se produire que si l'espace comporte exactement trois dimensions.

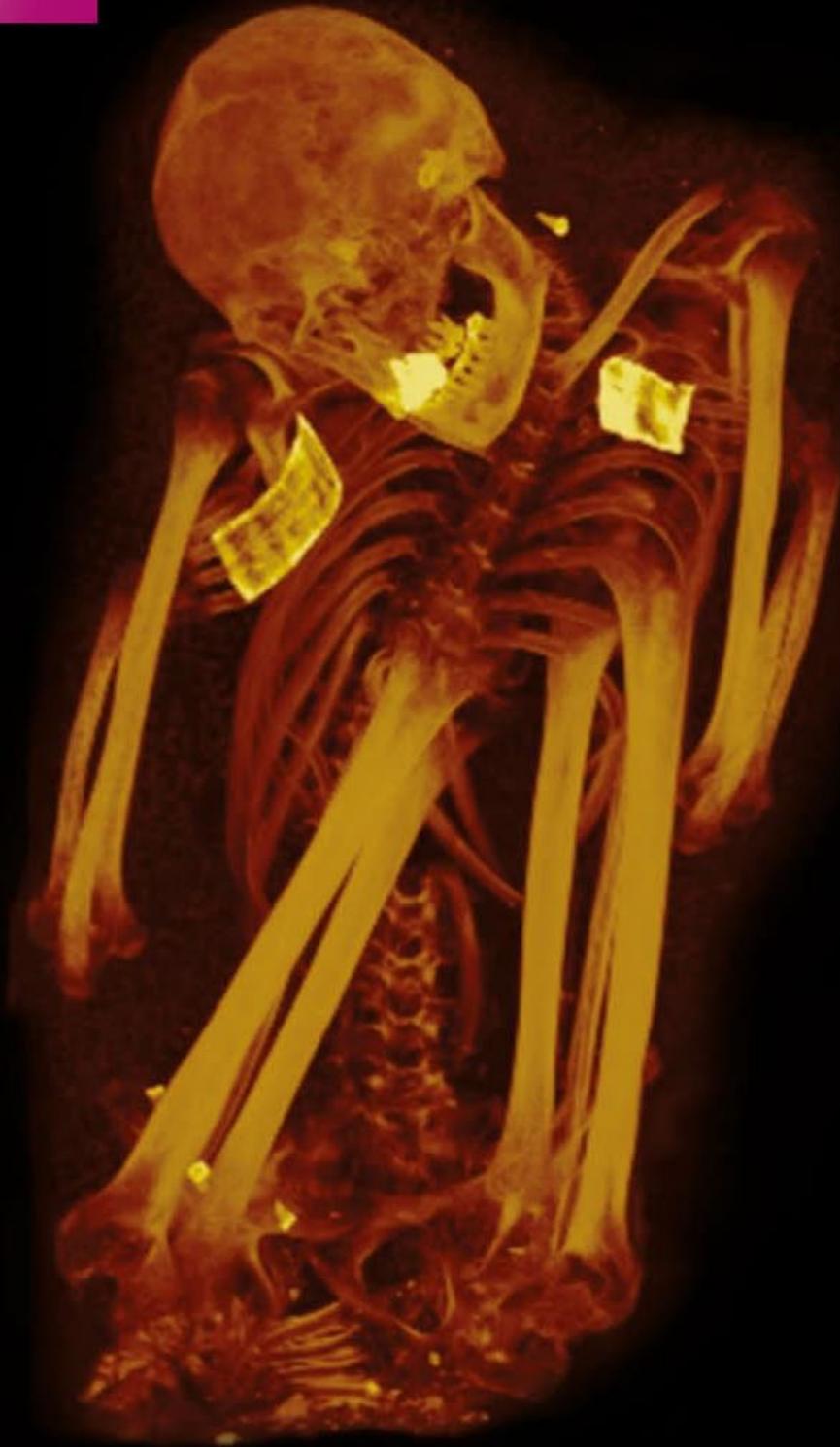
### Trois... ou pas

Un résultat intéressant, mais qui ne fait pas l'unanimité. Certains chercheurs rappellent que, si les systèmes quantiques sont généralement modélisés mathématiquement comme des grandeurs à deux dimensions évoluant dans un espace qui en compte trois, il est également possible de décrire les objets quantiques comme des êtres mathématiques à quatre dimensions. Et dans ce cas, l'espace associé compte... cinq dimensions, indique Dorje Brody, de l'Imperial College de Londres.

Newton et Einstein n'ont pas cherché à expliquer pourquoi l'espace était tridimensionnel. Ils avaient peut-être leurs raisons... Ça n'empêche pas les pommes de tomber, ni l'espace-temps de se courber! ■

côté de la mécanique quantique. Cette théorie, qui excelle à décrire mathématiquement le monde de l'infiniment petit, heurte en revanche notre sens commun. Certaines de ses prédictions vont à l'encontre du principe de causalité (« l'effet ne peut précéder la cause ») et du déterminisme généralement de mise en physique. Une situation inconfortable dont s'accommodent la plupart des physiciens, faute de mieux. Pas Müller, qui, avec son collègue Lluís Masanes, de l'université de Bristol, en Grande-Bretagne, y voit le moyen de comprendre pourquoi l'espace comporte trois dimensions. Les deux chercheurs se sont intéressés en particulier aux expériences d'intrication de photons, dans lesquelles des « photons jumeaux », même séparés spatialement de plusieurs kilomètres, ne forment qu'une seule entité quantique. Lorsqu'on agit sur l'un des photons de la paire, l'autre réagit immédiatement en

► EN DIRECT  
DES LABOS



🔍 Pourquoi une momie vieille  
de 3000 ans souffrait-elle  
d'une maladie moderne?



# Des maladies millénaires

➔ Se pourrait-il que les cancers, maladies cardiaques et autres fléaux considérés comme modernes hantent en fait les hommes depuis des millénaires? Le pharaon Merenptah sème le doute.

Par Marine Haquin et Emma Young

**1898** en Égypte, au cœur de la Vallée des Rois, le français Victor Loret, découvre le tombeau du pharaon Amenhotep II. Bien camouflé, ce tombeau a servi de cachette à bien des momies, parmi lesquelles, celle du pharaon Merenptah. Après 3 000 ans de sommeil, la momie est transportée au Caire où elle est démailotée et examinée quelques années plus tard par l'éminent anatomiste et égyptologue Grafton Elliott Smith. L'autopsie révèle alors un fait surprenant : « Merenptah souffrait d'athérosclérose » découvre, incrédule, le cardiologue Randall Thomson, de l'université du Missouri-Kansas City (États-Unis).

Si la nouvelle a laissé le chercheur peu convaincu, c'est que l'athérosclérose est un mal souvent consi-

déré comme moderne. C'est une maladie chronique impliquant un dépôt de plaque de lipide (l'athérome) sur la paroi des artères, entraînant une lésion (la sclérose). De nos jours, étant associée à une forte tension artérielle et un taux de cholestérol élevé, l'athérosclérose provoque souvent des crises cardiaques, ce qui en fait la première cause de décès dans les pays occidentaux. De même que les cancers et certaines maladies mentales, l'athérosclérose est largement attribuée aux stress et excès typiques du mode de vie occidental. Alors pourquoi a-t-on découvert une telle maladie chez une momie vieille de 3 000 ans ?

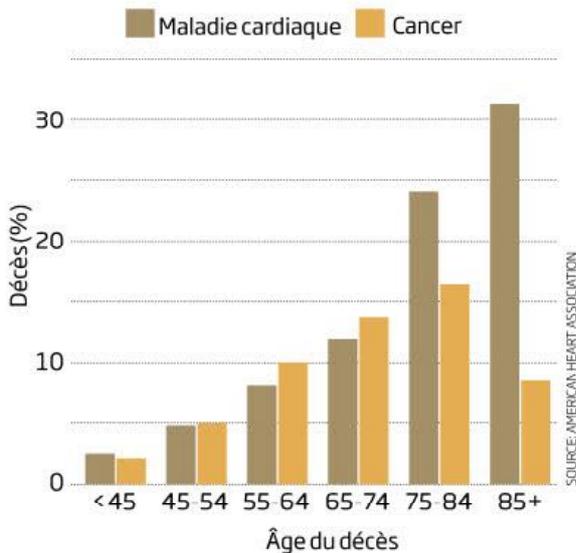
## Des fléaux pas si modernes

Sceptique, Randall Thomson, a décidé de renouveler l'autopsie. Puis, il a étendu son étude à d'autres momies du musée égyptien du Caire, seize momies présentaient des athéromes. Une conclusion s'impose donc : l'athérosclérose n'est pas une maladie récente.

Néanmoins, dans l'Égypte ancienne, seules les personnes de haut rang, bien nourries et souvent sédentaires, avaient droit à la momification. La maladie touchait-elle des individus au mode de vie plus modeste ou de culture différente ? Selon une ➤

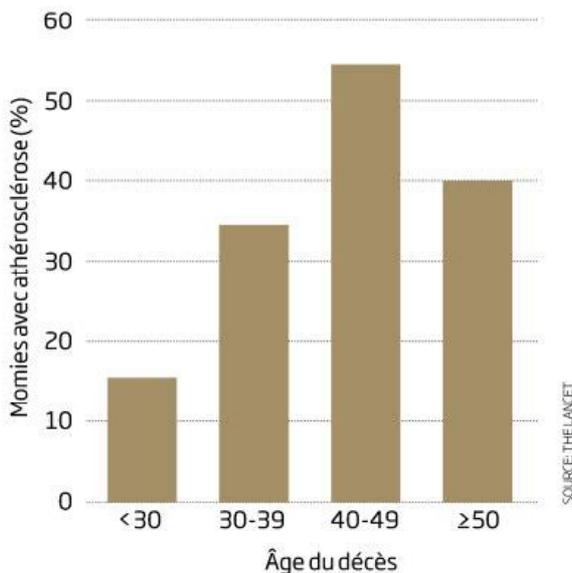
## Ce dont on meurt aujourd'hui

De nos jours, aux États-Unis (mais également en France), les maladies cardiaques causées par l'athérosclérose et le cancer sont les deux premières sources de décès puisqu'ils deviennent plus fréquents avec l'âge.



## Ce dont on souffrait avant

Les obstructions retrouvées dans les artères de 137 momies révèlent que les maladies cardiaques n'ont rien d'un mal moderne.



► étude publiée cette année, l'équipe de Randall Thompson a examiné 137 momies vieilles de 100 à 3 000 ans et appartenant à différentes sociétés préindustrielles de l'Égypte, du Pérou, de l'Utah et des îles Aléoutiennes. Différents facteurs de risque pour l'athérosclérose ont été pris en compte, particulièrement le régime alimentaire considéré comme sain chez ces populations (régime méditerranéen pour les Égyptiens ou encore poissons gras réputés pour prévenir les maladies cardiovasculaires pour les aléoutiens.)

Stupeur générale, l'étude révèle une prévalence de l'athérosclérose chez toutes ces populations. En tout, 34 % des individus sont touchés, environ 50 % des plus de 40 ans. « Ces résultats sont tout à fait comparables à la prévalence actuelle de la maladie », précise Randall Thompson. L'étude conclut donc que « les humains ont certainement des prédispositions à la maladie » (voir encadré). Les gènes pourraient jouer un rôle important et l'athérosclérose serait simplement une maladie liée au vieillissement. Cette piste d'étude pourrait apporter de nouvelles clés pour prévenir et soigner la maladie.

Si nos ancêtres souffraient déjà de maladies cardiaques, étaient-ils également confrontés à une autre cause majeure de décès : le cancer ? De nombreux facteurs cancérigènes sont apparus récemment, mais le cancer peut avoir une origine naturelle : exposition au soleil, virus et prédisposition génétique, par exemple, peuvent provoquer un cancer. Ainsi, il n'est pas surprenant de rencontrer des traces de tumeurs chez d'anciens individus. Cette année, David Frayer, anthropologue de l'université du Kansas (États-Unis) a découvert la plus ancienne trace de tumeur connue dans la lignée humaine : sur la côte d'un homme de Neandertal datant d'il y a 120 000 ans. Celle-ci n'était pas cancéreuse, mais il existe des preuves d'anciennes tumeurs malignes, datant d'au moins 5 000 ans. Le plus ancien cas de cancer de la prostate répertorié est apparu il y a 2 700 ans chez un roi russe.

### Des maladies mentales préhistoriques

Quid maintenant d'autres fléaux de nos sociétés occidentales : la dépression, l'autisme, les troubles déficitaires de l'attention avec hyperactivité (TDAH) ? Pour certains, la dépression est loin d'être un mal nouveau. Paul Andrews, de l'université McMaster (Canada) considère même que la maladie constitue un avantage évolutif favorisant la rumination et l'analyse avant d'agir.

Une hypothèse similaire a été formulée pour les TDAH. Les traits caractéristiques : l'hyperactivité,



☞ Certaines peintures rupestres extrêmement minutieuses rappellent le travail d'individus autistes.

## DIFFÉRENTS CŒURS PRIMATES

À l'origine de bon nombre de maladies cardiovasculaires, l'athérosclérose peut bloquer le passage du sang dans l'artère coronarienne, provoquant une crise cardiaque. La maladie cardiovasculaire est la première cause de décès dans la plupart des pays développés. L'idée qu'elle soit due à notre mode de vie est relayée par des observations sur certains singes. Ainsi, chez les chimpanzés sauvages, la crise cardiaque est très rare alors qu'elle est très fréquente chez les individus en captivité, dont le régime, le manque d'exercice et le niveau de stress sont similaires aux nôtres. Néanmoins, si les chimpanzés présentent ce que nous considérons comme des facteurs de risques (haute tension artérielle, cholestérol), l'obstruction de l'artère coronarienne est rare. La principale cause de la crise cardiaque des chimpanzés est un excès de tissu fibreux dans le cœur. Même constat chez les gorilles et orang-outans, ce qui suggère que le caractère fibreux du cœur existait chez l'ancêtre commun des grands singes. Durant notre évolution nous avons, par chance, perdu ce caractère à risque, mais nous avons développé l'athérosclérose dont les conséquences sont tout aussi fâcheuses.

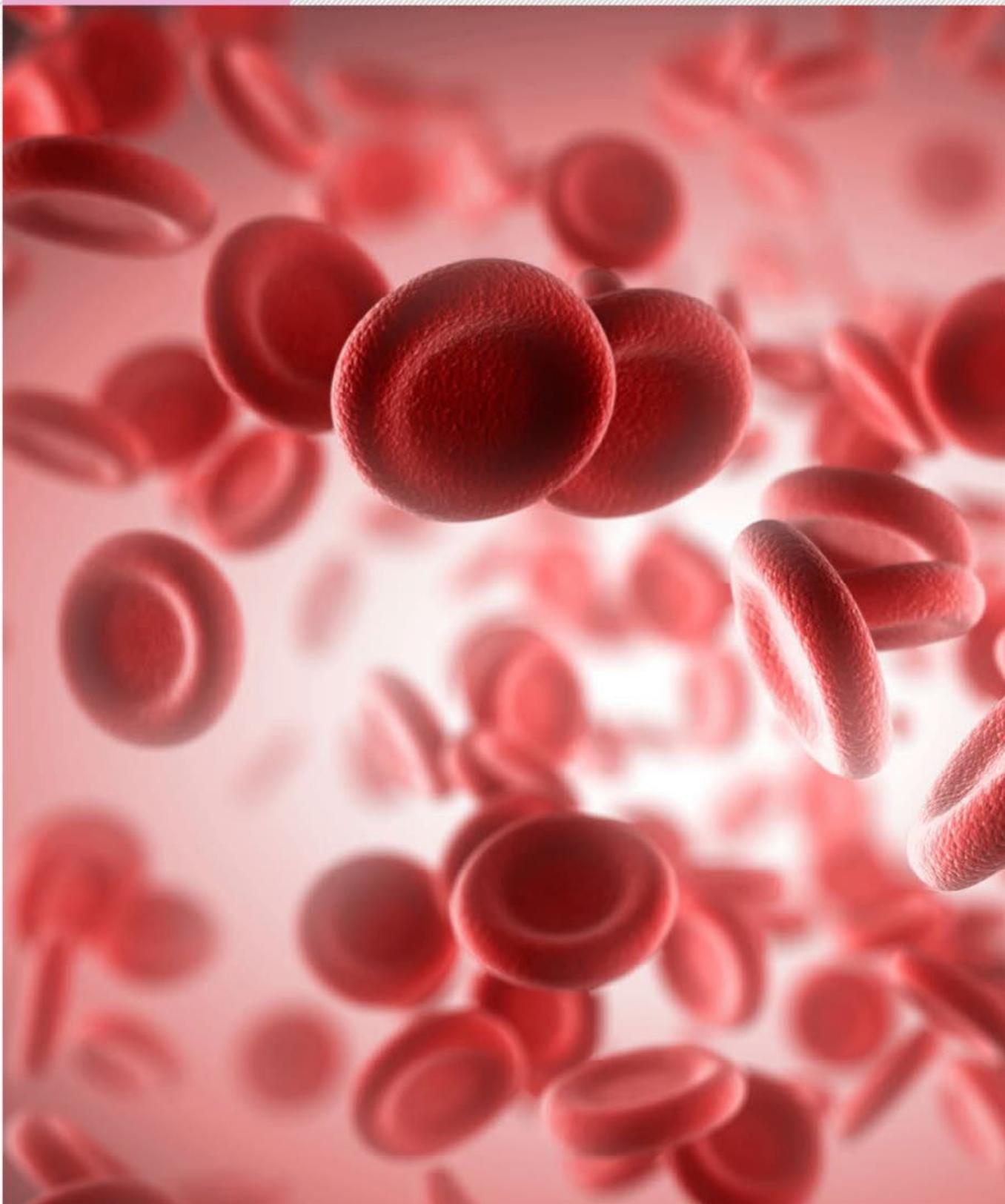
## « De l'Égypte au Pérou : toutes les populations préindustrielles souffraient déjà de maladies cardiovasculaires »

