

NÉANDERTAL **LANGUES** DINOSAURE QUADRIMARAN **CHAOS** PESTICIDES À ARN  
PRIÈRE **PARASITE-MÉDICAMENT** ENSEIGNEMENT DES MATHS CAROTTE GLACIAIRE

SCIENCE & VIE

# SCIENCE & VIE

FÉVRIER 2017 N° 1193 MONDADORI FRANCE

**ALZHEIMER**

LE RISQUE  
DIMINUE

**EXOPLANÈTES**

ON VOIT  
LEURS  
NUAGES

## LA FIN DU NUCLEAIRE ?

L'INDUSTRIE AU PIED DU MUR

D : 6,90 € - BEL : 4,80 € - ESP : 4,90 € - GR : 4,90 € - DOM S : 4,90 € - DOM A : 6,90 €  
ITA : 4,90 € - LUX : 4,80 € - PORT CONT : 4,90 € - CAN : 6,75 \$ CAN - MAR : 50 DH  
TOM S : 750 CFP - TOM A : 1 400 CFP - CH : 8,50 FS - TUN : 9 DTU

Ondes cérébrales

**DES ROBOTS COMMANDÉS  
PAR LA PENSÉE**



M 02578 - 1193 - F : 4,50 € - RD



## DS PERFORMANCE LINE

Découvrez DS PERFORMANCE Line. Mise au point par nos designers, nos ingénieurs et la division sport de DS Automobiles, cette ligne inédite conjugue esprit Grand Tourisme, raffinement et dynamisme. Chaque silhouette\* arbore fièrement les couleurs DS PERFORMANCE Line : Carmin pour la passion, Blanc pour la pureté et Gold pour la victoire. Entrez dans le cercle au volant d'une DS PERFORMANCE Line.



DS préfère **TOTAL**

Spirit of avant-garde = L'esprit d'avant-garde.

\* Non disponible sur DS 4 Crossback. CONSOMMATIONS MIXTES ET ÉMISSIONS DE CO<sub>2</sub> DE DS 5 : DE 3,5 À 6,2 L/100KM ET DE 90 À 144 G/KM. CONSOMMATIONS MIXTES ET ÉMISSIONS DE CO<sub>2</sub> DE DS 4 : DE 3,7 À 5,9 L/100KM ET DE 97 À 138 G/KM. CONSOMMATIONS MIXTES ET ÉMISSIONS DE CO<sub>2</sub> DE DS 3 : DE 3,0 À 5,6 L/100KM ET DE 79 À 129 G/KM. Automobiles Citroën RCS Paris 642 050 199





DS AUTOMOBILES

SPIRIT OF  
AVANT-GARDE



**DS PERFORMANCE  
LINE II**

DSautomobiles.fr



# CHYPRE

Des splendeurs de la nature

à l'hospitalité légendaire  
en un rien de temps.

Aphrodite, déesse de la beauté, a émergé des eaux turquoise de Chypre. Ici la divine beauté naturelle de l'île se confond harmonieusement avec celle des villages authentiques. Traversez les ponts qui relient passé et villages pittoresques et profitez de la tranquillité de ce pays de traditions et de culture. Ecoutez votre cœur et explorez toutes les richesses de l'île : à Chypre tout n'est que beauté et émotion.

[www.visitcyprus.com](http://www.visitcyprus.com)



*Chypre*  
de Cœur



Union Européenne  
Fonds européen  
de développement régional



République de Chypre



Fonds structurels  
des Fonds Européens à Chypre

Potentiellement éligible pour cofinancement par le Fonds européen  
de développement régional (FEDER)





Pierre-Yves Bocquet  
py.bocquet@mondadori.fr

## Le vertige des applications

Permettre à un handicapé de commander par la pensée une prothèse ou un exosquelette. On comprend que cet objectif motive les chercheurs qui élaborent ces nouvelles interfaces cerveau-machine. Mais, à ma grande surprise, rares sont ceux qui m'ont avoué travailler, ou même envisager, les nombreuses applications que cette fusion mentale entre le corps et la machine ouvre dans la vie quotidienne ou professionnelle. Lesquelles donnent pourtant le vertige...



Coralie Hancock  
c.hancock@mondadori.fr

## Bonne nouvelle

On reproche souvent aux journalistes de n'annoncer que des mauvaises nouvelles ou de jouer les Cassandre. Eh bien, pour une fois, je n'ai pas seulement une, mais plusieurs bonnes nouvelles. La première est que le risque de développer la maladie d'Alzheimer diminue. Depuis quelques années, toutes les études vont presque dans le même sens. Deuxième bonne nouvelle: cette diminution serait due à des améliorations dans nos modes de vie. Troisième bonne nouvelle: ces leviers d'action correspondent, en grande partie, aux recommandations visant à améliorer d'autres aspects de notre santé. Si vous n'avez pas encore fixé vos bonnes résolutions pour 2017, voici quelques idées...

Vincent Nouyrigat  
v.nouyrigat@mondadori.fr

## Les ingénieurs en première ligne

Depuis deux ans, l'industrie nucléaire française fait la une de la presse économique. Comme tout le monde, nous avons suivi, un peu interloqués, les déboires financiers d'Areva et d'EDF, les deux champions tricolores de l'atome censément indiscutables... Qu'apporter de plus aux articles de nos confrères rompus aux lignes budgétaires et aux arcanes du pouvoir? Ce dossier vous propose d'entrer dans les détails des trois grands défis techniques qui mobilisent actuellement des milliers d'ingénieurs français. Car c'est là, plus que dans les histoires politico-économiques, que se joue l'avenir de l'énergie nucléaire dans l'Hexagone.



# Sommaire

février 2017 n° 1193



COUVERTURE: SHUTTERSTOCK - GETTY



**SCIENCE VIE** 8, rue François-Orly 92543 Montrouge Cedex  
Tél. : 01 46 48 48 48 - Fax : 01 46 48 48 67  
E-mail : svmens@mondadori.fr

Recevez **Science & Vie** chez vous. **Votre bulletin d'abonnement se trouve p. 125.** Pour commander d'anciens numéros, rendez-vous sur [www.kiosquemag.com](http://www.kiosquemag.com). Vous pouvez aussi vous abonner par téléphone au 01 46 48 48 96, ou par Internet sur [www.kiosquemag.com](http://www.kiosquemag.com).

Un catalogue Croisières 2017 est jeté sur les exemplaires de toute la diffusion abonnés France Métropolitaine. Un encart Soldes d'hiver - 30 magazines à -50% est jeté sur les exemplaires d'une partie de la diffusion abonnés France Métropolitaine. Un encart Livre Trucs & Astuces est jeté sur les exemplaires de toute la diffusion abonnés France Métropolitaine.



10 **Forum**

## Actus

16 **Labos**

Une queue de dinosaure a été retrouvée... avec ses plumes; le larynx des singes est équipé pour le langage; l'effet du cannabis sur la mémoire s'explique enfin...

24 **Environnement**

Les fermetures d'usines à charbon bénéficient déjà au thon...

26 **Médecine**

L'hypertension diminue dans les pays riches mais explose dans les pays pauvres...

30 **Technos**

Une nouvelle batterie bat des records d'autonomie et de longévité...

## Evénement

34 **Alzheimer**

**Le risque diminue!**

## A la Une

42 **La fin du nucléaire?**

**L'INDUSTRIE AU PIED DU MUR**

## 48 3 grands problèmes actuels:

- L'acier des cuves de l'EPR
- Le béton des centrales en activité
- Le graphite des vieux réacteurs

## Science &amp; découvertes

60 **Astronomie**

**On a vu bouger un exonuage**

63 **Evolution**

**Aux origines animales de la violence**

66 **Linguistique**

**Langues: elles ont été façonnées par l'environnement**

70 **Glaciologie**

**Carotte glaciaire: la course à un million d'années**

## Science &amp; techniques

78 **Asthme, Crohn, allergies...**

**Se soigner grâce à des parasites**

84 **Implants neuronaux**

**Ils permettent de contrôler les machines par la pensée**

90 **Pesticides à ARN**

**La 3<sup>e</sup> grande révolution agricole?**

## Science &amp; futur

- 98 Un projet d'armada pour nettoyer les océans; de simples ballons à l'hélium pourraient lancer des satellites; un nouvel avion de ligne supersonique à l'essai; plus esthétiques, des tuiles solaires vont renouveler le photovoltaïque; le premier stade de foot 100 % en bois va voir le jour; l'aquaculture écologique s'installe en haute mer; stocker l'énergie verte sous l'eau est à l'étude...