L'inattention, l'impulsivité, peuvent poser problème aujourd'hui, mais à une époque, ils auraient pu faire la différence entre la vie et la mort. D'après Peter Jensen de l'université Mayo (États-Unis), un individu hyperactif aurait été meilleur pour traquer les proies ou repérer une menace. L'impulsivité pourrait être la clé pour bondir sur une proie ou esquiver un prédateur au bon moment. Mais comment expliquer l'autisme ? Tout d'abord, une difficulté s'impose, il a toujours été difficile de définir des critères pour diagnostiquer les troubles du spectre autistique. Cela est d'autant plus compliqué lorsqu'il s'agit de personnes disparues il y a plus de 10 000 ans ! Néanmoins, Penny Spikins, de l'université d'York (Angleterre), pense avoir découvert des preuves archéologiques de l'autisme : les microlithes datant de 75 000 ans. Ces microlithes

sont de minuscules outils en pierre (4 centimètres de longueur pour 4 millimètres d'épaisseur tout au plus) : « il faut une extrême patience et être très pointilleux pour réaliser ce genre de technologie », des traits qui caractérisent certains autistes d'après Penny Spikins. Plus récemment, au paléolithique supérieur (entre 50 000 et 10 000 ans), l'art rupestre devient plus réaliste coïncidant avec l'apparition de mutations génétiques associées à certaines formes d'autisme. On ne pensait pas que ces mutations génétiques s'exprimaient déjà à l'époque, mais, en fait, ces artistes minutieux étaient peut-être bien atteints d'autisme. De quoi nous sentir encore plus proches de nos ancêtres finalement. De Neandertal à aujourd'hui, en passant par l'Égypte ancienne, nous nous serions souvent battus contre les mêmes maladies. ■

### RÉFÉRENCES

- ▶ *Atherosclerosis across 4000 years of human history: the Horus study of four ancient populations*, par R.C. Thompson, A.H. Allam et coll., *The Lancet*, avril 2013.
- ▶ *Fibrous dysplasia in a 120,000 + year old Neandertal from Krapina, Croatia*, par J. Monge, M. Krićun et coll., *PLoS One*, juin 2013.





→ Une simple goutte de sang peut révéler un tas de détails personnels à propos de notre vie et de notre passé : notre histoire est inscrite dans nos veines!

# Votre histoire écrite... **DANS LE SANG**

Par Nolwenn Le Jannic et Helen Pilcher

**S**avoir, à partir d'une goutte de sang si quelqu'un est en bonne santé, quels sont ses habitudes, son état d'esprit, son statut socio-économique... impossible ? Plus maintenant. La technologie permettant de lire dans le sang tous ces renseignements existe et peut même révéler des détails enfouis depuis des décennies dans les recoins de l'enfance.

Certes, les analyses ADN permettent déjà, à partir d'une goutte de sang, de savoir à quel sexe et à quelles origines géographiques une personne appartient, et approximativement la couleur de ses cheveux, de ses yeux et même de sa peau. Mais ce que nous sommes n'est pas réellement inscrit dans nos gènes. En revanche, tout ce que nous vivons est gravé sur de petits marqueurs, qui eux, s'attachent à notre ADN. Les plus courants sont les groupements méthyles, qui, même s'ils ne changent pas le message codé par l'ADN, peuvent empêcher certains gènes de fonctionner.

La grande majorité de ces marqueurs sont ajoutés *in utero* et peu de temps après la naissance. C'est en effet à ces moments-là que les cellules se spécialisent et que la méthylation aide à « éteindre » les gènes inutiles, afin, par exemple, qu'une cellule du foie n'exprime pas les mêmes gènes qu'une cellule nerveuse. La plupart de ces changements se retrouvent donc d'un individu à un autre. Mais il y a en plus des dizaines de millions d'autres endroits sur le génome où la méthylation peut apparaître et au final, deux personnes n'auront jamais exactement le même motif de marqueurs, c'est-à-dire le même épigénome.

## Une fenêtre sur le passé

Ces variations sont au moins en partie liées au mode de vie et révèlent une histoire plus personnelle. « L'épigénome est un instantané des événements majeurs d'une vie », résume Tim Spector, du King's College de Londres (Royaume-Uni). En ►



« L'épigénome est un instantané des événements majeurs d'une vie »

► observant les marqueurs épigénétiques, le chercheur peut ainsi savoir si l'individu est fumeur, ancien fumeur ou s'il n'a jamais touché une cigarette, s'il a, ou a eu, un cancer, s'il a été exposé aux gaz d'échappement, aux pesticides ou à l'arsenic... « On peut même avoir une idée de ce qu'il mange », ajoute-t-il. Et comme les marqueurs épigénétiques s'accumulent au cours de la vie, ils permettent aussi d'estimer notre âge. Bien sûr, différents types de cellules peuvent être utilisés, mais les cellules sanguines sont les plus faciles à obtenir. Et aujourd'hui, il est ainsi possible d'acheter dans le commerce une puce à 200 \$ capable de montrer, sur 450 000 emplacements dans le génome, lesquels sont méthylés. Avec de tels outils, les scientifiques ont donc commencé à chercher des corrélations entre certains motifs de méthylation et des expériences ou des environnements particuliers. De nombreuses études ont ainsi trouvé de tout dans l'épigénome : du suicide à la réussite de régimes. Une récente étude américaine a même révélé que les personnes socialement aisées ou à l'opposé, ceux en situation de précarité, avaient des motifs de méthylation différents. L'épigénome pourrait également être une fenêtre sur le passé lointain : les survivants de l'Holocauste ont ainsi des motifs de méthylation différents des personnes n'ayant pas traversé d'ex-

NORAZNEN AZ/GETTY IMAGES

## EFFACER L'ARDOISE

Si les mauvais événements de la vie, comme les bons, laissent de discrètes traces dans notre ADN, la bonne nouvelle est que certains de ces changements sont réversibles. Il est donc possible, si les marqueurs épigénétiques ajoutés ont des conséquences négatives, d'essayer de les modifier. Il existe bien sûr de nombreux médicaments qui altèrent la méthylation de l'ADN et qui sont utilisés dans le traitement de certains cancers. Mais même des solutions aussi simples qu'un régime, la méditation ou la psychothérapie peuvent changer l'épigénome. Et bien qu'on ignore si toutes les modifications de notre épigénome sont réversibles ou si elles persistent jusqu'à la fin de la vie, il semble certain qu'elles ne sont pas gravées dans la roche : nous ne faisons pas qu'écrire notre histoire épigénétique, nous avons aussi le pouvoir de la mettre en forme.



périences traumatisantes. Pourtant, la façon dont ces différents motifs apparaissent exactement reste encore mystérieuse. De même que les effets qu'ils ont, s'ils en ont. Une autre grande question est de savoir à quel point ces motifs sont fiables. Car jusqu'à présent, les études menées n'ont concerné qu'un petit nombre de personnes et ont utilisé des méthodes diverses. « Les études doivent à présent être menées à grande échelle et après cela seulement, nous pourrions voir quels sont réellement les biomarqueurs fiables », affirme Stephan Beck, de l'institut sur le cancer de l'université de Londres (Royaume-Uni).

En outre, le niveau de détail compris dans ces motifs de méthylation est lui aussi incertain. Les tests épigénétiques nous donneront-ils plus qu'un résumé de notre vie ? Car pour le moment, bien qu'un motif de méthylation puisse révéler une expérience stressante durant l'enfance, il ne raconte pas l'expérience en question...

### Prudence

Enfin, il est indispensable de penser aux implications de ces nouvelles découvertes. Aspect positif, elles pourraient permettre aux médecins de repérer toutes sortes de maladies, comme le diabète ou la dépression, et de connaître non seulement les antécédents d'un patient, mais également, peut-

être, son futur. Tim Spector a ainsi annoncé avoir identifié un profil de méthylation basé sur 400 régions anatomiques qui pourrait prédire avec cinq ans d'avance l'arrivée d'un cancer du sein. Ces marqueurs pourraient, de la même façon, aider la police à créer le profil complet d'un suspect à partir d'une goutte de sang sur une scène de crime, ou encore venir compléter la panoplie de tests visant à détecter l'usage de drogues.

Aspect négatif de ces innovations, il n'y a aucune loi qui empêche de tels tests sanguins d'être utilisés par des assureurs peu scrupuleux, des employeurs ou même des journalistes. Mais alors, comment empêcher de divulguer son histoire corporelle à chaque prise de sang ou en jetant un malheureux mouchoir dans une poubelle ? « Il y a de grandes questions légales et éthiques qui entourent l'épigénétique, prévient le bioéthicien Mark Rothstein, de l'école de médecine de l'université de Louisville (États-Unis). Mais les gens les ignorent pour des raisons qui m'échappent. » Dans certains États américains, au Royaume-Uni ou en France, il est illégal d'analyser l'ADN d'un individu sans son consentement... mais rien ne vous empêche d'étudier son épigénome. Selon Mark Rothstein il est donc indispensable de l'interdire de la même façon, et éviter de risquer l'exploitation abusive d'une telle technologie. ■



DMYTRIO SMAGLOV/FOTOLIA



→ Les abeilles sont menacées. Leurs équivalents robotiques seront-ils amenés à prendre la relève?

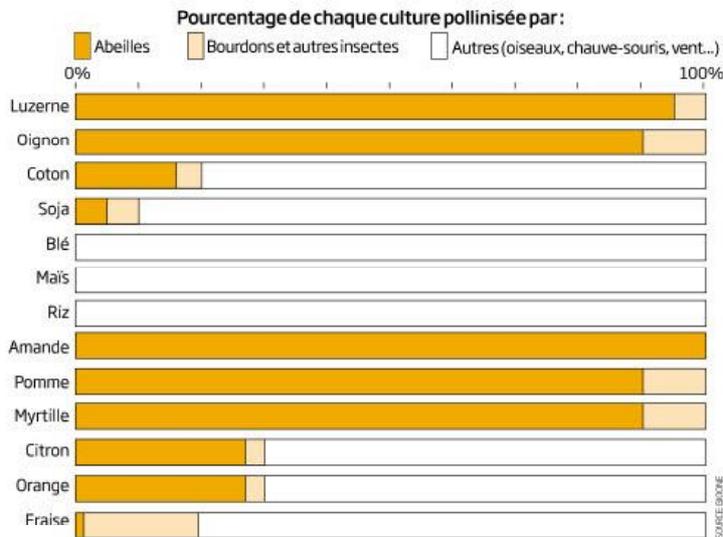
# Les abeilles ROBOTS

Par Victor Haumesser et Caroline Williams

« **S**i les abeilles disparaissent, l'espèce humaine n'a plus que 4 ans à vivre. » Cette phrase apparue dans les années quatre-vingt-dix et très relayée dans les médias a le mérite d'attirer notre attention sur un problème devenu crucial : pourrions-nous survivre sans abeilles pour polliniser nos cultures ? Depuis quelques années, une terrible épidémie décime les ruches d'*Apis mellifera*. Ce mal, appelé le Syndrome d'Effondrement des Colonies, est probablement causé par plusieurs facteurs, tels que surmenage, changements climatiques, exposition aux pesticides et infestation par le varroa, un acarien parasite aussi minuscule que redoutable. Selon une théorie largement médiatisée, la disparition des abeilles entraînerait celle de notre système agricole et finalement la nôtre... Mais comme souvent, la réalité est plus complexe et cette thèse catastrophiste ne résiste pas à un examen attentif des faits : les céréales sont pollinisées par le vent, et d'autres espèces pollinisatrices bien moins connues jouent également un rôle très important. Gardons-nous cependant de minimiser la situation : les conséquences environnementales et économiques pourraient être désastreuses. Et cela alors que chaque année apporte son lot de preuves du déclin des colonies d'abeilles partout dans le monde. »

## Un monde sans abeilles

Si les abeilles disparaissent, certains aliments deviendront plus rares. L'élevage et l'industrie textile seront aussi impactés.



- Quels sont les plans de secours ? Les alternatives actuelles ne sont pas franchement satisfaisantes. Polliniser à la main ? Dans le Sichuan (centre-ouest de la Chine), des producteurs de pommes ont tenté cette méthode pour remplacer leurs abeilles décimées par l'utilisation intensive de pesticides. Devant la baisse de rendement et le surcoût qui en a résulté, ils ont fini par se tourner vers des cultures autopollinisatrices, comme la prune ou la noix. Et pourquoi ne pas répandre le pollen depuis un avion ? Inenvisageable lorsque l'on sait que de cette façon les pommiers donnent 70 % moins de fruits et qu'ils sont 40 % plus petits. Devant cette situation, pourquoi ne pas remplacer les essaims d'abeilles par des armées de minuscules robots ? Si cette idée semblait totalement farfelue il y a quelques années encore, elle peut légitimement être



« C'est une dizaine de robots différents qu'il faudra créer pour compenser la perte des abeilles »

évoquée à l'heure où les drones sont tellement populaires qu'on les imagine livreurs de pizza ou espions de la taille d'une mouche. Le BionicOpter de l'entreprise allemande Festo, ou le DelFly Micro de l'université de Delft (Pays-Bas) volent déjà à la manière des libellules, tandis que les « quadrotors » de l'université de Pennsylvanie (États-Unis), des robots volants grâce à quatre hélices, apprennent à collaborer pour transporter des petits objets.

### L'abeille-robot, un casse-tête insoluble ?

Dans ces conditions, la création par Robert Wood (université Harvard) et ses collègues Radhika Nagpal et Gu-Yeon Wei d'une colonie constituée de robots de la taille d'une abeille paraît plausible, mais les obstacles techniques sont immenses. Comment construire une machine minuscule qui peut en toute autonomie repérer une fleur d'une espèce donnée, naviguer jusqu'à elle avec une précision millimétrique, y atterrir pour collecter la bonne quantité de pollen, puis localiser une autre fleur de la même espèce pour y déposer ce pollen ? Leur réponse à ce cahier des charges extrêmement contraignant mesure trois centimètres de long et pèse moins d'un gramme... mais doit encore être reliée à un fil pour son alimentation électrique.

Autre problème pour obtenir un robot autonome, son « cerveau ». Celui de l'abeille malgré son petit million de neurones (cent fois moins qu'un rat) est capable de créer une carte virtuelle de l'environnement, de se rappeler la position et la qualité des fleurs butinées, et de communiquer ces informations aux congénères. Wood reconnaît qu'ils en sont encore loin, et que réduire un ordinateur capable de réaliser ces tâches à la bonne taille prendra peut-être des dizaines d'années.

S'ils cherchaient un défi, peut-être ont-ils placé la barre un peu trop haut...

De plus, la plupart des spécialistes des abeilles ne se montrent pas franchement encourageants. « C'est une idée qui me semble stupide, pourquoi gaspiller des fonds pour des robots dont je doute qu'ils soient un jour efficaces », s'insurge Dave Goulson de l'université du Sussex (Royaume-Uni). « D'autant plus que leur bilan environnemental ne sera jamais comparable à celui des vraies abeilles. Sans compter qu'ils ne produiront pas de miel ». Autre argument en défaveur de ces recherches : il existe des dizaines d'espèces d'animaux pollinisateurs (voir infographie), chacune adaptée à un type de fleur particulier. Ce n'est donc pas un, mais des dizaines de robots différents qu'il faudrait mettre au point pour compenser la perte de ces espèces ! Face à cette situation, d'autres idées plus efficaces et plus faciles à



## D'AUTRES USAGES POUR CES ROBOTS

La mission du robot-abeille est de polliniser nos cultures maraîchères. Mais une invention aussi fascinante excite l'imagination et d'autres usages ont été suggérés. Certains sont ludiques : jouet pour (grands) enfants, appât pour la pêche à la mouche électronique (probablement le plus cher au monde)... et d'autres plus sérieux. Un essaim de minuscules robots interconnectés pourrait aller là où aucun humain ou animal ne pourrait ou voudrait aller : zone de secours, risque terroriste, mission d'espionnage ou de surveillance. Leur force viendrait de leur nombre, les capacités de l'essaim étant supérieures à la somme des capacités individuelles des robots le composant. La mise hors de service de certains ne bloquerait pas le fonctionnement de l'ensemble. Et les survivants pourraient enquêter et tirer des informations utiles pour éviter de subir le même sort. Un avantage certain sur les gros et coûteux robots actuels, notamment dans le cadre de l'exploration spatiale, où chaque erreur peut causer la fin d'une mission de plusieurs dizaines de millions d'euros.

mettre en œuvre sont évoquées : délaissier les pratiques de monocultures intensives, planter plus de fleurs pour diversifier et attirer d'autres espèces, et réduire l'utilisation de pesticides.

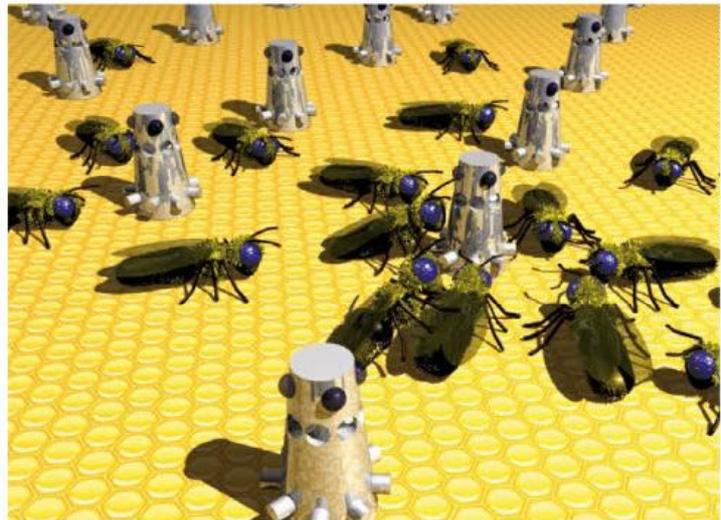
### Une autre solution : les auxiliaires robotisés

Faut-il pour autant abandonner totalement l'idée de mêler apiculture et robotique ? Si l'objectif d'un substitut mécanique autonome ne paraît pas franchement réalisable dans un délai compatible avec la menace qui pèse sur nos butineuses, ce projet a le mérite d'inspirer d'autres recherches. Dave Goulson propose ainsi de construire des espions qui infiltreraient les ruches pour en observer l'intérieur et influencer le comportement de ces insectes sociaux en mimant les mouvements et les vibrations qui leur permettent de communiquer. L'intérêt d'un tel système prend tout son sens lorsqu'on sait que lorsqu'un apiculteur ouvre une de ses ruches, il prend le risque de causer la mort de certaines d'abeilles. Thomas Schmickl, de l'université de Graz (Autriche) a quant à lui déjà réussi à guider des abeilles grâce à un « cyborg social ». Il prépare maintenant l'étape suivante : connecter ces robots à internet, ce qui leur permettra de prendre connaissance en temps réel de la météo, de calculer la meilleure période pour faire des réserves et de prévenir

✎ Pour l'instant, le robot-abeille a besoin d'être relié par un fil à une source d'énergie et à un cerveau externe.



KEVIN MA AND PANPONCHIRARATTANANON, HARVARD SCHOOL OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES



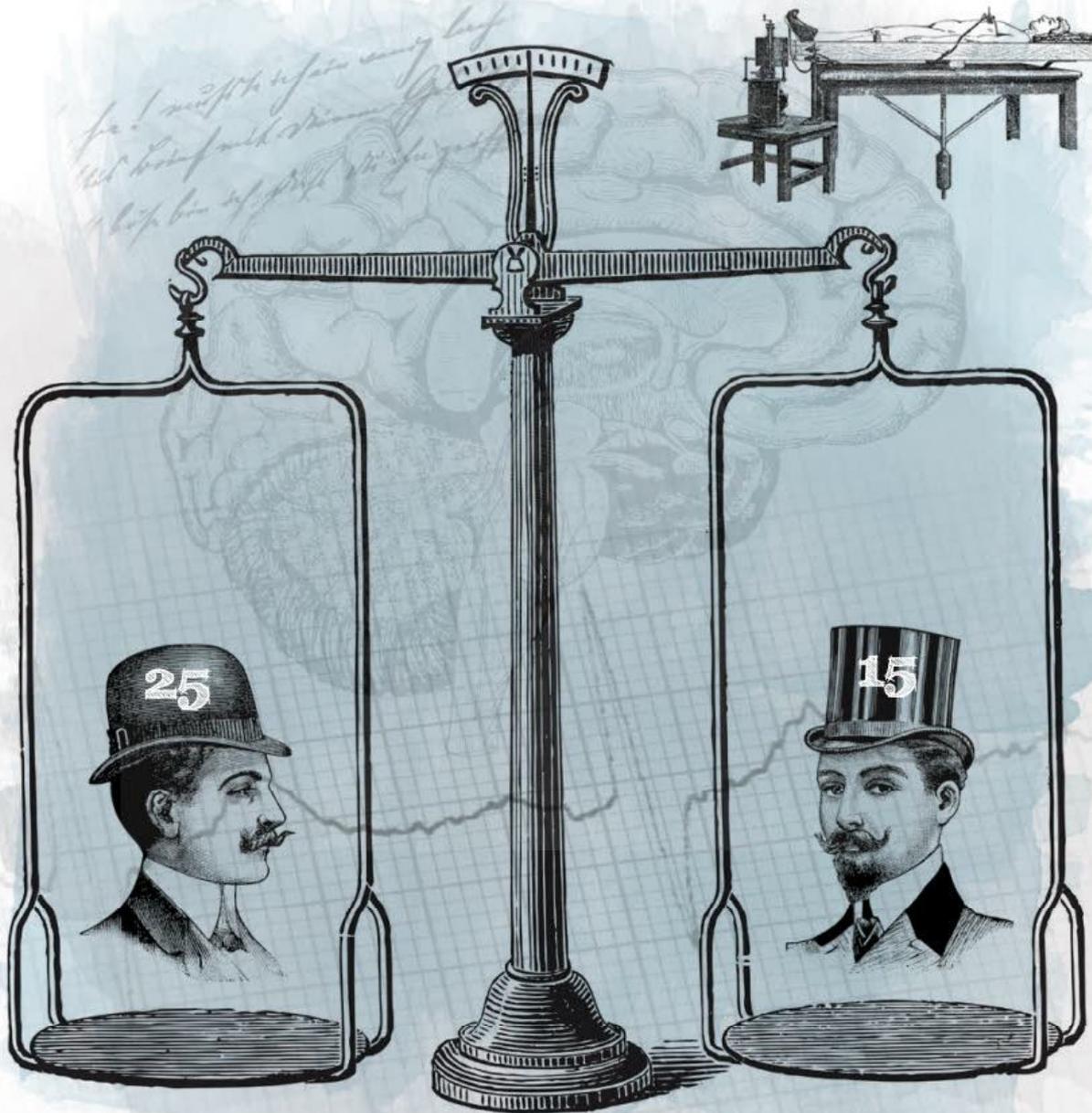
THOMAS SCHMICKL, ARTIFICIAL LIFE LAB, UNIVERSITY OF GRAZ

✎ Des surveillants robotiques pourraient aider les apiculteurs à optimiser la santé des ruches.

l'apiculteur d'éventuels problèmes en envoyant des messages sur son téléphone. Toutes ces informations mises au service des abeilles serviront à augmenter les chances de survie de l'essaim. Enrayer la chute démographique des abeilles est une priorité pour les agriculteurs et les apiculteurs. Des solutions semblent émerger, alliant remise en cause des pratiques agricoles actuelles et innovations technologiques. Mais remplacer les abeilles par des robots n'est peut-être pas pour demain. « Le progrès : trop robot pour être vrai » disait Jacques Prévert... ■

# ► HOMO SAPIENS

Article en partenariat avec  
la rédaction du magazine





# L'homme qui voulait peser la pensée

Par Marine Haquin et Simon Makin

➔ Au XIXe siècle, l'italien Angelo Mosso pesait les pensées avec une balance! Si cette idée peut paraître extravagante, la redécouverte de ses travaux apporte un nouvel éclairage sur ces expériences absolument novatrices pour l'époque et plus proches qu'on ne le pense des méthodes neuroscientifiques actuelles...

Nous pouvons l'imaginer, il y a plus d'un siècle, concentré, réglant ici une valve et là le contrepoids de son étrange machine. Giorgio, son assistant et sujet de l'étude, est allongé sur un plateau oscillant légèrement. Si Angelo Mosso a raison, alors ces oscillations, soigneusement enregistrées sur un graphique, sont la représentation des flux et reflux sanguins dans le cerveau de Giorgio. Angelo Mosso? Un scientifique qui s'est lancé un challenge hors du commun : tenter de peser les pensées. Né à Turin en Italie, le 30 mai 1846, Angelo Mosso est le fils d'un charpentier et d'une couturière aux revenus modestes. Malgré tout, ses performances académiques lui valent des subventions lui permettant de réaliser de brillantes études de médecine à l'université de Turin. Après l'obtention de son diplôme en 1870, il fera le tour des plus prestigieux laboratoires européens. Ses recherches ont apporté un important rayonnement à l'université de Turin, qui devient un lieu de rendez-vous incontournable pour les meilleurs scientifiques italiens de l'époque. Angelo Mosso a même été nommé pour l'obtention d'un Prix Nobel.

Polyvalent, il s'intéresse à la circulation sanguine, la fatigue musculaire, la physiologie et les émotions. Mais ce qu'il étudiera durant trois décennies, c'est le poids de la pensée.

## La machine à peser l'âme

L'idée peut paraître fantasque, mais les intérêts d'Angelo Mosso restent purement scientifiques. L'Italien se révèle aujourd'hui comme un précurseur. Il est l'un des premiers à supposer que le flux sanguin dans le cerveau pourrait varier suivant ce à quoi nous pensons. Celui-ci serait plus important pour soutenir l'activité des neurones impliqués dans une tâche ardue. Mais comment mesurer ce flux sanguin? Les premières expériences de l'Italien portent sur des personnes avec des anomalies du crâne consistant en un amincissement des os recouvrant le cerveau. Ainsi à chaque passage du sang, les fins tissus provoquent un déplacement d'air pouvant être enregistré. Lorsqu'une personne doit réaliser un calcul particulièrement fastidieux, les pulsations sont plus importantes, confirmant que réflexion et afflux sanguin ➔

► sont bel et bien liés. Mais ces anomalies crâniennes restent rares. Le chercheur a donc cherché un moyen de mesurer le même phénomène chez des personnes au crâne tout à fait normal. Pour ce faire, il devait créer un appareil tellement sensible qu'il lui était possible d'enregistrer les flux et reflux sanguins provoqués par l'activité du corps, du cerveau notamment. Naquit alors la "machine à peser l'âme". En 1890, *Les Principes de psychologie*, de William James, l'un des fondateurs de la psychologie moderne, décrit brièvement l'appareil comme une « table délicatement équilibrée » qui penche du côté de la tête lorsque le sang afflue vers le cerveau. Malheureusement, les écrits d'Angelo Mosso lui-même ont été peu diffusés et rapidement perdus.

#### Plusieurs défis à relever

Ce n'est que plus d'un siècle plus tard que David Field et Laura Inman, du Centre for Integrative Neuroscience and Neurodynamics de l'université de Reading (Angleterre), redécouvrent les expériences d'Angelo Mosso. Ils décident alors de reconstruire la fameuse machine à peser l'âme. Après avoir constaté quelques défauts, réalisé d'importants calculs, ajusté l'appareil et produit de fines analyses, le résultat est là : le poids du cerveau change bien lorsqu'il est stimulé. Bien qu'elle n'enregistre qu'un poids infime correspondant à une force d'un centième de newton, cette balance fonctionne. Alors que le doute persistait encore quant au sérieux des expériences d'Angelo Mosso, ses comptes rendus manuscrits témoignent que l'Italien a fait face au même problème que David Field et Laura Inman : équilibrer précisément la balance. Néanmoins sans les moyens (de modélisation informatique notamment) actuels, difficile de régler cette machine infernale. Angelo Mosso a donc improvisé, il a laissé sa balance tanguer en régulant tout de même l'amplitude du mouvement grâce à des contrepoids. Il a

également su prendre en compte les changements de flux sanguin dans le reste du corps et ne retenir que le flux dans le cerveau. Durant des expériences sur son assistant Giorgio, un étudiant, il note qu'un bruit alarmant provoque un afflux de sang dans le cerveau. De même le flux sanguin de Giorgio est plus "lourd" lorsqu'il lit un texte de philosophie que lorsqu'il lit le journal ou un roman – une lecture demandant moins de réflexion.

#### Des concepts utilisés en imagerie cérébrale

Malgré tout, Stefano Sandrone, neuroscientifique au King's College de Londres et co auteur d'une biographie sur Angelo Mosso, s'interroge encore sur le réel fonctionnement de la machine d'Angelo Mosso. Mais « ce n'est pas la question, balaie-t-il finalement. Ce qui est important est qu'il était un innovateur en posant les mêmes questions que la neuro-imagerie actuelle. Par exemple, aujourd'hui encore, les scientifiques doivent prendre en compte la fluctuation sanguine provoquée par le reste du corps ou la respiration, ils doivent maximiser le ratio "signal/bruit de fond" de la même façon qu'Angelo Mosso. Il est aussi incroyable de constater qu'il prenait en compte des facteurs comme l'âge ou le sexe de ses sujets. » Ainsi, ce sont les concepts identifiés par Angelo Mosso qui sont, aujourd'hui encore, appliqués en imagerie cérébrale. « L'imagerie moderne est liée à un vieux concept, reconnaît Marco Catani, neuropsychiatre au King's College de Londres. On ne peut mesurer directement l'activité neuronale, mais on peut observer ses ombres, et l'une d'elles a toujours été le changement de flux sanguin. » Cependant, l'idée était très controversée à l'époque, ce qui a certainement limité la renommée et l'impact des travaux d'Angelo Mosso.

#### Une machine du passé pour des applications du futur ?

Étonnamment, et malgré ses avancées, la neuro-imagerie moderne pourrait encore en apprendre des expériences d'Angelo Mosso. Actuellement, l'IRMf (imagerie par résonance magnétique fonctionnelle) révèle quelle zone du cerveau est active d'après les variations de propriétés du sang. Lorsqu'ils sont mobilisés pour une activité, les neurones ont besoin d'un apport d'oxygène par le sang, son flux augmente donc localement. Momentanément, le rapport entre les taux d'hémoglobine oxygénée et

« Ainsi, ce sont les concepts identifiés par Angelo Mosso qui sont, aujourd'hui encore, appliqués en imagerie cérébrale »

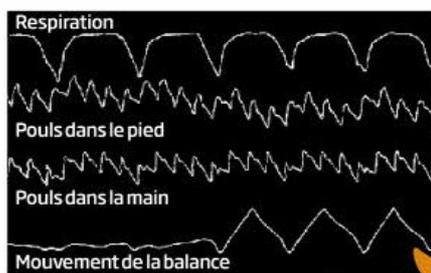


## L'incroyable machine à peser les pensées

Un simple système de levier est à la base de la balance à peser les pensées d'Angelo Mosso. Le sujet est allongé sur un plateau et la balance est réglée de sorte que le centre de gravité du sujet soit juste au-dessus du point d'appui de la balance. Celle-ci est donc en équilibre et peut basculer au moindre changement de poids dû à un afflux sanguin dans le cerveau. En parallèle se trouve un kymographe. Il s'agit d'un appareil enregist-

trant des phénomènes physiologiques par inscription, au moyen d'un stylet, sur un cylindre en rotation - à la manière d'un sismographe enregistrant les mouvements du sol. Une fois les mouvements créés par la respiration et le pouls sanguin soustraits restent les preuves de l'effort mental. Une récente reconstitution de cette machine par David Field et Laura Inman, de l'université de Reading en Angleterre,

prouve que le poids du cerveau change réellement lorsqu'il est stimulé. La nouvelle balance a néanmoins dû subir quelques transformations afin d'être plus précise. De nombreux calculs informatiques ont été nécessaires. Bien qu'Angelo Mosso n'ait jamais eu accès à ce genre de moyens techniques, il a su improviser pour améliorer ses résultats, au moyen d'un contrepoids pour équilibrer la balance notamment.