## La science &amp; la vie

**Science & société**

- 106 Maths à l'école: comment relever le niveau?
- 110 Pics de pollution: 6 choses à savoir sur la situation en France
- 112 Urgences hospitalières: on sait qui y va et pourquoi

**Science & vie pratique**

- 114 Bon à savoir
- 116 Technofolies

**Science & culture**

- 120 Questions / Réponses
- 126 A voir / à lire
- 128 Il y a... 40 ans: la découverte d'une vie incroyable au fond des mers



# L'Espace d'un rêve polaire

*Dans les Montagnes du Jura, à Prémanon, L'Espace des Mondes Polaires ouvre ses portes. Plus qu'un musée, voilà un lieu de vie, d'expériences, de rencontres et de questionnement sur les grands enjeux climatiques contemporains. A voir et à vivre en famille.*

*Pourquoi fait-il si froid aux pôles ? Quelle est la différence entre la glace de terre et la glace de mer ? Comment les espèces animales et végétales se sont-elles adaptées à un milieu aussi hostile ? Quelles sont les conséquences des changements climatiques sur les pôles ? Et sur nos vies à nous ? En 3D, expos, expériences et émotions XXL, le tout nouvel Espace des Mondes Polaires répond à toutes ces questions et à bien d'autres encore. Cet équipement unique en son genre est né dans les Montagnes du Jura. Une terre chère au cœur de Paul-Emile Victor, inspirateur de cet ambitieux projet.*

## Le rêve de Paul-Emile

« Je connais beaucoup de pays de rêve. Je vis dans l'un des plus connus ; le lagon de Bora-Bora, la plus belle île du monde. Mais il en est un autre qui, pour moi, s'enrichit de tout ce que la jeunesse peut apporter de souvenirs, d'émotion, de richesses (...). C'est un pays où les rêves prennent leurs sources, nombreuses, dans la terre et dans les hommes, rudes, les unes comme les autres. Mais chaleureux et affectueux, accueillant comme de vrais amis. Un pays où j'ai fait mes premiers pas à ski ». Nous sommes en 1989 et Paul-Emile Victor a 82 ans lorsqu'il écrit cet hommage au Jura. Et plus précisément à la région des Rousses où s'ouvre aujourd'hui l'Espace des Mondes Polaires.

Au-delà de ce souffle polaire qui nous emporte vers les Montagnes du Jura avec l'Espace des Mondes Polaires, la Franche-Comté sort sa science tous azimuts.

## Comme une base d'expédition polaire

Le projet est porté depuis 2003 par Jean-Christophe Victor, fils de Paul-Emile, et par Stéphane Niveau, directeur du Centre polaire de Prémanon, Station des Rousses. Et le résultat tout juste sorti de terre est fidèle à l'esprit comme à l'audace du grand explorateur. Le bâtiment pour commencer. A l'instar d'une base d'expédition polaire isolée sur la banquise, l'Espace des Mondes Polaires vise une autonomie énergétique tout en limitant l'empreinte écologique de sa construction sur l'environnement. En l'occurrence, 5300 m<sup>2</sup> enterré à 60% pour assurer une inertie thermique et une meilleure conservation des collections muséales. Des collections prestigieuses, témoins des grandes expéditions polaires passées et actuelles, et fruits de recherches scientifiques de référence internationale. Ces trésors sont mis en valeur par une scénographie très soignée et interactive, adaptée à tous les publics, y compris les plus jeunes. Le jeune public, l'une des cibles privilégiées de l'Espace des Mondes Polaires tant il est ici question de l'avenir du monde.

## Explorateurs en herbe

L'histoire se mêle aux sciences du vivant et de la terre, l'ethnologie à la glaciologie, l'économie à l'écologie dans un parcours sensitif inédit. On lit, on écoute, on joue, on touche pour mieux comprendre les enjeux écologiques contemporains et agir. Cette approche multidisciplinaire croise les regards d'ethnologues, de géographes, de climatologues, d'océanographes, de glaciologues, de biologistes, de géologues, d'économistes, ou encore des spécialistes d'environnement ou de géopolitique. De quoi susciter, peut-être des vocations auprès des jeunes visiteurs ? Aux expositions permanentes s'ajoutent des événements : expositions, mais aussi spectacles, conférences, festivals du livre et du film polaire. Tout un programme ! Et puis, pour le plaisir du sport et de la glisse, dans un décor banquise et une ambiance 100% polaire, la patinoire. Du Spitzberg à la Terre Adélie en passant par les Montagnes du Jura, l'immersion polaire est totale.





A Montbéliard, le Pavillon des Sciences nous rappelle qu'est né ici Georges Cuvier, père de la paléontologie. Un jardin scientifique et des espaces d'expositions permanentes et temporaires ouvrent le champ du savoir et de l'expérience. « ***Vous avez dit Chimie ?*** » la question est posée jusqu'au 5 mars 2017. Des réponses sous forme d'explorations qui démontrent que tout est chimie dans notre quotidien.



A Luxeuil-les-Bains, des fouilles archéologiques ont mis à jour un fabuleux trésor, au cœur même de la cité de grès rose : des vestiges de l'église funéraire Saint Martin, lors de la fondation du célèbre monastère de Saint Colomban à l'époque mérovingienne. Au total, 125 sarcophages sur 625 m<sup>2</sup> constituent la plus forte concentration d'inhumations effectuées entre le V<sup>ème</sup> et le IX<sup>ème</sup> siècle du grand Est de la France, et fondent la renommée internationale du site pour les chercheurs et historiens.



De Dole à Arbois, posons nos pas dans ceux du savant le plus célèbre de France. A Dole, au n° 43 de la rue Pasteur se trouve la maison qui a vu naître Louis Pasteur.

Nous sommes au bord du pittoresque Canal des Tanneurs, le métier du père de Louis. Plus qu'un simple musée, c'est un lieu de questionnement scientifique qui associe les travaux de Pasteur à des approches artistiques, sociales et symboliques. Le jeune public peut ici prendre part à des ateliers thématiques ; la science devient ludique et interactive quand on touche du doigt le génie de Pasteur. A la fin de sa vie, Louis Pasteur est venu en personne inaugurer une plaque rappelant sa naissance ici. Un geste qui dit tout son attachement au Jura et à la Franche-Comté, comme en atteste encore la **Maison Pasteur** d'Arbois qui nous invite à pénétrer dans l'intimité du scientifique et de sa famille. Laboratoire, chambre à coucher, salon et jardin, le savant semble habiter encore les lieux. Une immersion scientifique au cœur du 19<sup>ème</sup> siècle, le temps d'une visite en tout point émouvante.



## Et si le fameux neutrino n'existait pas ?

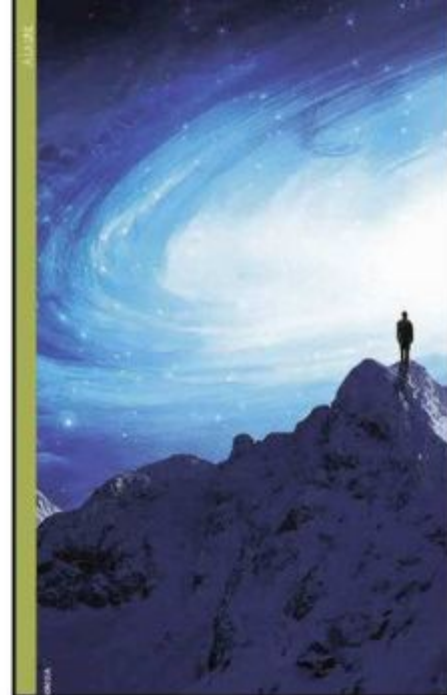
Votre dossier "Pourquoi le monde existe" (S&V n° 1191, p. 48), très intéressant par ailleurs, me laisse songeur : tout repose sur l'existence d'un neutrino superlourd dont rien n'a jamais laissé supposer l'existence ! N'aurait-il pas dû se manifester pendant les expériences d'oscillation des neutrinos ? Et son existence ne semble-t-elle pas exiger la création

d'une quatrième famille de fermions avec la présence d'un nouvel électron et de deux nouveaux quarks, par similitude avec les familles déjà prouvées ?

Gérard Genaivre, internet

**S&V** Certes, l'existence de ce neutrino superlourd – que les physiciens appellent neutrino stérile – est une hypothèse, mais elle est fondée sur de

solides arguments. Le premier est théorique : c'est le seul moyen de conférer leur masse aux trois neutrinos légers. Le second est expérimental : on mesure bien de nombreuses anomalies dans l'oscillation des neutrinos... qui pourraient s'expliquer par l'existence de ce neutrino stérile (nous en rendions compte en 2012, voir S&V n° 1137, p. 52). Et non, ces nouvelles particules



n'exigent pas l'ajout d'une nouvelle famille dans le modèle standard. Et ce, grâce à leurs propriétés : elles ne sont pas sensibles et ne portent aucune des interactions fondamentales. Or, le nombre de familles de particules et leur contenu sont une conséquence de la manière dont les différentes particules se comportent vis-à-vis de ces interactions. Les neutrinos superlourds n'ayant pour ainsi dire rien à voir avec, ils n'imposent donc aucune contrainte. On pourrait en introduire autant que l'on souhaite sans avoir à modifier le nombre de familles de particules !

“ De la lecture de “Pourquoi le monde existe”, il ressort que le neutrino a créé l'Univers. Que pensent les intégristes religieux de tous bords de cette nouvelle vision de la création et, surtout, du nouveau “visage” du Créateur ?

Jean-Michel Mure, Matour (71)



## L'algorithme du “jemenfoutisme”

Trêve de dissertation sur l'éthique de l'écrasement ou les réseaux neuronaux. Ce n'est qu'à la fin de votre article sur les voitures autonomes (S&V n° 1191, p. 86) que vous effleurez les limites du système. J'ai suivi l'expérience de véhicule autonome mise

en place dans le quartier de Lyon-Confluence depuis septembre dernier, et la technologie me semble irréprochable. Le problème, c'est les autres ! Entre les piétons distraits qui n'entendent pas le véhicule arriver et les enfants qui “jouent” à bloquer



# POURQUOI LE MONDE EXISTE

D'où venons-nous ? Nous : c'est-à-dire les êtres humains, mais aussi la Terre, les planètes, les étoiles, les galaxies, l'Univers... À cette question, le big bang a apporté une réponse... en forme d'énigme. Car au commencement, autant de matière que d'antimatière furent créées ; or, la matière a triomphé. Pourquoi ? Une expérience vient, pour la première fois, de lever la voile. Elle a reconstitué l'incroyable réaction qui, 10<sup>-37</sup> seconde après le big bang, fit basculer le monde du côté de la matière. Avec un héros aussi puissant que discret : le neutrino. Sans lui, nous ne serions tout simplement pas là. Ou notre monde serait devenu un antimonde.