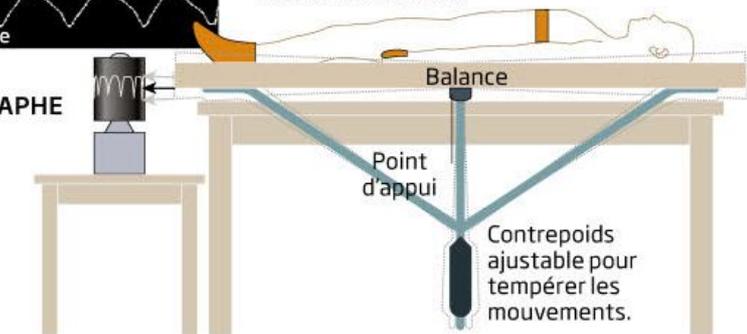


### LE TRACÉ ORIGINAL DU KYMOGRAPHE

Le kymographe enregistre le balancement. Il ne reste qu'à soustraire le mouvement créé par la respiration et le flux sanguin du reste du corps.

Des **CAPTEURS** sur le torse, les pieds et les mains enregistrent les autres mouvements qui faussent le résultat.

### KYMOGRAPHE



Cette machine du XIXe siècle mesure l'activité neuronale du sujet allongé sur une balance en équilibre. Son principe ? Plus l'activité neuronale est intense, plus le flux sanguin est important dans le cerveau. Le poids de ce sang fait ainsi pencher la balance.

désoxygénée est modifié, ce qui provoque un signal nommé BOLD (Blood Oxygenated Level Dependent) : c'est celui-ci que l'IRMf détecte. Mais contrairement à la balance, elle ne permet pas de calculer les changements de volume de sang. Finalement, s'il est possible de comparer l'activité relative de deux zones du cerveau, il est en revanche impossible de déterminer si une tâche nécessite un afflux sanguin plus ou moins important qu'une autre.

Autre application, la pharmacologie. « Imaginez un médicament qui affecte le flux sanguin dans le cerveau, argumente David Field. Contrairement à l'IRMf, la balance pourrait mesurer quantitativement ses effets. » Le chercheur envisage maintenant de modifier l'appareil pour répondre à une

nouvelle question : plutôt qu'un balancement tête/pied, un balancement droite/gauche devrait permettre d'observer les différences d'activité entre les deux hémisphères du cerveau. On pourrait ainsi mesurer à quel point le cerveau droit ou gauche est plus actif que l'autre durant une activité. Si cela pourrait fonctionner ? « Rien n'est moins sûr, reconnaît David Field, mais ce que j'ai compris en faisant de la science durant toutes ces années, c'est qu'on ne sait jamais avant d'essayer. » ■

### RÉFÉRENCE

► *Weighing brain activity with the balance : Angelo Mosso's original manuscripts come to light* par S.Sandrone et coll., Brain, mai 2013.

# Un corps sain... égale un esprit sain

Par Nolwenn Le Jannic et Christie Aschwanden

➔ Quel que soit l'âge, l'activité physique régulière pourrait être le meilleur moyen de garder son cerveau en forme. Le sport pourrait même expliquer l'évolution de cet organe complexe.

**T**out le monde le sait, l'exercice physique permet de réduire le risque de maladies cardiovasculaires ainsi que, comme le suggèrent de récentes études, de cancer et de diabète de type II. Mais il y a plus surprenant : elle serait également un bon moyen d'entretenir... son cerveau.

Le lien entre exercice et performance cognitive a été suggéré dès les années 1960, mais son importance n'a été réellement évaluée qu'environ 30 ans plus tard. C'est en effet dans les années 1990, que Fred Gage, généticien du Salk Institute à La Jolla (États-Unis), a découvert que l'exercice semblait stimuler la croissance des neurones chez les souris. À peu près au même moment, le psychologue cognitif Arthur Kramer, de l'Institut pour les Sciences avancées et la technologie à l'université d'Illinois (États-Unis), publiait dans la prestigieuse revue *Nature* un article montrant que des adultes sédentaires qui avaient suivi des cours d'aérobic pendant 6 mois

avaient augmenté leurs performances lors d'exercices de concentration.

S'inspirant de ces expériences, une série d'études se déroulant sur plusieurs années, parfois même sur des décennies, ont ensuite fait le lien entre forme physique et capacités cognitives. L'une d'entre elles, qui a suivi 1 500 sujets pendant 20 ans, a même prouvé que les bienfaits du sport pouvaient se faire sentir à long terme : chez les personnes d'âge moyen, celles qui pratiquaient une activité physique au moins deux fois par semaine avaient bien moins de risque que les inactifs de développer une démence une fois atteints leurs 60 et 70 ans. Des résultats qui devraient servir d'avertissement pour les adeptes du canapé : prendre de bonnes habitudes assez tôt peut retarder le déclin intellectuel des décennies plus tard. Bien que peu d'études aient été menées chez des sujets plus jeunes, les résultats disponibles suggèrent que l'activité physique augmente aussi la





santé cérébrale dès le plus jeune âge. Les preuves les plus marquantes se retrouvent dans les statistiques concernant les enfants de 5 à 14 ans fréquentant les écoles publiques de New York : les meilleurs élèves en sport sont aussi plus forts lors des tests académiques que les moins sportifs. Ainsi, le corps agit sur l'esprit.

#### **Des bénéfices divers**

Comment cela fonctionne-t-il exactement ? D'abord, il pourrait y avoir des bénéfices à court terme. En cas de stress, par exemple, la réponse cérébrale peut être inhibée et empêcher le cerveau de faire les bonnes connexions pour résoudre un problème, « mais si vous sortez faire une marche, normalement, votre niveau de stress chute et c'est alors que vous trouvez la solution », détaille Brian Christie, neurologue à l'université de Victoria (Canada). Ce qui expliquerait en partie pourquoi les enfants sportifs réussissent mieux à l'école.

L'exercice physique induit également des changements plus permanents. En effet, le cerveau, l'un des plus grands consommateurs d'énergie du corps humain, a besoin d'un incroyable réseau de ▶

PATY/GETTY IMAGES

► vaisseaux sanguins pour s'approvisionner en nutriments et en oxygène. Or le sport favorise la construction de ces autoroutes de l'énergie et aide à leur entretien. L'activité physique régulière diminue ainsi la pression artérielle et limite les risques d'hypertension. Or, comme l'a montré Matthew Pase, de l'université de technologie de Melbourne (Australie), si cette dernière est observée dans les artères menant au cerveau, elle peut engendrer une chute des performances cognitives. Enfin, une meilleure forme physique permet de lutter contre l'obésité, le diabète et les pathologies qui peuvent en découler. Ces maladies perturbent en effet notamment l'approvisionnement en insuline du cerveau, ce qui est soupçonné de contribuer à l'accumulation des plaques responsables des dommages cérébraux chez les personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer. En plus de toutes ces modifications sur la santé générale du cerveau, il a été prouvé que l'exercice est à l'origine d'une libération de neurotransmetteurs tels que la sérotonine, la noradrénaline et la dopamine, qui aident le cerveau à libérer des facteurs de croissance. Ces derniers permettent ensuite aux neurones de se multiplier et de faciliter la création de nouvelles connexions entre les cellules du cerveau.

#### Un bond évolutif

Les origines de ce lien entre corps et esprit se trouvent probablement ancrées dans notre évolution. « L'activité physique représente une grande partie de notre histoire évolutive. Toute notre physiologie est bâtie de façon à ce que nous soyons athlétiques », explique David Raichlen, anthropologue à l'université d'Arizona (États-Unis). En étudiant le passé de notre espèce, il cherche ainsi à savoir si l'activité physique de nos ancêtres aurait pu accélérer l'évolution de leur intelligence il y a des millions d'années. L'humain étant nettement plus endurant

**« Même des activités douces, comme faire une marche plusieurs fois par semaine, peuvent faire des merveilles sur le cerveau »**



JUPITERIMAGES/GETTY IMAGES

🔗 Aller à l'école à vélo pourrait-il aider les enfants à développer leurs aptitudes cognitives ?

que ses cousins primates (les singes ne courent pas de marathon), ses ancêtres ont sûrement été soumis à un flot constant de facteurs de croissance et de neurotrophines lorsqu'ils ont commencé à parcourir de longues distances à la recherche de nourriture. Et c'est cette vague chimique qui aurait entraîné un bond en avant de leur intelligence.

Plusieurs études viennent appuyer cette hypothèse, dont celle publiée l'année dernière par l'anthropologue, dans laquelle il avance que chez nos ancêtres, l'allongement des membres (une indication de la capacité à une plus grande activité physique) va de pair avec une augmentation de la taille du cerveau... bien que le lien de causalité directe soit toujours manquant et que le rapprochement entre taille du cerveau et intelligence ne soit pas non plus prouvé.

#### Chacun son exercice

Quel que soit le rôle qu'ait joué l'activité physique au cours de notre évolution, elle fait encore aujourd'hui son effet, ne serait-ce que parce qu'elle est au cœur des campagnes de santé publique. Celles-ci incitent à la pratique régulière du sport, pour le bien des neurones des jeunes... et des moins jeunes. Quel est l'exercice idéal ? Pour les personnes âgées, Arthur Kramer a prouvé que même l'activité douce, comme faire une marche plusieurs fois par semaine, pouvait faire des merveilles et augmenter connexions cérébrales et taille de l'hippocampe, stimulant ainsi la mémoire. Pour ceux qui sont déjà en bonne forme, John Ratey, psychiatre à Harvard (États-Unis), préconise des exercices de type entraînement fractionné de haute intensité, qui sont très courts, mais très éprouvants. Selon lui, ceux-ci incitent l'hypophyse à relâcher des hormones de croissance, qui à leur tour augmentent la libération de neurotransmetteurs. L'essentiel étant bien sûr de garder à l'idée que le sport pratiqué doit être adapté aux capacités de chacun... et qu'il n'est jamais trop tard pour commencer. « On me demande souvent : « Si j'ai 70 ans, l'activité physique m'aidera-t-elle ? », explique Arthur Kramer. La réponse est : oui, absolument. » ■

LES CAHIERS : UNE ENCYCLOPÉDIE DES SCIENCES À COLLECTIONNER

Trimestriel - Déc. /Janv./Fév. 2014 - N° 2

LES CAHIERS  
LE MONDE DES  
**sciences**

LES CAHIERS  
LE MONDE DES  
**Sciences**  
NewScientist

TOUT  
SAVOIR  
SUR...



... L'INTELLIGENCE • L'UNIVERS INVISIBLE • LA THÉORIE DU TOUT  
• LE NUCLÉAIRE • LA SUPER-CONDUCTIVITÉ • LE GRAPHÈNE •  
LA RELATIVITÉ GÉNÉRALE • LES SENS DES OISEAUX...

**À découvrir chez  
votre marchand de journaux**

► ENVIRONNEMENT



# La Terre devient PLUS VERTE!

➔ La végétation se développe sur la planète bleue. Mais le vert lui va-t-il vraiment si bien?

Par Aurélie Angot et Olive Heffernan

**E**n 1957, le géologue Edward Sable a photographié la rivière Jago en Alaska (voir page suivante). Un demi-siècle plus tard, l'écologiste Ken Tape, de l'université d'Alaska à Fairbanks, a voulu prendre le même cliché. Il a obtenu un résultat bien différent. Là où l'aridité du climat arctique se traduisait par une quasi-absence de végétation, la verdure est apparue. Même la forme du terrain a changé, car le sol, glacé depuis longtemps, a dégelé par endroits. « C'est à peine reconnaissable », dit Ken Tape.

Le développement de la végétation s'observe un peu partout sur la planète. De nombreuses régions, jadis arides, verdissent. Une Terre plus verdoyante, cela résonne comme une bonne nouvelle. Mais le changement climatique lui fait écho et brouille toutes les cartes. Une croissance végétale accrue pourrait ne pas être si souhaitable. Pourquoi la végétation se développe-t-elle ainsi ? Ce phénomène va-t-il perdurer ? Et quelles conséquences cela peut-il entraîner ?

## Des températures plus propices à la croissance des plantes

Les régions où la végétation se développe le plus englobent le Canada, l'Europe du Nord et la Russie. Les changements les plus notables concernent la toundra arctique et les forêts boréales où 41 % de la surface du terrain a verdi entre les années 1980 et les années 2000.

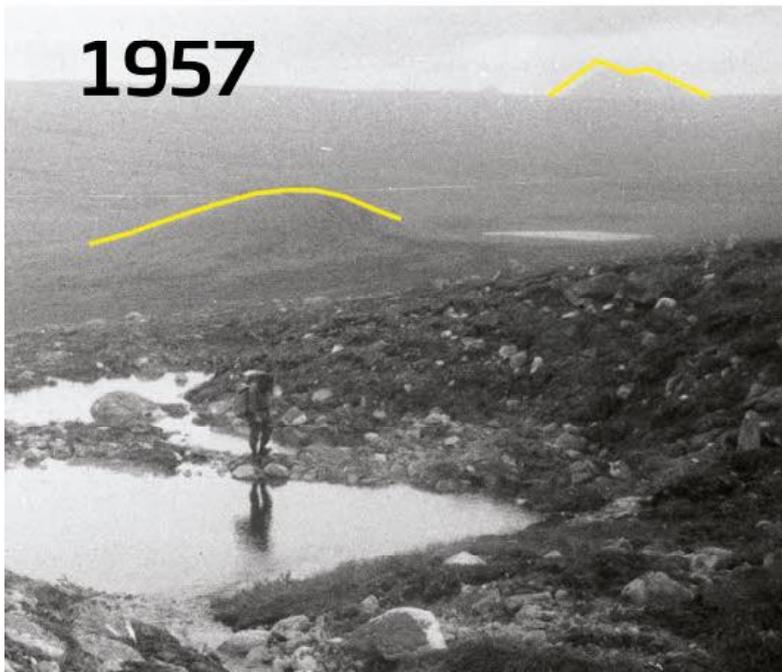
« Ce que l'on observe dans l'hémisphère nord est sans précédent au cours du dernier millénaire », dit Jonathan Barichivich de l'université d'East Anglia à Norwich, en Angleterre. Dans ces régions, la cause du développement de la végétation est claire. Là-bas, le facteur limitant de la croissance des plantes est le froid. Or l'Arctique est soumis à un réchauffement climatique deux fois plus rapide que le reste de la planète. Cela entraîne des modifications au niveau des saisons et donc de la période pendant laquelle les plantes peuvent croître. Dans une étude récente, Jonathan Barichivich rapporte que la période de croissance végétale en Arctique est aujourd'hui plus longue de 6 jours en Amérique du Nord et de 13 jours en Eurasie, par rapport à celle d'il y a 30 ans (Global Change Biology, vol 19, p 3167).

## L'action fertilisante du CO2

Les régions sèches présentent aussi des zones où la végétation s'est développée ces 30 dernières années. Mais il y a de grandes disparités. La croissance végétale a augmenté au Sahel en Afrique, à l'ouest de l'Australie, dans certaines zones désertiques indiennes et dans le nord des Grandes Plaines d'Amérique du Nord. Elle a chuté en Asie centrale, en Australie centrale et en Patagonie. Si l'on observe un verdissement global de la planète, les raisons en sont très débattues. Une augmentation des précipitations et des changements dans l'utilisation des ➔

ARQUILAY77 - FOTOLIA

1957



EDWARD SABLE (1957)

► sols sont évoqués. Une étude publiée courant 2013 et menée par Randall Donohue du CSIRO, l'agence nationale de recherche australienne, suggère que dans les régions sèches et chaudes, l'augmentation du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) est la principale cause du développement de la végétation. Les plantes utilisent le CO<sub>2</sub> pour fabriquer les protéines, l'ADN, et toutes les autres molécules dont sont constitués les êtres vivants. Le CO<sub>2</sub> est ainsi essentiel au développement des végétaux et de nombreuses études montrent que des niveaux élevés de CO<sub>2</sub> favorisent leur croissance. Aux études anciennes réalisées en conditions contrôlées, dans des chambres de culture, se sont ajoutés, depuis une vingtaine d'années, des travaux sur des parcelles de forêt ou de terres cultivées permettant aux chercheurs d'observer *in situ*, la réponse des végétaux à un enrichissement de l'atmosphère en CO<sub>2</sub>. Ces recherches montrent que de nombreuses plantes réalisent plus vite la photosynthèse et voient leur croissance augmentée quand le CO<sub>2</sub> atmosphérique est plus élevé.

↑ → Même endroit, 50 ans d'écart.