Pourquoi ? Ou plutôt... comment ?

**Passionnante lecture que celle de votre article sur l'existence du monde. Mais plutôt que "Pourquoi le monde existe", le dossier n'aurait-il pas dû s'intituler "Comment ce monde existe" ? Si, par ailleurs, vous détenez la réponse à la première question, n'hésitez pas à nous en faire part... Bien à vous au long cours.**

*Frédéric Barrès, Lançon-Provence (13)*

le minibus, vous hoquetez une quinzaine de fois sur le trajet ! Dans un hypothétique futur trafic urbain autonome, souvent saturé et donc assez lent, les vélos et motos slalomeront entre les voitures encore plus vite et les piétons se faufleront partout en ne levant même plus les yeux de leur tablette. Insupportable ! Et même plus de

volant sur lequel s'énervier ! C'est la magie de la nature humaine : l'algorithme du "jemenfoutisme", applicable à tellement de situations... Le véhicule autonome n'a de futur intensif que sur des voies dédiées, ou lorsque les humains indisciplinés seront remplacés... par des robots !

*Paul Cartuyvels, Bruxelles*

## On en reparle



## VOILÀ POURQUOI LE TEMPS PASSE VITE QUAND ON S'AMUSE

Le temps file quand on se fait plaisir et s'étire lorsqu'on s'ennuie. Einstein n'y est pour rien : l'horloge bat au même rythme dans les deux cas. En février 2010 (n° 1109, p. 44), nous consacrons un dossier à cette énigme et décrivons l'existence de chronomètres mentaux sur lesquels l'âge, les émotions ou l'attention exercent une influence... Au cœur de ce mécanisme, la dopamine est depuis longtemps soupçonnée de jouer un rôle clé. Ce neurotransmetteur impliqué dans les circuits de la récompense et de la motivation semble en effet réguler, chez la souris, l'activité des neurones chronomètres.

Trois neurobiologistes du Centre Champalimaud de Lisbonne ont mis en place une expérience pour tenter de comprendre comment. Placée devant trois orifices, une souris entend par le trou central un premier son, puis un second après un laps de temps aléatoire. Lorsqu'elle estime que l'intervalle est supérieur à 1,5 seconde, elle doit se diriger vers le trou de gauche ; dans le cas contraire, vers celui de droite. Elle reçoit une récompense quand elle répond juste. Résultats ? En perturbant la libération de dopamine, les chercheurs ont bel et bien observé une altération de la perception du temps. Sur-tout, en rendant les neurones dopaminergiques génétiquement sensibles à certaines lumières, ils ont constaté qu'augmenter leur activité ralentissait l'estimation du temps, qui paraissait plus court, et vice versa. Plaisir et perception du temps semblent donc bien intimement liés.

E.M.

## A la recherche du fermier malchanceux...

Dans votre article sur la chute mortelle d'une météorite en Inde (S&V n° 1183, p. 40), vous évoquez des "précédents douteux", dont la mort d'"un fermier français le 31 janvier 1879 à Dun-le-Poëlier, dans l'Indre". J'ai consulté les registres de l'état civil de ce village

de 459 habitants... Je n'y ai trouvé aucun décès entre le 21 décembre 1878 (Etienne Ravoix, 4 mois) et le 8 mars 1879 (Etienne Ravoix, 62 ans)... Les deux défunts portent le même patronyme, mais n'étaient pas père et fils.

Christian Dubost,  
Lacoste (84)



**SV** Diable. Félicitations pour votre curiosité et votre démarche de vérification! Notre source, la revue *International Comet Quarterly*, était

pourtant sérieuse. A moins que notre fermier maudit ne soit enterré dans un village voisin (Saint-Christophe-en-Bazelle, Sembléçay...). Avis aux enquêteurs.

**La boutique**  
**SCIENCE & VIE**

Plus de  
**400**

- Livres
- Objets scientifiques
- Idées cadeaux

[www.laboutique-scienceetvie.com](http://www.laboutique-scienceetvie.com)

## Grammaire mentale de Chomsky: et la langue des signes?

Après avoir lu votre article "Structure du langage: Chomsky avait raison!" (S&V n° 1190, p. 71), une question m'est venue: ces linguistes ont-ils mené une étude similaire sur la langue des signes? Y retrouve-t-on cette même grammaire ou, du moins, quelle transposition peut-on en faire?

Hélène Henrion, Colomiers (31)

**SV** Durant notre enquête, une étude de ce genre était en cours sur des personnes sourdes dont la langue des signes française est la langue maternelle. Résultat: en enregistrant l'activité cérébrale de 20 volontaires en train de lire un texte en

français, Antonio Moreno et Christophe Pallier, deux scientifiques du laboratoire de recherche en neuro-éducation Unicog, ont retrouvé l'effet décrit dans l'article. Leur activité cérébrale était bien corrélée à la propension des mots lus à être reliés syntaxiquement entre eux en un groupe de mots cohérent (un syntagme). Ce qui n'est pas très surprenant: cela montre seulement que la structure universelle du langage est bien inscrite dans le cerveau des personnes sourdes, comme chez les autres.

Mais les résultats enregistrés lorsque ces locuteurs sont en train d'utiliser la langue des signes sont



beaucoup plus intrigants. Là aussi, la structure chomskienne apparaît: plus les groupes de mots-gestes peuvent être enchâssés les uns dans les autres, plus les activations cérébrales enregistrées augmentent. Sauf qu'ici, ces activations ne sont présentes qu'au niveau sous-cortical (plus précisément, dans le putamen et la tête du noyau caudé). D'où la question que se posent maintenant les scientifiques: serait-ce là le noyau cérébral fondamental permettant de créer des combinaisons de mots?

### Erratum

Vous indiquez en p. 18 du n° 1189 (octobre 2016) que le loris lent et l'aye-aye sont des singes qui privilégient les fruits alcoolisés. Attention, ce ne sont pas des singes, mais des lémuriens!

Marc Lefevre, Chessy (69)



NOUVEAU  
**FORD KUGA**  
TREND 1.5 DIESEL TDCi 120 CH  
**249€**  
/MOIS\*

LOA 48 MOIS. 15 000 KM/AN. 1<sup>ER</sup> LOYER DE 3 930 €, SUIVI DE 47 LOYERS DE 249€/MOIS.  
COÛT TOTAL SI ACHAT : 24 540,65€.

*Une autre façon de voir la vie.*



**Go Further**

**UN CRÉDIT VOUS ENGAGE ET DOIT ÊTRE REMBOURSÉ VÉRIFIEZ VOS CAPACITÉS DE REMBOURSEMENT AVANT DE VOUS ENGAGER.**

\*Exemple de location avec option d'achat 48 mois d'un Kuga Trend 1.5 TDCi 120 ch BVM6 4x2 Type 09-16. Prix maximum au 19/09/16 : 27 000 €. Prix remis : 23 500 € incluant l'option Pack Style Plus. Kilométrage 15 000 km/an. Option d'achat : 8 910 €. Assurances facultatives. Décès-Incapacité dès 17,63 €/mois en sus du loyer. Coût total de l'assurance : 846,24 €. Délai légal de rétractation. Si acceptation par Ford Credit, 34 rue de la Croix de Fer, CS 90036, 78174 St-Germain-en-Laye Cedex. RCS Versailles 392 315 776, Intermédiaire Inscrit à l'ORIAS, N° 07 009 071. Produit « Assurance Emprunteur » assuré par les succursales françaises de FACI, SIREN 479 311 979 RCS Nanterre, et FICL, SIREN 479 428 039 RCS Nanterre, Groupe Axa, Terrasse B, 51 rue des Trois Fontanot, 92000 Nanterre. Offre non cumulée réservée aux particuliers pour toute commande de ce Kuga neuf, du 01/01/17 au 28/02/17, dans le réseau Ford participant. **Modèle présenté : Kuga ST-Line 1.5 TDCi 120 ch Stop & Start 4x2 avec options au prix déduit de la remise de 30 320 €, 1<sup>er</sup> loyer de 3 930 €, option d'achat de 11 178 €, coût total si achat : 32 695,87 €, 47 loyers de 374,21 €/mois. Consommation mixte (l/100 km) : 4,4. Rejets de CO<sub>2</sub> (g/km) : 115** (données homologuées conformément à la Directive 80/1268/EEC amendée).

Ford France, 34, rue de la Croix de Fer - 78122 St-Germain-en-Laye Cedex. SIREN 425 127 362 RCS Versailles.

**[ford.fr](http://ford.fr)**

## Dans les kiosques

### À L'ASSAUT DU GRAND LARGE

Navires fracassés, équipages fantômes, exsangues et décharnés... L'histoire de l'exploration maritime abonde en épopées funestes. Mais c'est bien dans le sillage des grands navigateurs qu'a émergé un nouvel inventaire du monde et la mise en scène cartographique de notre planète. *Les Cahiers de Science & Vie*, 5,95 €



### SPÉCIAL VACCINS

Comment sont-ils fabriqués ? Protègent-ils efficacement ? Peuvent-ils être dangereux ? Quelles populations sont prioritairement visées ? Qu'ils soient obligatoires ou simplement recommandés par les autorités de santé, ce numéro Hors-série vous dit tout sur les vaccins. Leur histoire, leur avenir, ce que nous leur devons et aussi les raisons pour lesquelles, parfois, ils nous inquiètent. *Hors-série de Science & Vie*, 4,95 €



### VOUS AVEZ DU GÉNIE

On le met à toutes les sauces, mais de quoi parle-t-on exactement ? De gènes ? De Q.I. ? De neurones et de grosses têtes ? Le génie, ou plutôt les génies – car il y en a plusieurs – sont insaisissables. Comme l'éclair du même nom. En 100 questions et 100 réponses, *Science & Vie* fait le point sur l'intelligence, ses mystères et ses coups de génie. *Science & Vie Questions Réponses*, 4,50 €



## SCIENCE & VIE

Une publication du groupe



### RÉDACTION

8, rue François-Ory  
92543 Montrouge CEDEX.  
Tél.: 01 46 48 48 48 - Fax: 01 46 48 48 67  
E-mail: svmens@mondadori.fr

### DIRECTEUR DE LA RÉDACTION

Matthieu Villiers,  
assisté de Christelle Borelli

### RÉDACTEUR EN CHEF

Hervé Poirier

### RÉDACTEUR EN CHEF ADJOINT

Grégoire Bouillier (chef d'édition)

### DIRECTRICE ARTISTIQUE

Yvonne Diraison

### CHEFS DE SERVICE

Valérie Grefoz (actualités, société),  
Vincent Nouyrigat,  
Caroline Tourbe (médecine)

### CHEFS DE RUBRIQUE

Mathilde Fontez (sciences fondamentales),  
Muriel Valin (technologies)

### RÉDACTEURS

Elsa Abdoun, Thomas Cavallé-Fol,  
Emilie Rauscher

### SECRÉTAIRE GÉNÉRALE DE RÉDACTION

Florence Roucolle

### SECRÉTAIRES DE RÉDACTION

Anne Riera, Clara Baudel

### MAQUETTISTES

Valérie Samuel-Charrier (1<sup>re</sup> maquettiste),  
Elisabeth de Garrigues

### SERVICE PHOTO-INFOGRAPHIE

Anne Levy (chef de service photo),  
Katia Davidoff, Boris Bellanger  
(chef de service infographie)

### DOCUMENTATION

Marie-Anne Guffroy, Frédéric Vladyslav

### ONT COLLABORÉ À CE NUMÉRO

S. Aquino, S. Aubin, K. Bettayeb,  
L. Blancard, P.-Y. Bocquet, B. Bourgeois,  
F. Cadu, O. Capronnier, G. Cirade, A. Dagan,  
A. Debroise, O. Donnars, S. Fay, F. Gracci,  
M. Grousson, E. Haentjens, C. Hancock,  
H. Leroux, M. Kontente, J. Maufay,  
E. Monnier, A. Pihen, A. Rambaud, B. Rey,  
M. Saemann, Y. Sciana, G. Siméon,  
M. Spée, E. Thierry-Aymé, A. Vernet

### DIRECTION-ÉDITION

#### DIRECTION PÔLE

Carole Fagot

#### DIRECTEUR DÉLÉGUÉ

Vincent Cousin

### ABONNEMENTS ET DIFFUSION

#### DIRECTEUR MARKETING CLIENTS/DIFFUSION

Christophe Ruet

#### ABONNEMENTS

Catherine Grimaud (directrice marketing direct)  
Johanne Gavarini (responsable marketing direct)

#### VENTES AU NUMÉRO

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

#### BOULOTTE ET VPC

Sandrine Tiffreau (directrice vente à distance)  
Arnaud Henaff (responsable marché)

### MARKETING/INTERNATIONAL

Giliane Douls, Mathilde Janier-Bonnichon,  
Michèle Guillet

### PUBLICITÉ

DIRECTEUR EXÉCUTIF  
Valérie Camy

### CONTACTS PUBLICITÉ

Virginie Commun (50 28),  
Lionel Dufour (53 19)

### PLANNING

Angélique Consoli (53 52),  
Stéphanie Guillard (53 50)

### TRAFIC

Stéphane Durand (53 12)

### OPÉRATIONS SPÉCIALES

Jean-Jacques Benezech (19 83)  
Grande-Bretagne: Publieurope LTD  
(infododon@publieurope.com –  
44 (0)20 7927 9800);  
Allemagne: Publieurope Munich  
(informunich@publieurope.com  
0049 89 2908150);  
Suisse: Publieurope Lausanne  
(infoausanne@publieurope.com  
0041 21 323 3110);  
Espagne: Publimedia Madrid  
(infomadrid@publim-gestion.es  
0034 91 212 83 00)

### FABRICATION

Daniel Rougier, Agnès Châtelet

### FINANCE MANAGER

Guillaume Zaneskis

### ÉDITEUR

MONDADORI MAGAZINES FRANCE

Siège social: 8, rue François-Ory  
92543 Montrouge Cedex  
DIRECTEUR DE LA PUBLICATION  
Carmine Perna  
ACTIONNAIRE PRINCIPAL  
Mondadori France SAS

### IMPRIMEUR: ELCOGRAF – ITALIE

N° ISSN: 0036-8 369

### N° DE COMMISSION PARITAIRE:

1020 K 79977. Tarif d'abonnement légal:  
1 an, 12 numéros: 44,80 €  
1 an, 12 numéros + 6 HS: 64,80 €  
Dépôt légal: février 2017

### RELATIONS CLIENTÈLE ABONNÉS

Par téléphone: 01 46 48 48 96

Par courrier:

SERVICE ABONNEMENTS SCIENCE & VIE,  
CS 90125 - 27091 EVREUX CEDEX 9

Pour vous abonner par internet:

[www.kiosquemag.com](http://www.kiosquemag.com)

Etats-Unis et Canada: Express Mag,

Tél.: 1 800 363-1310 (français)

et 1 877 363-1310 (anglais).

Suisse: Edigroup, 022 860 84 50

mondadori-suisse@edigroup.ch,

Belgique: Edigroup Belgique, 070 233 304

mondadori-belgique@edigroup.be

Autres pays: nous consulter.

### À NOS ABONNÉS

Pour toute correspondance relative à votre abonnement, merci d'indiquer votre numéro d'abonné présent sur le film ainsi que vos coordonnées. Les noms, prénoms et adresses sont communiqués à nos services internes et organismes liés contractuellement avec S&V sauf opposition motivée. Les informations pourront faire l'objet d'un droit d'accès ou de rectification dans le cadre légal. Les manuscrits envoyés ne sont pas rendus.

### À NOS LECTEURS

#### RENSEIGNEMENTS

Par courrier:

8, rue François-Ory,

92543 Montrouge

Cedex

Par mail: [sev.lecteurs@mondadori.fr](mailto:sev.lecteurs@mondadori.fr)

COMMANDE D'ANCIENS  
NUMÉROS, RELIURES  
ET VPC

Tel.: 01 46 48 48 83

[Contact@laboutiquescienceetvie.com](mailto:Contact@laboutiquescienceetvie.com)





Tous les papiers se recyclent,  
alors trions-les tous.

**Un peu de simplicité  
dans un monde  
complexe.**

La presse écrite s'engage pour le recyclage  
des papiers avec Ecofolio.





# actus



Ce fragment de queue de 3,6 cm, conservé intact dans de l'ambre, devait appartenir à un jeune coéluosaure il y a 99 millions d'années.





PALÉONTOLOGIE

## UNE QUEUE DE DINOSAURE A ÉTÉ RETROUVÉE... AVEC SES PLUMES

C'est en déambulant dans un marché à l'ombre du nord de la Birmanie que Lida Xing, géologue à l'université de Pékin, a fait cette découverte spectaculaire: le fragment fossilisé, vieux de 99 millions d'années, d'une queue de dinosaure recouverte de plumes. *"Compte tenu de la structure des os de la queue, nous pensons que c'était celle d'un individu du groupe des coelurosauriens, constitué essentiellement de carnivores bipèdes,* précise Ryan McKellar, un géologue de l'université de Regina (Canada) qui a étudié le fragment d'ambre avec Lida Xing. *La taille du fragment, 3,6 cm, nous indique qu'elle devait appartenir à un juvénile dont la taille ne dépassait pas 10 ou 15 cm."* Même si

on savait déjà que certains dinosaures étaient pourvus de plumes, ce morceau d'ambre apporte des informations inédites. *"On observe un niveau de détail qu'aucun autre mode de conservation ne permet de voir, comme la façon dont sont implantées les plumes et même leur couleur: pâle sous la queue et marron sur le dessus",* décrit le chercheur. Bien que les scientifiques ne disposent pas de toute la queue, ils pensent tout de même que l'animal était incapable de voler. *"Ces plumes ressemblent à celles que l'on trouve sur la tête et le corps des oiseaux modernes; il leur manque une structure rigide pour pouvoir diriger le flux d'air lors du vol",* explique Ryan McKellar.

C.H.



PRIMATOLOGIE

# LE LARYNX DES SINGES EST ÉQUIPÉ POUR LE LANGAGE

On a longtemps considéré que si les singes étaient incapables de parler comme nous, c'était parce que leur appareil vocal ne le leur permettait pas. Il n'en est rien. Après avoir filmé, avec des caméras à rayons X, des macaques en train de mâcher et de faire des vocalises ou des mimiques, l'équipe de Tecumseh Fitch, à l'université de Vienne, a mesuré les paramètres anatomiques de leur appareil vocal dans 99 configurations différentes : surface des cordes vocales, distance entre ces cordes et la glotte... Pour chacune d'elles, les scientifiques ont ensuite synthétisé, à l'aide de modèles acoustiques existants,

le son qui devrait être produit. Enfin, à partir de ce travail, ils ont fait articuler au synthétiseur la phrase "Will you marry me?" ("Veux-tu m'épouser?", en anglais). Et la phrase est totalement audible! *"Ce ne sont donc pas les contraintes anatomiques de l'appareil vocal des singes qui les empêchent de parler, commente Adrien Meguerditchian, primatologue au Laboratoire de psychologie cognitive (CNRS/université Aix-Marseille). Ce qui leur manque, ce sont les bons câblages neuronaux en lien avec les capacités cognitives qui permettent d'articuler des sons de façon intentionnelle."*

C.H.