La vallée du Jago en Alaska, photographiée en 2007 par Ken Tape, n'a plus grand-chose à voir avec ce qu'elle était en 1957. Rochers et marres sont presque entièrement cachés par une végétation buissonnante à qui la flore alpine a cédé place. Même la forme du terrain a changé en raison du dégel du permafrost et de l'affaissement de roches.



2007

« Dans certaines régions, des facteurs limitants empêchent partiellement l'effet fertilisant du CO<sub>2</sub> », dit Donohue. Pour qu'il se produise pleinement, il faut que les plantes reçoivent suffisamment de chacun des autres éléments nécessaires à leur croissance (eau, lumière, nutriments). En zones sèches, l'eau est un facteur limitant. Comment se fait-il alors qu'une augmentation du CO<sub>2</sub> atmosphérique entraîne un développement de la végétation ? Cela vient du fait que pour prélever le CO<sub>2</sub> dans l'air, les plantes doivent ouvrir des pores présents à la surface de leurs feuilles, leurs stomates. Lorsque ceux-ci sont ouverts, les plantes perdent de l'eau. Si le CO<sub>2</sub> est présent en plus grande quantité dans l'air, la durée d'ouverture des stomates diminue et la perte d'eau baisse. Les plantes absorbent plus de CO<sub>2</sub> tout en perdant moins d'eau. Leur développement est favorisé.

Entre 1982 et 2010, le CO<sub>2</sub> atmosphérique a grimpé de 14 % (son niveau est aujourd'hui juste un peu en dessous de 400 ppm, contre environ 280 ppm en 1850). Donohue et son équipe ont analysé des images satellites afin d'observer l'effet de cette augmentation sur la croissance végétale dans les régions chaudes et arides. Une fois écarté l'effet des modifications relatives aux précipitations, les chercheurs ont obtenu une augmentation de la densité foliaire (densité du feuillage) de 11 % dans des régions d'Australie, du Moyen-Orient, d'Afrique et d'Amérique du Nord (Geophysical Research Letters, vol 40, p3031). La démonstration de l'effet fertilisant du CO<sub>2</sub> en conditions naturelles est ardue, car de nombreux éléments peuvent être à l'origine d'une végétation prolifique, comme le réchauffement, la repousse végétale après un feu de forêt ou des ravageurs moins nombreux. « L'action fertilisante du CO<sub>2</sub> est vraiment difficile à observer », dit

## « Quel que soit l'angle par lequel on observe la situation, davantage de végétation absorbe et retient plus d'énergie, et donc conduit à une aggravation du réchauffement climatique »

Jonathan Barichivich. L'étude de Donohue constitue la meilleure preuve aujourd'hui, mais ne concerne qu'une petite surface du globe.

### Des chiffres étonnants

Depuis 20 ans, des centaines de tours instrumentales ont été installées sur l'hémisphère nord, dans les forêts tempérées et boréales, afin de mesurer les niveaux de CO<sub>2</sub>, le taux d'humidité ou encore la vitesse du vent. Trevor Keenan, de l'université Macquarie à Sydney, en Australie, a étudié avec ses collègues les données des tours les plus anciennes en s'intéressant à la quantité de CO<sub>2</sub> et d'eau utilisée par les plantes à travers le temps. Les résultats obtenus par les chercheurs indiquent que l'efficacité d'utilisation de l'eau par les plantes (rapport entre les quantités de CO<sub>2</sub> capturé et d'eau perdue) augmente de 3 % chaque année et que cela est dû à l'augmentation en CO<sub>2</sub> atmosphérique (Nature, vol 499, p324). Ces résultats sont surprenants, car ils indiquent que l'efficacité hydrique augmente 6 fois plus vite que ce que suggèrent les expériences basées sur un enrichissement en CO<sub>2</sub>. Ils ne font pas consensus. « Je ne pense pas que cela soit possible, dit Belinda Medlyn, également de l'université Macquarie. Avec son équipe, la chercheuse a participé à des expériences d'enrichissement en CO<sub>2</sub>. « Je ne pense pas que nous ayons pu rater un effet d'une telle importance que celui décrit ici ». Medlyn pense qu'il y a une explication ne faisant pas uniquement intervenir le CO<sub>2</sub>, mais elle concède que cette explication n'est pas aujourd'hui connue.

### Un futur plus vert ?

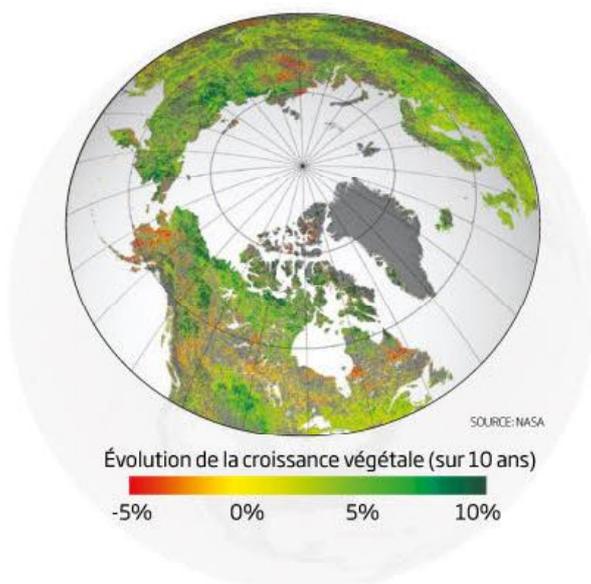
Même si le CO<sub>2</sub> n'a pas un effet aussi fort que ce que l'étude de Trevor Keenan suggère, il a déjà commencé à affecter la croissance des végétaux sur la planète. Que va-t-il se passer maintenant ? « Avec le réchauffement climatique, dit Jonathan Barichivich, un recul des forêts boréales vers le nord va être observé. Elles vont envahir la toundra, dont la surface va peu à peu diminuer ». La végétation en Sibérie deviendra- ➤

## UNE TERRE PLUS VERTE, PERMETTRAIT-ELLE MIEUX DE NOURRIR LA PLANÈTE ?

Si le climat n'était pas en train de changer, davantage de CO<sub>2</sub> rimerait avec de meilleurs rendements et donc davantage de nourriture. Mais dans la situation actuelle, les cultures risquent d'être mises à mal par la hausse des températures, des sols s'asséchant plus vite, des précipitations en baisse par endroits, ou encore des maladies et des insectes ravageurs favorisés par des températures plus chaudes. Sécheresses et inondations risquent aussi de devenir plus fréquentes. Beaucoup dépendront donc de la manière dont les agriculteurs arriveront à s'adapter à ces conditions changeantes. Adaptation qui risque d'être beaucoup plus difficile pour les petits exploitants, faute de moyens financiers suffisants.

## L'Arctique verdit

Le développement de la végétation dans les latitudes Nord, au cours des 30 dernières années.



► t-elle aussi luxuriante que celles rencontrées aujourd'hui dans les contrées d'Europe ? L'Arctique canadien va-t-il se couvrir d'arbres verdoyants ? Ce n'est pas certain. « Les scientifiques travaillent encore pour décrypter ce qu'impliquent ces pixels verts (sur les images satellites), afin de comprendre ce qui est en train de se passer sur Terre », dit Ken Tape. L'une des grandes inconnues est de savoir comment les plantes, les animaux, et en particulier les humains, vont répondre et s'adapter aux changements qui ont commencé à se produire. Certaines espèces vont sortir gagnantes et d'autres non. Par exemple des populations d'insectes sont déjà favorisées par l'élévation de température.

Une grande incertitude existe en ce qui concerne l'effet direct du CO<sub>2</sub> sur les plantes. « Il est très difficile de prédire si le développement de la végétation va continuer, car nous ne savons pas si les plantes

vont continuer à répondre à l'élévation de CO<sub>2</sub> atmosphérique, et donc à son effet fertilisant », dit Randall Donohue.

Se pose aussi la question du changement climatique engendré par l'élévation du CO<sub>2</sub> atmosphérique. Dans les régions froides, le réchauffement est susceptible d'entraîner un développement de la végétation. Mais dans les régions chaudes, il pourrait empêcher la croissance des végétaux en augmentant leur perte d'eau. Par ailleurs, la croissance des plantes chute lorsque les températures excèdent une certaine limite. Jed Kaplan, de l'École polytechnique fédérale de Lausanne (Suisse), explique que les modifications relatives aux précipitations vont avoir une grande importance sur la tournure que vont prendre les événements. Les régions sèches devraient devenir encore plus sèches, mais de manière globale, les précipitations devraient devenir plus abondantes. On ne sait pas quelles régions du globe seront concernées par ces pluies. Changement climatique et développement de la végétation sont intimement liés et interagissent l'un sur l'autre, de manière locale et globale. En théorie, plus de végétation devrait permettre à plus de CO<sub>2</sub> d'être capturé et donc de limiter le changement climatique. Une étude récente indique que le niveau de CO<sub>2</sub> aurait déjà atteint 485 ppm s'il n'y avait pas eu l'effet fertilisant (PNAS, DOI : 10.1073/pnas.1314047110). Mais le point crucial est que le développement de la végétation ne permet de limiter la quantité de CO<sub>2</sub> atmosphérique que s'il reste piégé dans le sol, les tourbières ou les troncs. Des études suggèrent que le développement de la végétation pourrait être contrebalancé par une plus grande perte de CO<sub>2</sub>. Une grande crainte est la mort des forêts tropicales qui libéreraient alors le CO<sub>2</sub> piégé, accélérant le changement climatique. Une étude publiée en février 2013 suggère que l'effet fertilisant du CO<sub>2</sub> va aider à empêcher la mort de ces forêts en augmentant l'efficacité hydrique des plantes. « Mais elles vont quand même souffrir », dit Peter Cox de l'université d'Exeter, en Angleterre (Nature, vol 494, p 341). En Arctique, si le développement de la végétation se poursuit, ce ne sera pas bon pour le climat. Les terres recouvertes par une végétation dense retiennent plus de chaleur que la toundra. « Quel que soit l'angle par lequel on observe la situation, davantage de végétation va absorber et retenir plus d'énergie, et va conduire à une aggravation du réchauffement climatique », dit Scott Goetz du Woods Hole Research Center dans le Massachusetts. Le réchauffement de la planète et l'augmentation du CO<sub>2</sub> atmosphérique vont entraîner de grands changements sur la végétation. « Ce que nous observons déjà aujourd'hui est d'une énorme ampleur et ce que nous pourrions voir dans le futur a de quoi inquiéter », dit Trevor Keenan. ■

« Dans les régions chaudes, le réchauffement pourrait empêcher la croissance des végétaux »

LE MONDE DES  
**Sciences**

# LE MONDE DES **Sciences**

LE MAGAZINE DU JOURNALISME SCIENTIFIQUE D'INVESTIGATION

**1**

Chaque mois, un regard inédit  
sur **l'actualité la plus récente.**

**2**

Par **NewScientist**  
**l'une des plus grandes rédactions**  
de journalistes scientifiques au monde.

**3**

L'intervention des **chercheurs**  
**les plus éminents** de la planète.

## ABONNEZ-VOUS!

10 NUMÉROS  
**49€**  
SEULEMENT  
AU LIEU DE  
59,90 €

**OUI, JE M'ABONNE POUR 1 AN 6 BIMESTRIELS + 4 HORS-SÉRIES  
POUR 49 € AU LIEU DE ~~59 €~~**

Je règle par chèque  
à l'ordre de *Mondeo Publishing*.

Merci d'adresser vos abonnements – coupon  
ou papier libre – sous enveloppe

NON AFFRANCHIE à l'adresse suivante :

**LIBRE RÉPONSE 19345  
94 309 VINCENNES CEDEX**

Pour les tarifs internationaux ou pour régler par carte  
bancaire, vous pouvez vous rendre sur notre site :

**WWW.MONDEO.FR** ou nous téléphoner au  
**01.75.43.09.09**

LMs12-T1-2014

Ces informations ne sont utilisées que pour les besoins de l'abonnement.  
Nous nous engageons à ne jamais communiquer vos coordonnées postales  
ou électroniques à des tiers.

\_\_\_\_\_

NOM

\_\_\_\_\_

PRÉNOM

\_\_\_\_\_

ADRESSE

\_\_\_\_\_

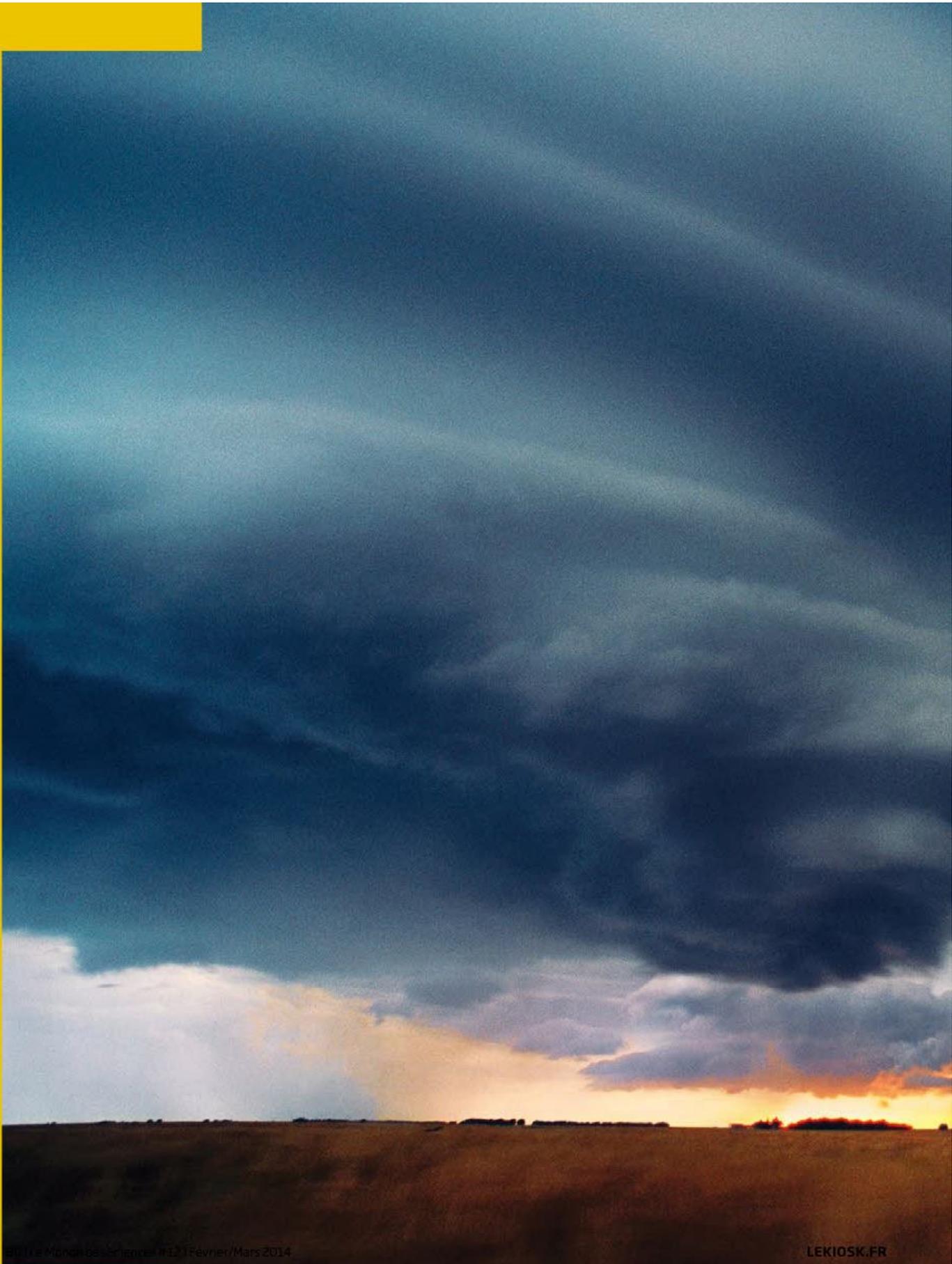
CODE POSTAL

\_\_\_\_\_

VILLE

\_\_\_\_\_

E-MAIL





TOUT **SAVOIR**  
SUR...

# LA MÉTÉO DE L'EXTRÊME

Comment se forment les tornades et autres tempêtes monstrueuses? Apprenez tout des pires événements météorologiques grâce à notre cahier encyclopédique!