^ Anatomiquement, rien n'empêche un macaque (ici filmé par une caméra à rayons X) de parler.

NEUROLOGIE

## L'effet du cannabis sur la mémoire s'explique enfin

Le cannabis a des effets néfastes sur la mémoire, on le sait. Mais par quel biais ? Une équipe internationale a découvert, chez les souris, que le THC (le composant actif du cannabis) pouvait se fixer directement sur les "centrales énergétiques" des cellules. Il existe en effet, à la surface des mitochondries des neurones de l'hippocampe (région cérébrale impliquée dans la mémoire), un récepteur spécifique au THC. Résultat : le cannabis bloque l'activité des mitochondries, restreint l'énergie fournie au cerveau et affecte le processus de mémorisation.

M.S.

PHYSIOLOGIE ANIMALE

## La force du crabe de cocotier n'a pas d'égale chez les crustacés

Les crabes de cocotier, les plus grands crustacés terrestres, utilisent leurs pinces pour se battre ou casser des noix de coco, et peuvent soulever jusqu'à 30 kg. Mais quelle force ces pinces exercent-elles exactement ? Des chercheurs japonais l'ont mesurée chez 29 individus, et constaté qu'elle dépend du poids de l'animal : pour un crabe d'un peu plus de 2 kg, elle équivaut à 1765 newtons... et s'élèverait donc à 3300 newtons pour le plus gros crabe jamais pesé (4 kg)! C'est plus que chez la plupart des prédateurs terrestres.

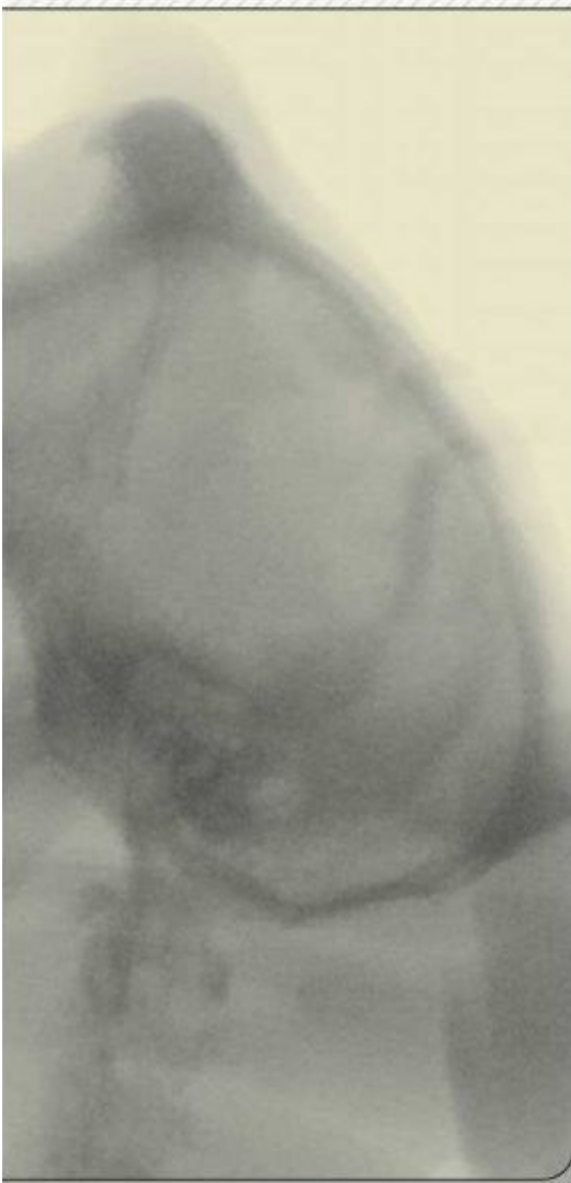
M.S.



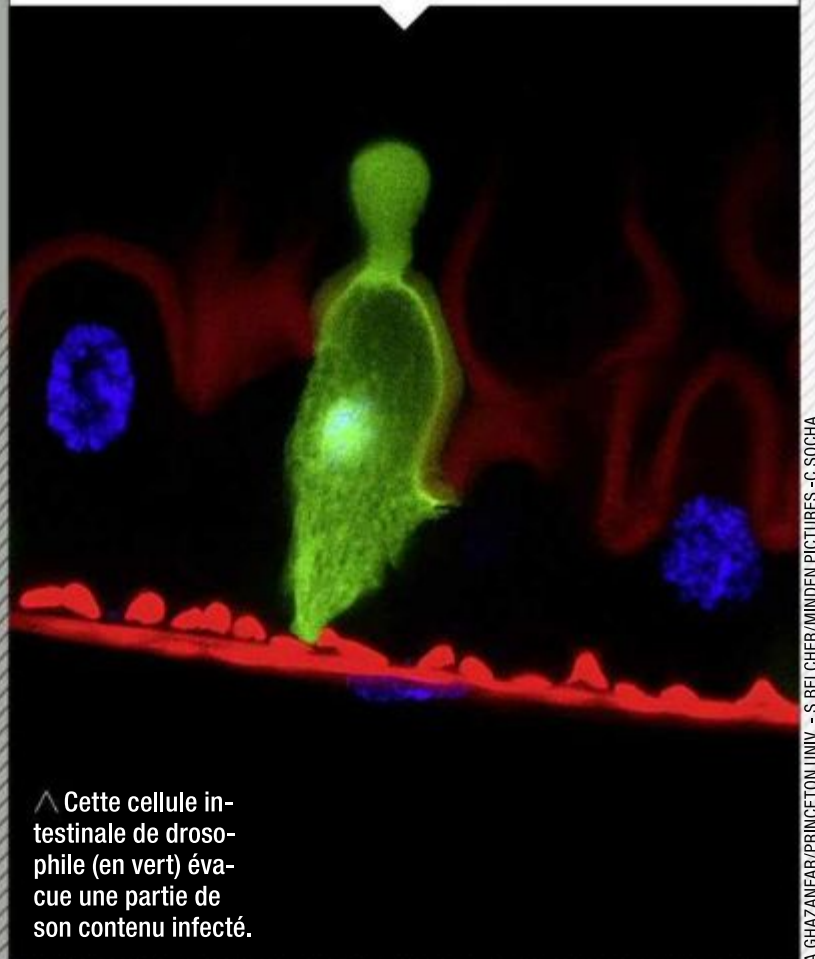
## BIOLOGIE

# Pour lutter contre une infection, les cellules de l'intestin se purgent

Constamment agressées par des bactéries pathogènes, les cellules de l'intestin doivent déployer des trésors d'imagination pour se défendre. Le dernier découvert ? L'expulsion spontanée d'une partie de leur contenu afin d'en préserver les parties saines. Une équipe franco-allemande a observé, chez la mouche drosophile, des variations de l'épaisseur de la paroi intestinale après une infection par la bactérie *Serratia marcescens* : en quelques heures, elle s'amincit de façon aussi spectaculaire... que passagère. Selon les biologistes, c'est une toxine bactérienne (l'hémolysine, capable de perforer la membrane cellulaire) qui déclenche le rejet, par la cellule elle-même, d'une bonne partie de son cytoplasme (organites infectés, toxines, bactéries intruses...). Une manière d'alléger les effets de l'infection et de repartir sur des bases saines. En moins de vingt-quatre heures, la paroi intestinale retrouve en effet sa forme et son volume originaux sous l'action combinée de deux protéines sécrétées par l'intestin. L'équipe de Dominique Ferrandon, à l'université de Strasbourg, voit derrière cette purge protectrice un mécanisme performant conservé par l'évolution pour maintenir l'intégrité de la barrière intestinale. **E.H.**



▽ Ses pinces exercent une force pouvant atteindre jusqu'à 3 300 newtons !



△ Cette cellule intestinale de drosophile (en vert) évacue une partie de son contenu infecté.

A. GHAZANFAR/PRINCETON UNIV. - S. BELCHER/MINDEN PICTURES - C. SOCHA



Sur cette modélisation, un système complexe évolue vers une infinité de situations limites (chacune représentée par une couleur).

MATHÉMATIQUES

## LE CHAOS EST ENCORE PLUS "CHAOTIQUE" QUE PRÉVU

Comment évolue à long terme une situation météorologique ? Ou la position des planètes dans l'espace ? Les systèmes chaotiques ont un comportement complexe, très dépendant des conditions initiales, mais dont on pensait pouvoir prévoir statistiquement l'évolution. Espoir tout juste douché par les travaux du mathématicien français Pierre Berger. Pour comprendre, il faut savoir que les systèmes chaotiques évoluent vers des

situations limites, appelées "attracteurs", qui peuvent être décrites mathématiquement. Prenons par exemple des boules en mouvement dans une boîte : le nombre de chocs sur une paroi est en moyenne constant. Et l'on pensait que la plupart des systèmes chaotiques évoluaient vers un nombre fini d'attracteurs. Certes, dès 1974, le mathématicien américain Sheldon Newhouse avait démontré que certaines perturbations

faisaient émerger une infinité de situations limites, et échappaient donc aux statistiques. Mais ces perturbations étaient supposées hautement improbables. Pierre Berger vient de montrer qu'elles seraient au contraire fréquentes ! Il fait même la conjecture que certains systèmes ne sont tout simplement pas modélisables par des statistiques... Le chaos serait ainsi beaucoup moins facile à décrire qu'on ne le croyait. **A.D.**



## LUCY PASSAIT UN TIERS DE SON TEMPS HAUT PERCHÉE

L'ancêtre de l'humanité marchait au sol, mais se réfugiait dans les arbres pour dormir ou échapper à ses prédateurs. Ses membres supérieurs étaient aussi développés que ceux des chimpanzés. **O.D.**

## LES ÉLÉMENTS 113, 115, 117 ET 118 ONT UN NOM

L'Union internationale de chimie pure et appliquée a approuvé les noms et symboles de 4 éléments superlourds fabriqués en laboratoire depuis 2003 : voici donc le nihonium (Nh), le moscovium (Mc), le tennessine (Ts) et l'oganesson (Og). **A.D.**

## LES SINGES SE RECONNAÎSSENT À LEURS FESSES

La preuve ? Alors que nous mettons plus de temps à reconnaître l'image inversée d'un visage que celle de tout autre objet, les chimpanzés, eux, ont un comportement similaire avec les images du postérieur de leurs congénères. **A.D.**

### ÉVOLUTION

## Le passage des dents aux fanons s'éclaircit

L'étude d'un fossile de cétacé vieux de 25 millions d'années découvert aux États-Unis a éclairci l'énigmatique transition alimentaire des baleines. Il était en effet doté de dents, mais pas encore de fanons, ces lames qui pendent de la mâchoire supérieure des baleines et qui agissent comme un filtre, laissant passer l'eau en retenant le krill. Ces petites dents n'étaient cependant déjà plus très adaptées pour mordre de grosses prises, et leur usure suggère que le cétacé s'alimentait en aspirant de petites proies (vers, crabes, etc.) posées sur des fonds sableux. **A.D.**



✓ L'usure de cette dent de baleine de 25 millions d'années semble due à son alimentation par aspiration.

CNRS-LAGA - F.G.MARX ET AL. - SHUTTERSTOCK

### PHYSIOLOGIE

## On a compris d'où vient la mauvaise vue des astronautes

La malédiction touche deux tiers des astronautes après un long séjour sur la Station spatiale internationale : ils deviennent hypermétropes ! Noam Alperin, de l'université de Miami, a soumis neuf d'entre eux à un IRM, et démasqué le coupable : c'est le liquide cérébro-spinal dans lequel baigne le cerveau, et qui le nourrit, le protège et le nettoie. *"En microgravité, il s'accumule contre le fond du globe oculaire, qu'il aplatit, provoquant l'inflammation du nerf optique de manière parfois irréversible"*, explique le chercheur, pour qui le seul moyen de prévenir le problème sera de soumettre les astronautes à la gravité artificielle lorsqu'ils seront en... orbite. **B.R.**

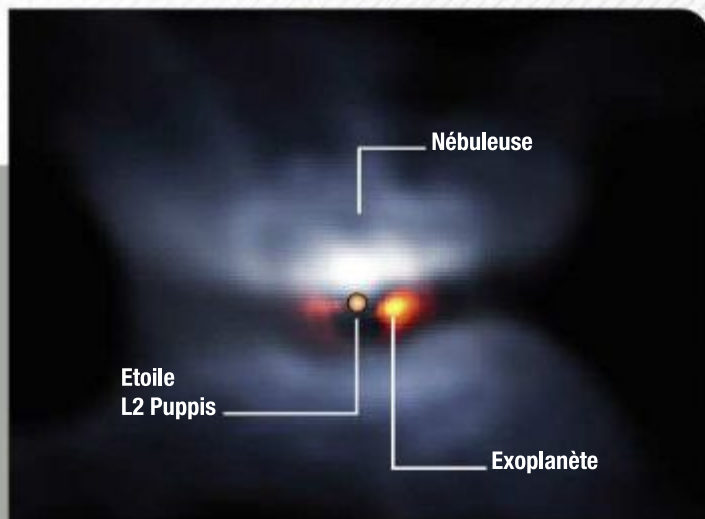
### BOTANIQUE

## Même les plantes ont leur réflexe de Pavlov

Encore un comportement qu'on pensait réservé aux animaux, et qui vient d'être révélé dans le règne végétal : l'apprentissage par association. Des biologistes ont en effet mis au jour, sur une variété de pois cultivés *Pisum sativum*, l'existence d'un réflexe conditionnel, tel que celui découvert par Pavlov à la fin du XIX<sup>e</sup> s. sur des chiens. En faisant précéder systématiquement l'apparition d'une source lumineuse (qui détermine habituellement l'orientation de leur croissance) par un courant d'air, ils ont fini par créer, chez les plantes, un nouveau savoir : elles ont appris à se positionner dans la meilleure direction pour recevoir la lumière dès qu'elles ressentent le courant d'air. **E.H.**

Ce pois a appris un comportement par association, comme un animal !





ASTROPHYSIQUE

## VOILÀ C'EST QUI ATTEND LE SYSTÈME SOLAIRE

C'est comme voir notre avenir dans une boule de cristal ! À 208 années-lumière de nous, l'étoile L2 Puppis est en train d'agoniser comme le fera notre Soleil dans 5 milliards d'années : devenue géante rouge, elle perd de sa matière sous la forme d'une nébuleuse de poussières. En l'observant à l'aide du VLT et de l'interféromètre Alma, Pierre Kervella, de l'Observatoire de Paris, a établi qu'elle était, il y a 5 milliards

d'années, une jumelle du Soleil. Elle a, depuis, perdu un tiers de sa masse et laissé s'éloigner son exoplanète, la première découverte autour d'une telle étoile. *"Cette planète était jadis au niveau de l'orbite de Mars, estime l'astronome. On ne peut pas savoir si elle échappera au gonflement de son étoile, ou si elle tombera dedans en suivant une spirale."* La même incertitude pèse sur le sort de la Terre... **B.R.**

P. KERVELLA ET AL. / CNRS / LESIA / ESO - D.R. - S. AQUINO



## Frankenstein aurait éradiqué l'espèce humaine en 4 000 ans

Dans *Frankenstein ou le Prométhée moderne*, de Mary Shelley, la créature demande à son inventeur de lui fabriquer une compagne pour aller roucouler au fin fond de l'Amérique du Sud. Le savant cède avant de revenir sur sa décision, craignant que le couple, en se reproduisant, ne mène l'humanité à sa perte.

Sage précaution !, à en croire deux anthropologues du Dartmouth College (Etats-Unis) et de l'université de Californie. Ils ont modélisé la compétition qui aurait eu lieu entre les monstres et les humains si le couple avait eu une descendance en Amazonie, en 1818. En principe, deux espèces semblables évoluant dans un même milieu avec les mêmes ressources ne peuvent coexister très longtemps : la moins adaptée est vouée à s'éteindre. En l'occurrence, l'homme n'aurait pas fait le poids face aux petits Frankenstein, à l'espérance de vie plus élevée. Ces derniers auraient prospéré en Amérique du Sud, alors peu peuplée, avant de conquérir le monde et d'éradiquer notre espèce en quatre mille ans !

Mary Shelley aura eu non seulement le génie d'explorer la question de la morale et de la responsabilité scientifiques, mais aussi d'aborder des idées sur l'écologie et l'évolution... conceptualisées bien des années plus tard. **O.D.**

## 14 ans

C'est le temps au bout duquel les mots reviennent à la mode ! Deux scientifiques ont passé 5 630 noms communs au crible du moteur de recherche Google Ngram Viewer, qui donne la fréquence d'apparition de n'importe quel mot parmi 4,5 millions de livres publiés depuis 1520, et constaté que cette fréquence suivait un cycle d'environ quatorze ans, quelle que soit la langue ! De quoi prédire que les mots "astronome" et "éclipse" seront bientôt de nouveau populaires... **A.D.**





trimestriel

décembre 2016

277

**HORS  
SÉRIE**

**SCIENCE & VIE**

MONDADORI FRANCE

HÉPATITE B, GRIPPE, PAPILLOMAVIRUS,  
MÉNINGOCOQUE, COQUELUCHE, DTPOLIO,  
HIB, PNEUMOCOQUE, ROUGEOLE...