**Par Sabine Casalonga et Jeff Masters**



## L'INSTABILITÉ ET LES PRÉCIPITATIONS

L'instabilité résulte d'une différence de densité de l'air entre plusieurs zones. Elle est maximale quand l'air est dense et froid en altitude, mais chaud et humide au sol, car l'air humide est moins dense que l'air sec. Quand l'air chaud monte, il prend du volume. Cette expansion provoque un refroidissement. Lorsque l'air atteint la température dite du point de rosée, la vapeur d'eau commence à se condenser, formant des nuages et des précipitations – pluie, grêle ou neige. Ainsi, les deux éléments sont nécessaires : la vapeur d'eau en quantité suffisante, et un mécanisme pour faire monter l'air de sorte qu'il refroidisse jusqu'au point de rosée. Les trois principaux facteurs d'élévation de l'air pour provoquer un refroidissement et une condensation sont :

- 1) le réchauffement du sol par le soleil, qui donne naissance aux courants thermiques
- 2) la rencontre de masses d'air de densités différentes créant des « fronts » qui poussent l'air vers le haut, et
- 3) la présence de montagnes où l'air est forcé de monter.

Tandis que les températures diminuent avec l'altitude dans la basse atmosphère, ou troposphère, à une altitude d'environ 11 kilomètres, l'air commence soudainement à se réchauffer à nouveau. Cette « inversion de température » marque le début de la stratosphère. Elle est causée par l'échauffement de l'air dû à l'absorption de la lumière ultraviolette par l'ozone. Aucun nuage ne se forme dans la stratosphère, car l'air de la troposphère ne peut pas s'élever au-dessus de l'inversion. Cela met un couvercle sur l'instabilité. S'il n'y avait pas d'inversion, nous subirions encore plus d'événements météorologiques extrêmes.

GANTER/OWKA

☺ Quand l'air ascendant se refroidit, la vapeur d'eau se condense et forme les nuages.

## LE SOLEIL : LE PILOTE DE LA MÉTÉO

L'atmosphère de la Terre est chauffée de façon inégale sur les pôles et l'équateur. Cela s'explique par de la géométrie relativement simple. Nous vivons sur une sphère en orbite autour du soleil. La lumière solaire tombe directement sur l'équateur, mais à un angle très incliné près des pôles. Les régions polaires reçoivent donc moins l'énergie du soleil. Cette différence est le moteur fondamental de la météo sur la planète. La chaleur se déplace naturellement des zones plus chaudes aux plus froides, donc l'atmosphère et les océans transportent de la chaleur de l'équateur vers les pôles. Une planète sans différence de température serait une planète sans météo, où le vent ne souffle jamais. Mais sur Terre le vent souffle toujours, et parfois très fort.

☺ La vitesse de rotation de la Terre est à l'origine de la forme de ses vents.

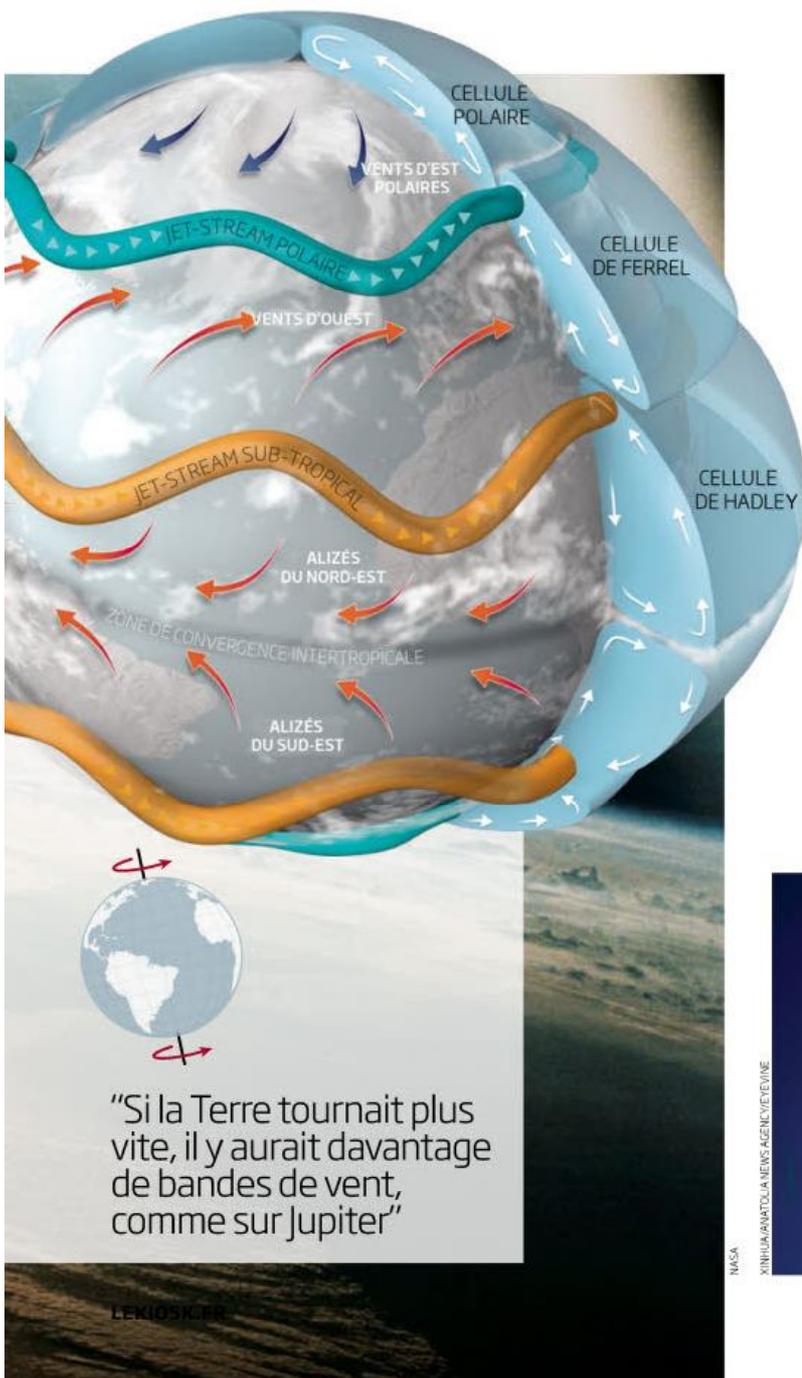
## BANDES ET FORCES DE VENT

Si la Terre ne tournait pas, la configuration des vents serait très simple. L'air chaud monterait à l'équateur, puis s'étalerait horizontalement vers les pôles, une fois atteint le plafond de l'atmosphère. Aux pôles, il se refroidirait, puis devenu plus dense, plongerait près de la surface et s'écoulerait vers l'équateur. Les vents de surface ne circuleraient donc que du nord au sud dans l'hémisphère nord, et du sud au nord dans l'hémisphère sud. Sur une sphère en rotation, la surface – et l'air au-dessus – se déplace plus vite à l'équateur et pas du tout aux pôles. Ainsi, la rotation de la Terre dévie les vents vers la droite dans l'hémisphère nord, et vers la gauche au sud. Cette déviation est appelée effet de Coriolis. La rotation de la Terre crée un effet de Coriolis suffisamment fort pour produire trois

bandes de vents de surface dans chaque hémisphère : les alizés, les vents d'ouest aux latitudes moyennes et les vents d'est aux pôles (voir schéma). À haute altitude, les bandes rapides d'ouest en est, appelées courants-jets (ou jet-stream), se développent au-dessus des vents plus lents de surface. Bien que cette tendance générale prédomine, puisque notre planète n'est pas uniforme, mais composée d'océans, de montagnes, de forêts et de déserts, la configuration des vents réelle est beaucoup plus complexe et variable.

# LES FORCES MOTRICES

La mince couche de gaz qui compose l'atmosphère de la Terre est sujette à des humeurs d'une beauté spectaculaire - et d'une violence étonnante. Pour comprendre les événements météorologiques extrêmes, nous devons d'abord regarder les rouages complexes des forces qui mettent l'atmosphère en mouvement et pilotent le climat de notre planète.



## LA TEMPÉRATURE ET LA PRESSION

L'air est réchauffé par trois mécanismes principaux : le rayonnement, la conduction et la convection. Le soleil rayonne des photons qui sont absorbés par les molécules d'air, ce qui les accélère et donc les réchauffe. Il a le même effet sur le sol dont les molécules conduisent l'énergie thermique jusqu'à la fine couche d'air à son contact. Comme les molécules dans cette parcelle d'air chaud bougent plus rapidement, le volume augmente. Cette cellule d'air moins dense que l'air ambiant va alors monter. L'air plus froid et plus lourd s'écoule ensuite dans l'espace vacant, où il devient à son tour plus chaud et s'élève, perpétuant le cycle. Ce mouvement vertical de la chaleur est appelé convection, et les courants ascendants d'air, les thermiques. De cette manière, des différences de température provoquent des variations de densité et de pression qui initient les vents à la fois verticalement et horizontalement.



☀ Les courants ascendants appelés thermiques se forment quand le soleil chauffe l'air près du sol.



HECTOR/ANAP/GETTY

## LES TORNADES

Lors d'une tornade dans l'Oklahoma, le 3 mai 1999, un vent d'une vitesse de 486 kilomètres par heure a été détecté – le plus rapide jamais enregistré. Des vents de cette force provoquent une destruction totale, balayant de solides maisons en bois et endommageant les structures en béton armé.

Heureusement, durant la dernière décennie, seules trois tornades ont atteint la catégorie EF-5 sur l'échelle de Fujita améliorée (pour des vents de plus de 322 km/h). Contrairement aux ouragans, les tornades sont assez petites, allant de 75 m à environ 3 km de large. Elles descendent de nuages cumulonimbus (orage). Sur l'eau, elles forment des trombes qui sont plus faibles qu'à terre. Des conditions particulières sont nécessaires à la formation des tornades. Le plus important est la présence d'une instabilité et d'un cisaillement du vent. Un flux d'air chaud et humide à basse altitude combiné avec un flux d'air froid et sec polaire, en altitude, crée une instabilité maximale, créant de puissants courants ascendants.

Si un jet-stream très puissant est aussi présent, avec des vents violents près du sommet de la troposphère, il y aura un cisaillement de la vitesse du vent vertical, c'est-à-dire une différence de vitesse de l'air entre un point bas et un point haut. Si les vents changent d'orientation de sud près de la surface à ouest en altitude, il se crée également un cisaillement de vent de direction.

Ces deux types de cisaillement font tourner les courants ascendants, formant un orage tournoyant, ou supercellule, à l'origine des tornades violentes.

Un troisième ingrédient habituellement nécessaire pour générer des supercellules est le « plafond ». Il s'agit d'une

région dans les couches moyennes de l'atmosphère où de l'air sec stable a pénétré et qui empêche l'air de monter plus haut. Le résultat est une seule grande supercellule au lieu de plus petits orages dispersés.

Ces conditions sont les plus courantes dans le Mid-Ouest américain. Quand l'air chaud et humide du golfe du Mexique rencontre l'air froid et sec provenant du Canada, une atmosphère explosivement instable en résulte souvent. Ajouter à cela l'intrusion à mi-chemin de l'air sec et stable des régions désertiques et un jet-stream puissant en altitude, et des dizaines voire des centaines de tornades peuvent naître. Durant le « Super Outbreak » d'avril 1974, 148 tornades se sont produites sur 18 heures dans 12 états aux États-Unis et dans l'Ontario, au Canada. Au moins 300 personnes sont mortes.

Alors que la grande majorité des tornades surviennent aux États-Unis, d'autres pays sont aussi touchés. Le Bangladesh recense en moyenne trois tornades, souvent violentes, par an. La plus meurtrière au monde était une EF-5 qui a frappé le Bangladesh le 26 avril 1989, tuant plus de 1 300 personnes.

## LES CYCLONES DES LATITUDES MOYENNES

Le réchauffement inégal de l'équateur et des pôles conduit souvent à des tempêtes de milliers de kilomètres de diamètre, qui transportent la chaleur vers les pôles. Appelées cyclones des latitudes moyennes, celles-ci donnent à ces latitudes intermédiaires la plupart de leurs précipitations.

Ces cyclones se forment en présence de forts contrastes de température le long d'un front séparant l'air polaire froid et sec de l'air tropical chaud et humide. Ces grandes tempêtes sont principalement alimentées par la libération d'énergie potentielle lorsque l'air froid et dense, descendant vers l'équateur, déplace l'air chaud vers les pôles et en altitude.

Une source d'énergie supplémentaire est la chaleur latente. Celle-ci est libérée lorsque la vapeur se condense à partir des molécules d'eau liquide. Quand l'air ascendant est refroidi dans une tempête, et condense la vapeur d'eau, la chaleur latente résultante réchauffe l'atmosphère environnante. Ce qui fait monter l'air plus haut et libère encore plus de chaleur latente, alimentant la tempête. La tempête agit comme un moteur thermique, convertissant de l'énergie thermique en énergie cinétique – le vent.



FRED STEWART/AP/HECTOR/ANAP/GETTY

☺ Les tornades du Super Outbreak de 1974 (à gauche) ont causé des dégâts à travers tous les États-Unis et au Canada.

# FUREUR CONCENTRÉE : LES PHÉNOMÈNES EXTRÊMES

Les tornades révèlent l'atmosphère dans sa forme la plus violente. Engendrées par les orages, elles produisent les vents les plus rapides de la planète. Heureusement pour nous, la plupart sont de petite taille, et les plus destructrices, extrêmement rares.



“La tornade la plus meurtrière au monde était une EF-5 qui a frappé le Bangladesh en 1989, tuant plus de 1 300 personnes”

## LES ORAGES

Si la chaleur du soleil est assez forte, les thermiques ascendants qu'elle génère, forment des cumulus gonflés sur le dessus. Dans certains cas, les sommets de ces nuages en forme de chou-fleur peuvent atteindre le sommet de la troposphère. Dans leurs parties supérieures, les températures créent de la glace et de la neige, et les collisions entre les particules congelées séparent les charges électriques. Lorsque la charge augmente jusqu'à un niveau critique, un éclair survient, réunissant les charges positives et négatives.

Le cumulus se transforme alors en cumulonimbus ou orage. En plus de fournir des pluies, sources de vie

pour la planète, les orages sont également à l'origine de nombreux risques. Les plus lourdes chutes de pluie sont toujours causées par les orages ; les fortes précipitations des cyclones tropicaux sont aussi dues aux orages en leur sein. De violents orages peuvent générer des vents destructeurs avec des vitesses allant jusqu'à 240 km/h et des grêlons gros comme des pamplemousses. Enfin, les orages produisent la tempête la plus violente de la nature : la tornade.



⚡ Les grêlons peuvent causer de graves dommages aux personnes, aux usines et aux avions, même s'ils sont beaucoup plus petits que ceux-là.

Les ouragans apportent des vents destructeurs, des tempêtes et de fortes pluies.



SAVANT DASJESSEN/SHUTTERSTOCK

## TYPHON OU OURAGAN ?

Un cyclone tropical commence comme une dépression tropicale - un système de tempête tournoyante avec des vents de moins de 63 km/h. Quand les vents s'accroissent, le système reçoit un nom et est classé comme une tempête tropicale. Lorsque les vents atteignent 119 km/h, un anneau d'orages intenses, baptisé le « mur de l'œil », se forme autour du centre. Au cœur, « l'œil » de la tempête est une région calme d'air descendant. Une fois que les vents dépassent 119 km/h, la tempête est appelée ouragan dans l'Atlantique ou le Pacifique oriental, et typhon dans le Pacifique occidental. Dans l'océan Indien et dans l'hémisphère sud, on l'appelle simplement un cyclone ou un cyclone tropical. L'eau très chaude, à une profondeur de 50 mètres ou plus, peut contribuer à intensifier rapidement

un cyclone tropical pour former un ouragan majeur, avec des vents de 178 km/h ou plus - la tempête la plus redoutable et destructrice de la planète. Traditionnellement, les ouragans sont classés de 1 à 5 sur l'échelle de Saffir-Simpson, basée sur la vitesse maximale du vent. Cependant, une tempête faible qui couvre une vaste zone de mer peut générer une houle plus grande qu'un ouragan plus petit, mais d'une catégorie plus élevée. Pour cette raison, une autre échelle a été développée, pour mesurer à la fois la vitesse du vent et la surface sur laquelle ils s'étendent.

“Un faible ouragan peut générer une plus grande tempête qu'un autre plus puissant, s'il couvre une superficie plus grande”

## LES DÉPRESSIONS DE MOUSSON

Les moussons se forment selon le même principe que la brise de mer estivale, mais à une plus grande échelle. En été, la terre se réchauffe plus que l'océan parce que la chaleur du soleil se concentre près de la surface, alors que sur l'eau, le vent et les turbulences mélangent l'eau de surface avec l'eau froide plus profonde. Par conséquent, une région de basse pression d'air ascendant se développe sur les zones terrestres. Les vents chargés d'humidité de l'océan s'élèvent quand ils atteignent la terre. L'air ascendant se dilate et se refroidit, libérant son humidité sous forme de pluies parmi les plus abondantes sur

Terre - la mousson. Chaque été, les moussons affectent tous les continents sauf l'Antarctique et leurs pluies permettent la vie de milliards de personnes. En Inde, la mousson fournit 80 % des précipitations annuelles. Ce phénomène a aussi une face sombre : des centaines de personnes en Inde et dans les pays voisins meurent chaque année des inondations et des glissements de terrain.