# LE GUIDE DES VACCINS

2016 | 2017

**HIER**

**Une grande aventure  
de science**

**AUJOURD'HUI**

**L'obligation vaccinale  
en question**

**DEMAIN**

**Vers un vaccin  
universel**

**Faut-il avoir peur des vaccins ?**

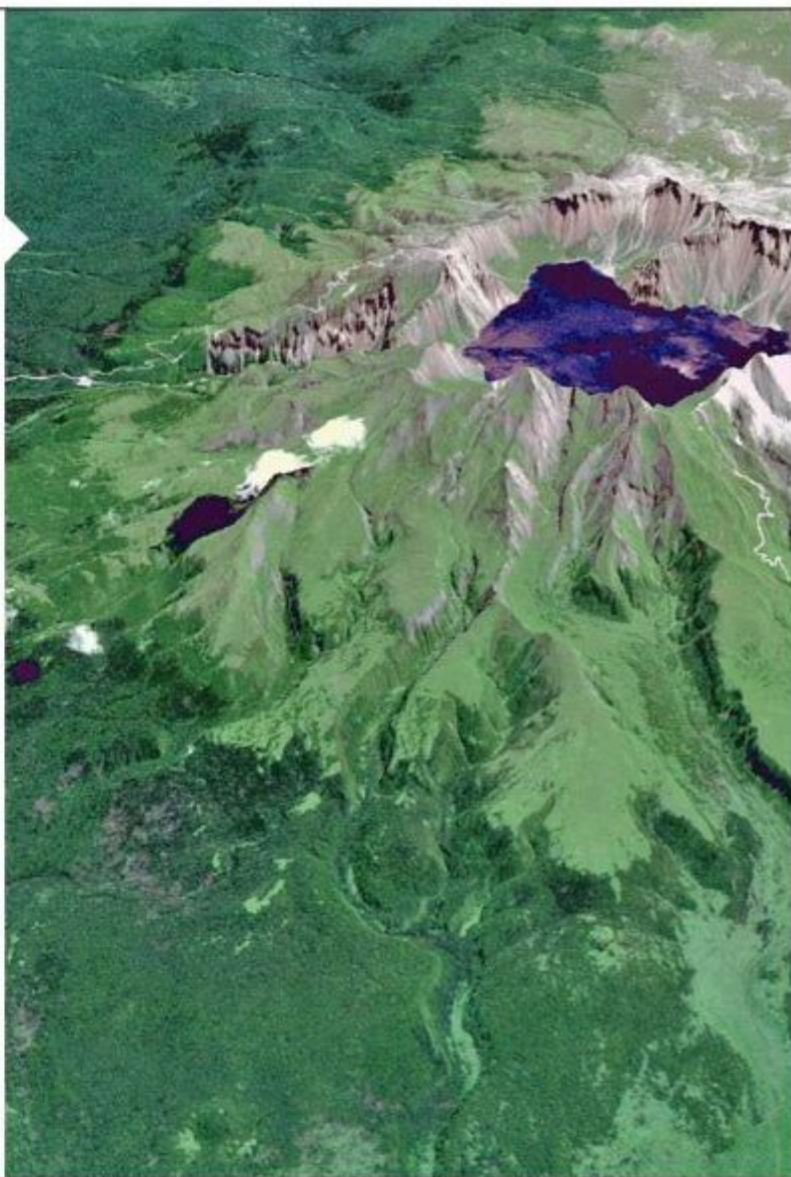
**EN VENTE ACTUELLEMENT**

GÉOSCIENCES

# LA MÉGAÉRUPTION DU MONT PAEKTU N'A BIZARREMENT PAS MARQUÉ LE CLIMAT

L'éruption du mont Paektu (Corée du Nord) en 946 a été l'une des plus grandes éruptions volcaniques des deux derniers millénaires... et pourtant, son ampleur était passée jusqu'ici inaperçue. Selon l'analyse de ses inclusions magmatiques, le volcan aurait alors libéré 45 millions de tonnes de soufre. Un volume faramineux qui interroge les chercheurs. Car si leur calcul est exact, cette éruption aurait dû refroidir brutalement le climat: on sait que le soufre atmosphérique, en réfléchissant le rayonnement solaire et en l'empêchant d'atteindre le sol, fait chuter les températures.

Ainsi l'éruption, en 1815, du mont Tambora, qui a émis deux fois moins de soufre, a refroidi la Terre de 1°C, provoquant une "année sans été". *"Il faut maintenant comprendre pourquoi, dans les carottes de glace du Groenland, on ne trouve que peu de soufre, et presque aucun signe de refroidissement,* indique James Hammond, de l'université de Londres, cosignataire de l'étude. *Peut-être que le soufre n'a pas réussi à gagner la haute atmosphère, ou que les carottes de glace sont de moins bons indicateurs qu'espéré."* Beaucoup reste encore à apprendre sur les relations entre climat et volcanisme... **Y.S.**



# 30 000 milliards de tonnes

C'est, selon les géologues de l'université de Leicester (Royaume-Uni), le poids de la technosphère, c'est-à-dire de l'ensemble des matériaux produits par l'entreprise humaine sur notre planète. Objets, machines, bâtiments et infrastructures représentent 60 % de ce chiffre, le reste résultant de la transformation de la terre (agriculture, sylviculture...).

ÉCOTOXICOLOGIE

## Les fermetures d'usines à charbon

Les thons rouges du golfe du Maine (nord-est des États-Unis) stockent de moins en moins de mercure. C'est la conclusion d'une étude portant, entre 2004 et 2012, sur 1292 poissons. Régulière, cette baisse s'élèverait en 8 ans à près de 20 %. Et refléterait la diminution des émissions atmosphériques de mercure due à la fermeture de nombreuses centrales électriques à charbon américaines. Les écosystèmes, même éloignés, bénéficieraient donc plus vite que prévu des efforts de dépollution industrielle. **Y.S.**







L'éruption du mont Paektu (Corée du Nord) en 946 fut l'une des plus importantes des deux derniers millénaires.

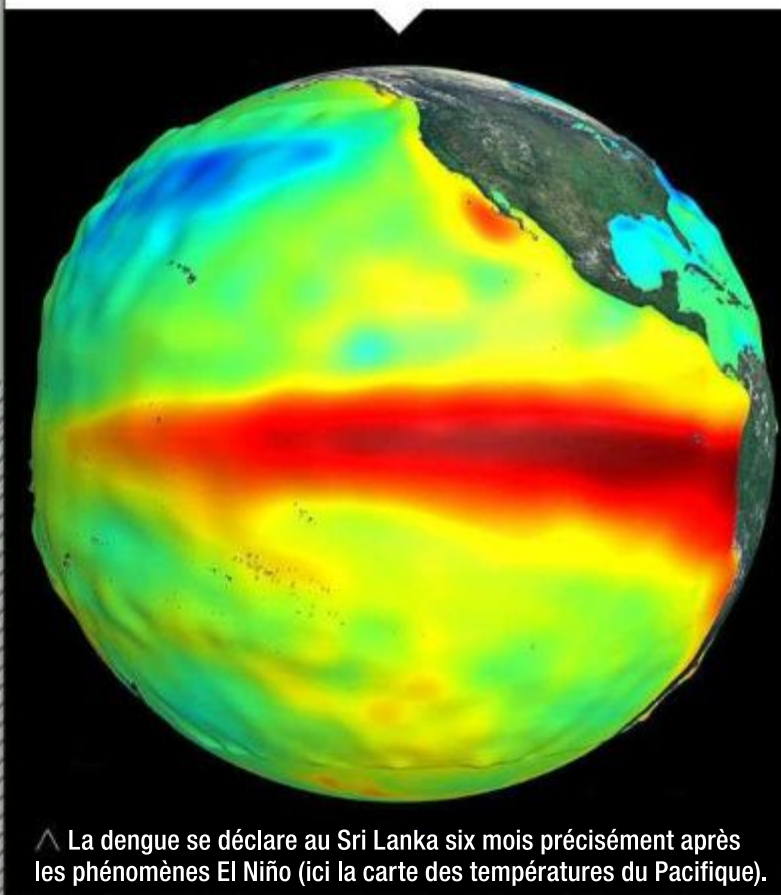


bénéficie déjà au thon

## MÉTÉOROLOGIE

# Les épidémies de dengue sont exactement corrélées à El Niño

La connexion entre la météorologie et les maladies infectieuses est un domaine de recherche fécond depuis quelques années. Ainsi, en compilant des données épidémiologiques collectées entre 2009 et 2013, une équipe internationale a trouvé une corrélation forte entre le développement de la dengue au Sri Lanka et plusieurs facteurs météorologiques. Les chercheurs ont confirmé (d'autres travaux l'avaient déjà établi, voir S&V n° 1179, p. 32) que le risque infectieux est non seulement lié aux températures, mais s'élève fortement lorsqu'elles dépassent 29,8 °C, avec un décalage de quatre semaines. Ils ont également découvert que ce risque était lié au niveau des précipitations : il s'élève en effet à partir de 50 mm de pluie par semaine, et culmine au-delà de 300 mm, avec huit à dix semaines de retard. Mais le plus impressionnant est que la maladie suit remarquablement, et avec un écart de six mois, l'indice El Niño, qui témoigne des variations des températures de surface du Pacifique, à plusieurs milliers de kilomètres de là. Autant de résultats précieux pour mettre en place une prévention, en particulier lorsque le vaccin contre la dengue sera disponible. **Y.S.**



▲ La dengue se déclare au Sri Lanka six mois précisément après les phénomènes El Niño (ici la carte des températures du Pacifique).

NASA/ASTER - SHUTTERSTOCK - NASA



SANTÉ PUBLIQUE

# L'HYPERTENSION DIMINUE DANS LES PAYS RICHES MAIS EXPLOSE DANS LES PAYS PAUVRES

Qui eût cru que l'hypertension recule dans les pays riches comme les États-Unis, l'Australie ou la France, sans que les habitudes de vie y aient vraiment changé? C'est pourtant ce qui ressort de l'analyse de 1479 études menées de 1975 à 2015 dans 200 pays.

Pour mémoire, l'hypertension, augmentation anormale de la pression du sang sur la paroi des artères, est associée aux accidents cardio-vasculaires. Or, un dépistage et une prise en charge efficaces ont permis de résorber l'explosion des cas dans les pays riches au cours de la seconde moitié du **XX<sup>e</sup>** s. En quarante ans, la proportion des adultes hypertendus a chuté de 51 % aux États-Unis et en Allemagne. Avec un net recul (−47 %), la France ne peut cependant crier victoire, puisque 22 % de la population adulte y est encore touchée, contre 13 % aux États-Unis.