# DES MOTEURS THERMIQUES

Les eaux chaudes de l'océan fournissent l'énergie qui anime les tempêtes les plus redoutables. Les ouragans peuvent s'étendre sur plus de 2 000 kilomètres, former des houles de plus de 10 mètres et verser plus d'un mètre de pluie en un jour.



NOAA/ISS

Les vents les plus forts dans un ouragan sont dans le mur de l'œil, autour du cœur.

## LES CYCLONES TROPICAUX

Le terme « cyclone » se réfère à n'importe quel type de tempête de vent tourbillonnant et inclut les ouragans, les tornades et les systèmes de basse pression qui se développent dans les latitudes moyennes.

Les cyclones tropicaux, cependant, ne se forment qu'au-dessus des eaux chaudes d'au moins 26 °C, et à la différence des tempêtes terrestres, tirent leur énergie exclusivement de la chaleur latente. Les ouragans, les typhons, les tempêtes tropicales et les dépressions tropicales en sont des exemples.

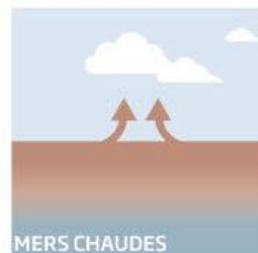
Comme les tornades, les cyclones tropicaux ont besoin d'un ensemble particulier d'ingrédients, à commencer par l'eau chaude de l'océan. En outre, le cisaillement vertical du vent doit être très faible : en d'autres termes, la différence de vitesse entre la surface et le sommet de la troposphère doit être inférieure à environ 10 mètres par seconde. Si cette différence est plus grande, le cisaillement étire et déforme le cœur du cyclone tropical naissant, emportant sa chaleur et son humidité.

Des vents forts de haute latitude associés au jet-stream ou à des systèmes de basse pression en altitude sont la source la plus commune de cisaillement du vent. Les cyclones tropicaux ont aussi besoin d'une forte humidité dans une épaisse couche d'atmosphère. L'air sec de l'Afrique ou de l'Amérique du Nord perturbe souvent la formation d'un ouragan.

Enfin, un cyclone tropical a besoin de quelque chose pour le faire tourner. Dans l'Atlantique, ce sont généralement des zones de basse pression désorganisées, appelées les ondes africaines de l'est, qui émergent de la côte africaine et se déplacent vers les Caraïbes.

Les ouragans sont toutefois principalement mis en mouvement par l'effet de la rotation de la Terre. Puisqu'en raison de la force de Coriolis, la déviation des vents de l'atmosphère est nulle à l'équateur et maximale au niveau des pôles, les cyclones tropicaux ne peuvent généralement pas se former à moins de cinq degrés de latitude de l'équateur. Ensuite, plus ils se déplacent vers les pôles plus ils s'étirent en raison de la force de Coriolis croissante.

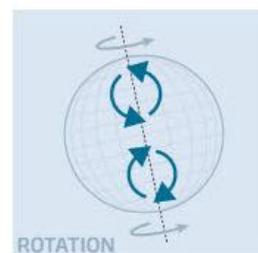
### LES INGRÉDIENTS D'UN OURAGAN



MERS CHAUDES



CISAILLEMENT DE VENT DE BASSE ALTITUDE



ROTATION



FORTE HUMIDITÉ

Les inondations les plus meurtrières sont généralement provoquées par une dépression de mousson, similaire mais plus grande qu'une dépression tropicale. Elle génère des tempêtes tournoyantes de centaines de kilomètres de diamètre, avec des vents de 50 à 55 km/h et de très fortes pluies. Chaque été, près de sept dépressions de mousson se forment sur le golfe du Bengale et se déplacent vers l'Inde.

En 2010, deux dépressions de mousson majeures ont traversé l'Inde jusqu'au Pakistan, provoquant la pire inondation dans l'histoire de ce dernier pays.



**Jeff Masters** est docteur en climatologie. Il a cofondé le service d'information météo en ligne Weather Underground en 1995. Il a volé sur les chasseurs d'ouragans de la NOAA américaine de 1986 à 1990.

## LE CHASSEUR D'OURAGANS

« Un autre courant d'air ascendant, beaucoup plus fort, soulève l'avion. Je regrette d'avoir oublié de fixer mon baudrier. Quelques secondes plus tard, un énorme courant descendant survient. Gerry et Lowell contrôlent à peine l'appareil. Hugo est un ouragan de catégorie 5, et nous sommes dans le mur de l'œil à 1 500 pieds (450 mètres, N.D.L.R.)! Nous risquons de plonger dans l'océan. Nous devons entrer dans l'œil où l'on peut monter à une altitude plus sûre. Nous y sommes presque! Puis, c'est la catastrophe. Des nuages noirs épais enveloppent l'avion. Un coup de vent titanesque nous écrase. Je suis projeté contre l'ordinateur, je rebondis, et durant un instant terrifiant je me retrouve la tête en bas, regardant Sean de l'autre côté du couloir ». J'ai servi pendant quatre ans comme météorologue sur l'avion-chasseur d'ouragan P-3 du National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Au cours de cette mission dans le cyclone Hugo en 1989, nous avons connu la plus extrême turbulence à laquelle un tel aéronef a jamais survécu, avec des forces de 5,7 G. Six missions entre 1945 et 1974 ont été perdues avec tous leurs équipages, mais à l'époque les avions étaient moins bien équipés et les conditions de vol plus difficiles.

L'objectif de ces missions est de pouvoir mesurer les vents les plus forts dans le mur de l'œil - la couronne de violents orages qui entoure l'œil calme du cyclone. Connaître leur force exacte est crucial pour émettre des avertissements appropriés. Les satellites ne peuvent pas le faire, car ils ont une capacité limitée pour voir à travers les nuages et la pluie. La faisabilité d'un vol dans le mur de l'œil a été démontrée pour la première fois le 27 juillet 1943, par le colonel Joseph Duckworth. Cette tâche dangereuse sera probablement prise en charge par les drones d'ici une vingtaine d'années. Les aéronefs -qui sont les seuls à pouvoir transporter de lourds instruments radar nécessaires pour sonder la structure d'un ouragan- continueront à voler dans les parties les moins dangereuses durant de longues années encore.

### RÉFÉRENCES

- ▶ *The AMS Weather Book: The Ultimate guide to America's weather* par Jack Williams (University of Chicago Press)
- ▶ *Meteorology Today* par Donald Ahrens (Brooks Cole)
- ▶ *Extreme Weather* par Christopher Burt (W. W. Norton)
- ▶ *Divine Wind* par Kerry Emanuel (Oxford University Press)
- ▶ *Tornado Alley* par Howard Bluestein (Oxford University Press)
- ▶ *The Rough Guide to Climate Change* par Robert Henson (Rough Guides)

LES CAHIERS  
LE MONDE DE  
L'intelligence

LES CAHIERS

LE MONDE DE

# L'intelligence



trimestriel - janvier/février/mars 2014

N°3

Certains aspects du développement de l'intelligence des enfants nous échappent totalement. D'autres, au contraire, dépendront de notre attitude et de notre intelligence en tant que parents...

## FAIRE GRANDIR INTELLIGENCE & ÉVEIL DES BÉBÉS

- 👉 L'apprentissage avant la naissance
- 👉 De l'inné à l'acquis, quand tout bascule
- 👉 La science parentale
- 👉 Le Big Bang du vocabulaire, etc.

+ de  
80 pages

France METRO: 6,50 € - BELGIUM: 6,50 € - DOM: 6,50 € - CH: 11 FS - CAN: 9,50 \$ cad - GRIPORT: CONT: 7 € - MAR: 67 med - NCAUS: 850 CFP - POLS: 900 CFP

SCIENCES

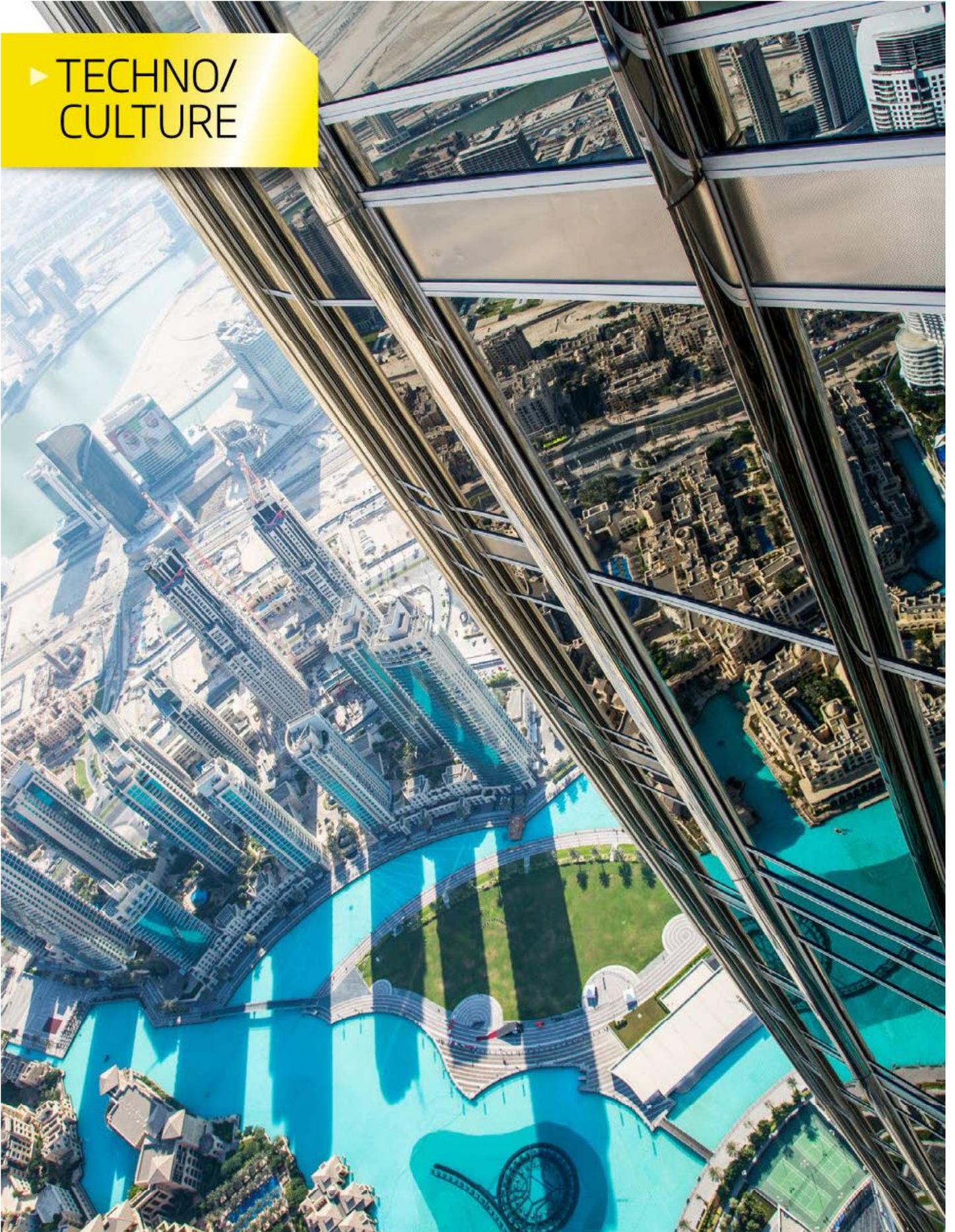
L 14723 - 3 - F. 6,50 € - PD



LES CAHIERS: UNE ÉDITION SPÉCIALE CONSACRÉE À UN GRAND THÈME DE L'INTELLIGENCE

# À découvrir chez votre marchand de journaux

▶ TECHNO/  
CULTURE





# VUE d'en HAUT

Par Nolwenn Le Jannic et Jessica Hamzelou

→ Les gratte-ciel géants battent tous les records... Rencontre avec d'incroyables ingénieurs.

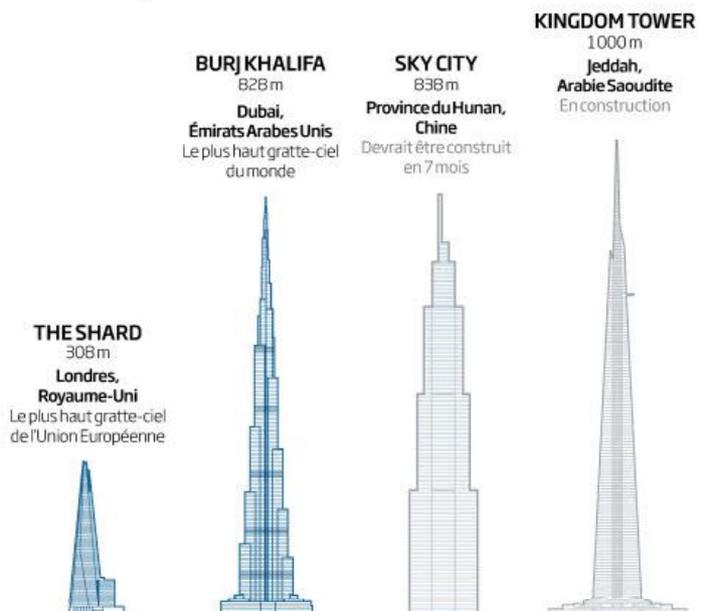
**Q**uand le Burj Khalifa a ouvert ses portes à Dubai en janvier 2010, le monde a levé les yeux vers la plus haute merveille de la planète, culminant à 828 mètres. Le gratte-ciel détrônait ainsi la précédente tenante du titre de « tour la plus haute », la Tapei 101 à Taiwan, en la dépassant de 320 mètres ! Pourtant son règne pourrait être de courte durée. Le building Sky City de 838 mètres de haut à Changsha, en Chine,

devrait ainsi être achevé en avril prochain et en 2019, la championne deviendra la Kingdom Tower, qui vise à dépasser le kilomètre de hauteur, en Arabie Saoudite.

#### Des modèles informatiques

Des exploits rendus possibles par le travail des équipes d'ingénieurs. « Il y a 50 ans, personne n'aurait pensé qu'il y aurait un jour une tour de 800 mètres à Dubai, note Roma Agrawal, ingénieure des structures chez WSP Group, un cabinet de consultants en ingénierie et conception. Maintenant, on pense qu'il n'y a pas de limite à la hauteur de ce que l'on peut construire. » Et elle sait de quoi elle parle puisqu'elle a récemment participé à la conception du plus grand building européen, baptisé The Shard, à Londres. ➤

## Les champions de la hauteur



► L'une des clés de la conception de ces supers gratte-ciel : les modèles informatiques en 3 D. Ceux-ci intègrent les tailles, formes, poids du building ainsi que les forces qu'il exercera ou auxquelles il sera soumis et fournissent aux ingénieurs les quantités minimums de matériaux à utiliser pour assurer la solidité et la sécurité de la structure. « En ne faisant des calculs qu'à la main, on ne formule que des hypothèses prudentes sur ce que peuvent supporter poutres et colonnes, poursuit Roma Agrawal. Avec les modèles informatiques, on peut définir les charges plus précisément et donc réduire la quantité de matériaux dans nos structures. » Et les tours construites avec moins de matériaux pèsent moins lourd... et peuvent donc s'élever plus haut. Mais la hauteur crée de nouveaux défis pour les ingénieurs,

« Il y a 50 ans, personne n'aurait cru possible qu'une tour de 800 mètres puisse exister à Dubai »

## EN HAUT, EN TOUTE SÉCURITÉ

Il a fallu 11 personnes et trois mois pour nettoyer entièrement les vitres du Burj Khalifa, le plus haut gratte-ciel du monde. Liz Richards, ingénieure en chef chez Highwire (fournisseur spécialisé dans la sécurité du travail en hauteur) garde les deux pieds sur terre, mais veille à la sécurité de ces équipes, qui œuvrent dans les hauteurs. Et les gratte-ciel géants représentent pour cela de nouveaux défis. « J'imagine que sur une tour d'un kilomètre de hauteur, s'il y a nécessité d'accéder au toit, il faudra le faire depuis une nacelle protégée qui ne peut pas être balayée par le vent », poursuit l'ingénieure. Selon elle, la meilleure partie de son travail est justement de relever ce type de défi pour créer des structures à la fois esthétiques et sûres : « C'est vraiment agréable de regarder un bâtiment gigantesque et de pouvoir se dire qu'on en est à l'origine »

comme la résistance aux tremblements de terre, aux vents violents ou encore l'évacuation des occupants en cas d'incendie. C'est là qu'interviennent les ingénieurs en sécurité. « Je passe ma vie à essayer de vérifier que tel building ou tel morceau de tour ne s'effondrera pas en cas d'incendie », détaille Luke Bisby, ingénieur à l'université d'Édimbourg (Royaume-Uni). Car l'acier ou le béton renforcé, principaux composants des gratte-ciel modernes, peuvent perdre leur résistance sous l'effet de la chaleur. Or « le feu doit pouvoir s'éteindre de lui-même, sans intervention des pompiers, sans que le building ne s'effondre sur lui-même », explique le chercheur. Ainsi, seules les personnes à l'étage de l'incendie et à ceux justes au-dessus et en dessous ont besoin d'être évacuées tandis que les autres sont « secourues sur place ». Savoir si celles-ci se sentiront vraiment en sécurité dans un building en feu est une autre question... Une deuxième option consisterait à rendre ignifuges les ascenseurs des gratte-ciel : « si vous parvenez à concevoir un ascenseur et une cage d'ascenseur résistants au feu, vous pourrez accélérer l'évacuation et révolutionner la conception de ce type de bâtiment », estime Luke Bisby. Si l'envie vous prenait de vouloir relever ce genre de défi, un diplôme en ingénierie de génie civil serait assurément un bon début... ■



# Le futur s'auto- fabriquera!

Par Victor Haumesser et Michael Reilly

➔ Dans un futur proche, nous construirons nos objets en réunissant les pièces nécessaires et en les secouant pour qu'elles s'assemblent. C'est en tout cas ce que pense **Skylar Tibbits**. Sommes-nous à la veille d'une nouvelle révolution industrielle ?

***Vous êtes directeur du Laboratoire d'Autoassemblage du Massachusetts Institut of Technology. Qu'est-ce que l'autoassemblage ?***

C'est un processus au cours duquel plusieurs fragments d'un système se combinent d'eux-mêmes en une structure ordonnée. Pour donner un exemple, nous avons conçu une maquette du virus de la polio. Si vous secouez le récipient contenant les différentes parties, elles se lient sans que l'on ait besoin de les placer une à une. Seul un

apport d'énergie mécanique, sous forme d'agitation, est nécessaire.

***Et l'impression 4D ?***

Au départ, cette appellation était un clin d'œil. Lorsque vous utilisez une imprimante 3D, vous obtenez des objets statiques, et vous devez les assembler un à un pour créer un système plus complexe. Mais pour nous, ce n'est pas une fin en soi et nous réfléchissons à comment intégrer cette complexité plutôt que de l'ajouter après. Grâce à des

matériaux dont le volume augmente de 150 % une fois plongés dans l'eau, nous avons produit des prototypes intéressants, comme un tube qui se plie en cube lorsqu'il est immergé. C'est très excitant, d'autant plus que pour le

moment nous ne faisons qu'effleurer la surface...

***Pensez-vous que l'impression 3D sera à l'origine d'une nouvelle révolution industrielle ?***

Actuellement, l'impression

« un tube se plie en cube lorsqu'il est immergé »

KENRICHARDSON





## PROFIL

**Skylar Tibbits** est architecte et informaticien. Ce jeune enseignant-chercheur dirige le Laboratoire d'Autoassemblage du MIT, aux États-Unis.

3D est encore très limitée par sa vitesse, la petite taille des objets imprimés et le manque de résistance des matériaux utilisés. Mais l'impression 4D vise justement à pallier ces inconvénients, grâce à des solutions plus intelligentes.

En ce moment, nous travaillons sur un projet fantastique nommé Hyperform. Ce programme nous permettra de calculer comment imprimer des objets « pliés » qui se déploieront de manière intuitive. Au final, nous obtiendrons

des objets beaucoup plus grands que l'imprimante qui les a produits. Nous n'en sommes qu'aux balbutiements, mais cela illustre bien le potentiel de l'impression 4D.

**Contrairement à d'autres programmes de recherche sur l'autoassemblage à l'échelle microscopique, vous travaillez sur des structures que l'on peut voir et manipuler.**

Depuis la précédente révolution industrielle, nous sommes devenus très performants sur la produc-

tion d'objets à taille humaine : voitures, habits, appareils électroniques, etc. Nous n'allons pas essayer d'améliorer ces processus, mais nous nous concentrons sur des domaines négligés, comme la construction en situation de crise humanitaire et dans des lieux difficiles d'accès où cela est trop coûteux ou dangereux. Nous pensons à la construction spatiale, la réparation d'infrastructures ou la création de nouveaux systèmes de contrôles.

### À quoi ressembleront ces nouveaux systèmes ?

Difficile à dire, car ils seront très probablement spécifiques au site de construction. Ils prendront la forme de matériaux qui s'adapteront au climat, de composants qui informeront sur « quand et comment » ils doivent être connectés, ou analyseront les contraintes environnementales que

KEN RICHARDSON

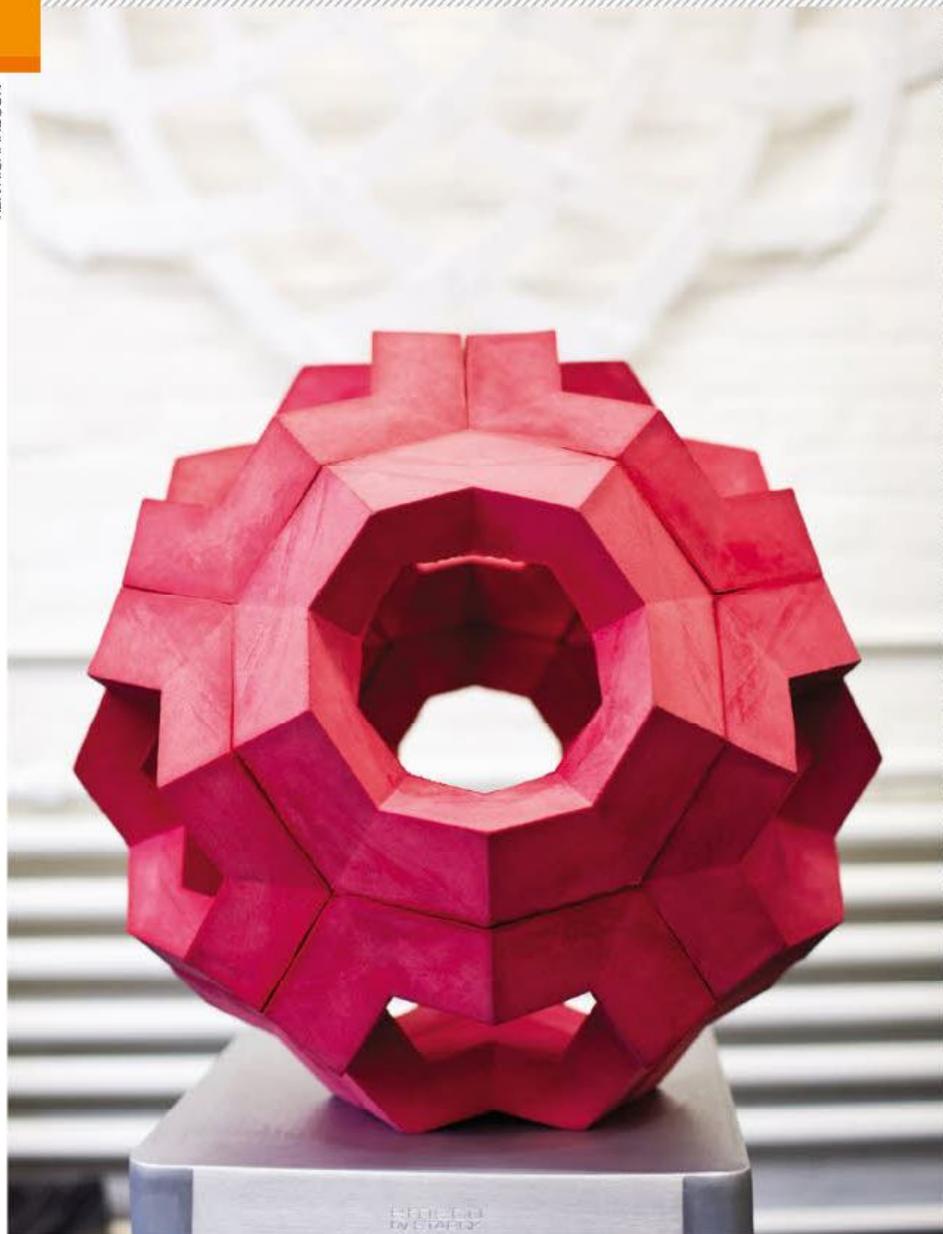
► l'utilisateur ne peut pas voir ou sentir. Imaginez un tuyau dans un circuit de distribution d'eau qui peut changer d'état pour devenir une valve. Il peut rétrécir pour maintenir la pression ou pour stopper le flux. Il pourrait même onduler, dans un mouvement péristaltique, comme ces contractions musculaires qui font voyager la nourriture le long du système digestif.

**Vous trouvez souvent votre inspiration dans la nature ?**

Bien sûr, mais il faut garder à l'esprit que beaucoup d'innovations sont apparues dans un environnement spécifique, et ne peuvent pas se transposer directement. Par exemple, le système qui permet au gecko de grimper aussi bien ne fonctionne pas sur toutes les surfaces. S'inspirer de la nature ne doit pas être automatique, et peut même se révéler contre-productif.

**Dans quels autres domaines les matériaux intelligents pourraient-ils intervenir ?**

Je pense à l'industrie aéronautique ou automobile, parce qu'elles font interagir forme et action mécanique pour améliorer l'efficacité de leurs produits. La conduite d'une voiture dépend de l'aptitude du pilote, des conditions extérieures, de l'état de la route, et tout cela change constamment. Si l'on peut adapter certains paramètres en temps réel, grâce à un pneu qui adhère plus dans les virages et qui modifie sa forme pour évacuer l'eau s'il se met à pleu-



voir, on augmente la sécurité et les performances. En fait, les matériaux intelligents peuvent être utilisés dans tous les cas où une

adaptation rapide est nécessaire. Leur avantage : ces changements ne se font pas en forçant, mais naturellement, grâce aux propriétés

intrinsèques de ces nouveaux matériaux.

**Qu'est ce que tout cela implique pour le futur ?**

En repensant complètement comment assembler, nous produirons de manière beaucoup plus simple, économique et efficace. Grâce à l'autoassemblage, on placera toutes les pièces dont on aura besoin au même endroit, on apportera de l'énergie en les remuant et tout se combinera automatiquement. ■

« Grâce à l'autoassemblage, en remuant les pièces, tout se combine automatiquement »

LE MAGAZINE DES NEUROSCIENCES, DE LA PSYCHOLOGIE ET DU DÉVELOPPEMENT PERSONNEL

LE MONDE DE  
L'intelligence

N° 34 • BIMESTRIEL • Janvier/février 2014

# LE MONDE DE L'intelligence



**Des chercheurs  
lisent et révèlent  
nos pensées**

De quoi sont  
faites vos  
pensées ?

Peut-on ne  
penser à rien ?

À quoi pensent  
les animaux ?

Contrôlons-nous  
nos pensées ou  
nous contrôlent-elles ?

Qu'est-ce qui n'est  
pas pensable ?

L'incroyable  
machine à peser  
les pensées

SCIENCES



**L'EXTRAVERSION**  
UN GAGE DE  
BONHEUR ?

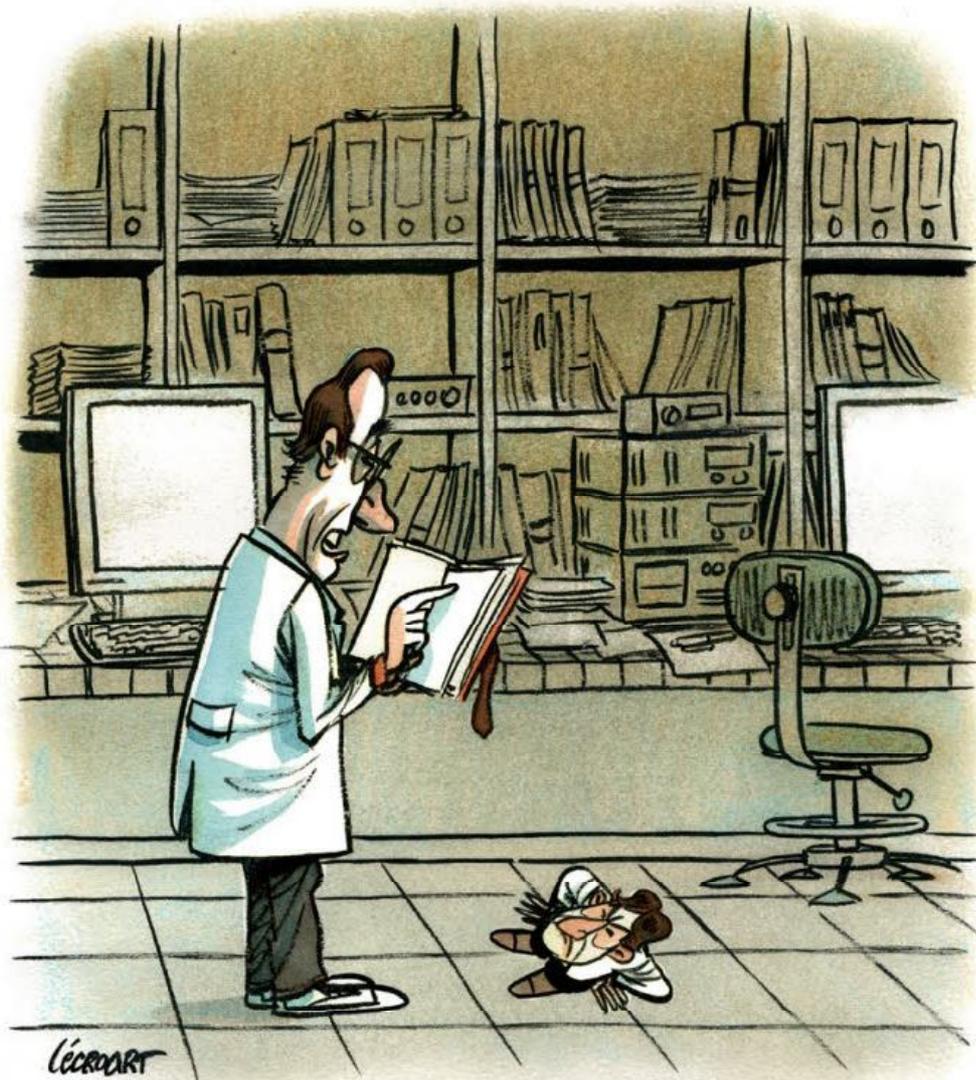
**NUTRITION CÉRÉBRALE**  
LES LENDEMAINS  
DE FÊTES...

+ LE CAHIER JEUX : LOGIQUE, NOMBRES, OBSERVATION, MÉMORISATION...

**À découvrir chez  
votre marchand de journaux**

# LE MONDE PASSIONNANT DE LA RECHERCHE!

→ Par Étienne Lécroart



— Ah, en effet Jean-Marc, je me suis trompé de chiffre :  
c'est la 4<sup>e</sup> dimension que vous deviez explorer, pas la 2<sup>e</sup>...

# LE MONDE DES Sciences

## Version Digitale

Retrouvez notre magazine  
en version **PDF** sur

 **lekiosk**  
www.lekiosk.com

 **zinio**™  
fr.zinio.com

 /   
dans les Digitab à bord du train



Disponible sur  
 **App Store**

Disponible sur  
 **Android**

Également  
sur vos ordinateurs



**ENFIN  
DISPONIBLE !**

Retrouvez l'**APPLI** du magazine  
en version enrichie  
sur toutes les tablettes !

Disponible sur  
 **App Store**

Tablettes iPad 1, 2 et 3

Disponible sur  
 **Android**

Tablettes Nexus, Acer,  
Samsung Galaxy, etc.



**facebook**

[www.facebook.com/monde.sciences](http://www.facebook.com/monde.sciences)

**PROCHAINEMENT**

Découvrez nos  
prochaines applis  
sur notre page  
facebook



Google Apps  
amazon kindle

universcience présente



EXPO

# MILLE MILLIARDS DE FOURMIS

Palais de la découverte du 15 octobre 2013 au 24 août 2014

Ⓜ Champs-Élysées Clemenceau

Ⓜ Franklin-D.-Roosevelt

palais-decouverte.fr

En partenariat  
avec ▶

Quotidien

SCIENCES  
L'AVENIR

FUTURA - SCIENCES

L'EXPRESS

5