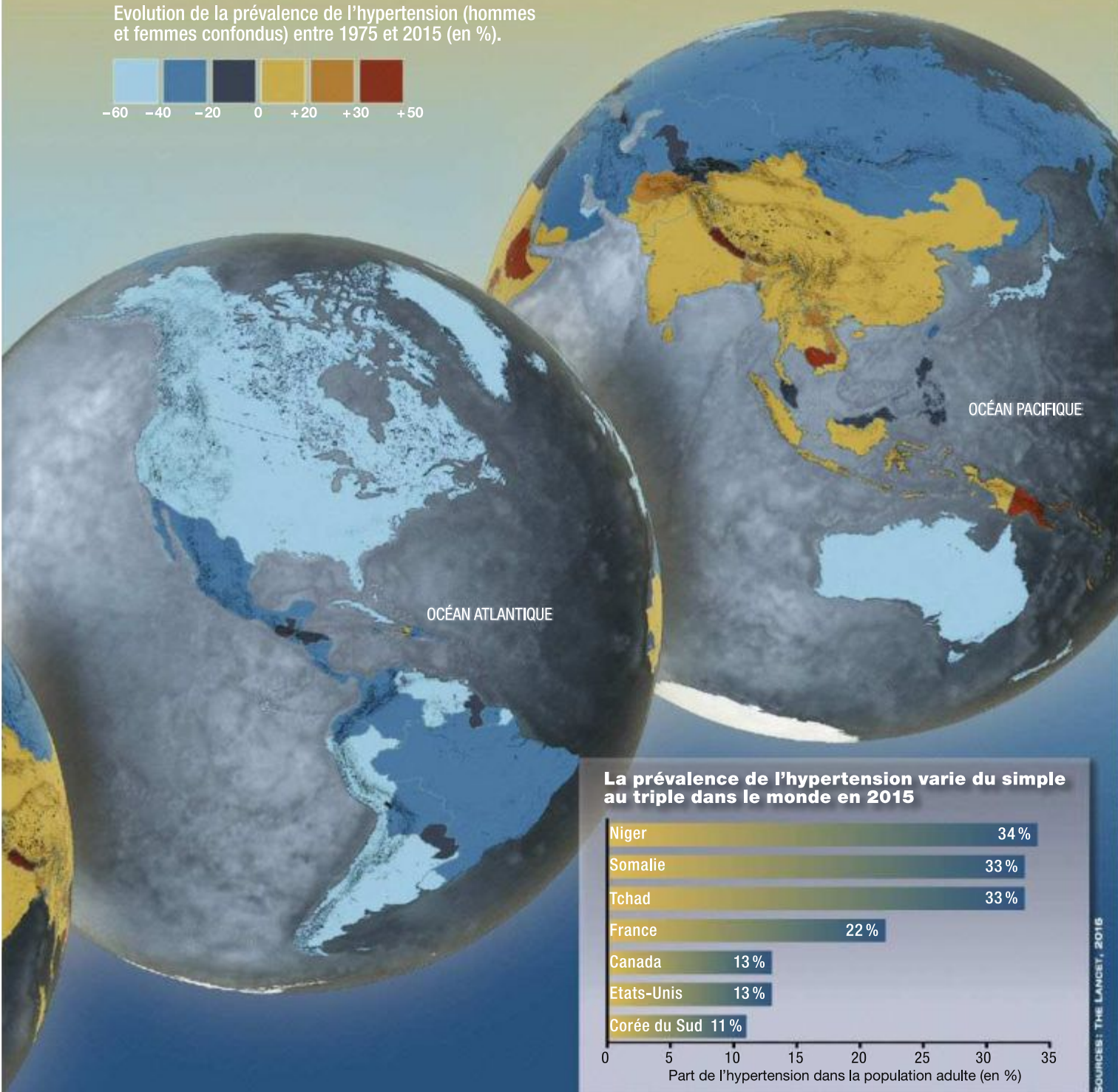
Plus inquiétants sont les chiffres observés dans de nombreux autres pays où les modes de vie évoluent défavorablement, sans politique publique significative. Par exemple, le nombre de cas explose au Népal (+30 %) ou en Papouasie-Nouvelle-Guinée (+35 %). En Europe, l'augmentation du nombre de cas ralentit pour les femmes, mais elle reste préoccupante pour les hommes en Europe centrale et de l'Est (Lituanie, Ukraine, Russie). **A.R.**



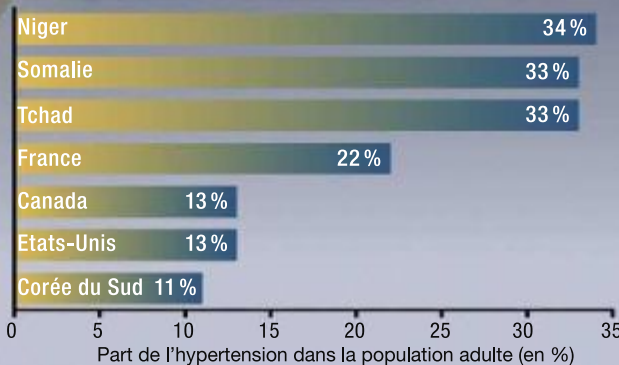


## Deux tiers des pays enregistrent une amélioration

Evolution de la prévalence de l'hypertension (hommes et femmes confondus) entre 1975 et 2015 (en %).



### La prévalence de l'hypertension varie du simple au triple dans le monde en 2015



SOURCES: THE LANCET, 2015

**+593 millions**

C'est, dans le monde, le nombre d'hypertendus supplémentaires entre 1975 (594 millions) et 2015 (plus de 1,1 milliard).

**14/9**

Seuil (en cm de mercure) à partir duquel on parle d'hypertension (pressions maximale/minimale).

**12%**

de femmes hypertendues : c'est le taux mondial le plus bas, au Canada, au Royaume-Uni, en Australie...



IMMUNOLOGIE

# LA DÉPRESSION POURRAIT SE TRAITER COMME UNE MALADIE IMMUNITAIRE

Et si la dépression était due à un dérèglement du système immunitaire? C'est l'hypothèse d'une équipe française qui s'est intéressée aux mastocytes, des globules blancs plus connus pour leur rôle dans les allergies. Premier constat: la moitié des patients souffrant de mastocytose (une maladie rare dans laquelle les mastocytes sont hyperactifs) sont sujets à la dépression.

*"Ces patients nous ont servi de modèle, explique Olivier Hermine, hématologue à l'hôpital Necker, car leurs mastocytes génèrent une inflammation chronique, suspectée de jouer un rôle dans de nombreuses maladies psychiatriques."* Chez ces patients, les chercheurs ont montré qu'un acide aminé, le tryptophane, était transformé en acide quinolinique, un composé toxique

pour le cerveau. Et que cela se faisait au détriment de la production de sérotonine et de mélatonine, des neuro-médiateurs impliqués dans la régulation de l'humeur et du sommeil. *"Nous allons vérifier si les mastocytes sont également activés chez les dépressifs réfractaires aux traitements antidépresseurs classiques"*, reprend Olivier Hermine. Alors que la plupart de ces traitements

ciblent la sérotonine (en inhibant les enzymes qui la détruisent ou les récepteurs qui la captent), les résultats obtenus ouvrent de nouvelles pistes: bloquer la production d'acide quinolinique ou contrôler l'activation des mastocytes. Des perspectives porteuses d'espoir, quand on sait que 30 % des dépressifs ne répondent pas aux traitements actuels.

O.C.

ENDOCRINOLOGIE

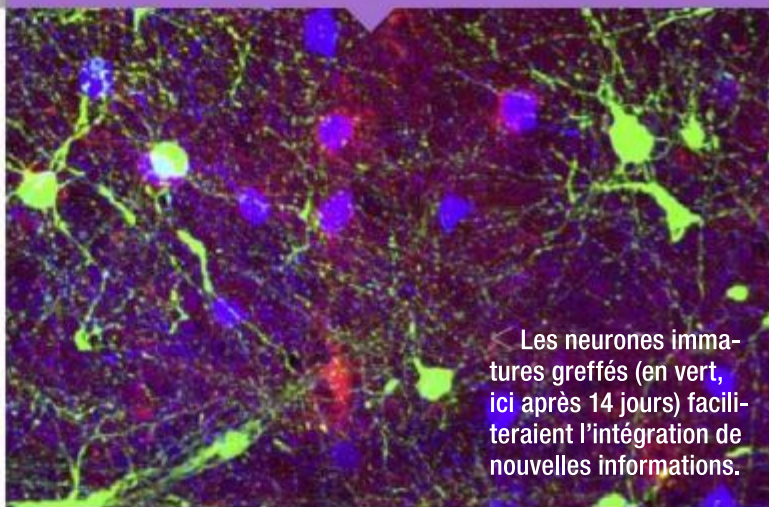
## Un complément alimentaire va être testé contre le diabète

En 2009, des chercheurs français avaient modifié génétiquement des cellules du pancréas pour les transformer en d'autres cellules pancréatiques, capables de produire de l'insuline (elles sont détruites chez les diabétiques de type 1). Ils viennent de découvrir que le Gaba, un neurotransmetteur présent dans le cerveau mais aussi disponible sous la forme de complément alimentaire, pouvait mimer cet effet chez la souris, et ainsi soigner un diabète induit chimiquement. En attendant les premiers tests sur une soixantaine de patients prévus au printemps, Patrick Collombat, responsable de l'étude, *"déconseille [cependant] fortement de prendre seul du Gaba en complément alimentaire sur la base de ces premiers résultats"*. A.R.

NEUROLOGIE

## Greffer des neurones permettrait d'"effacer" la peur

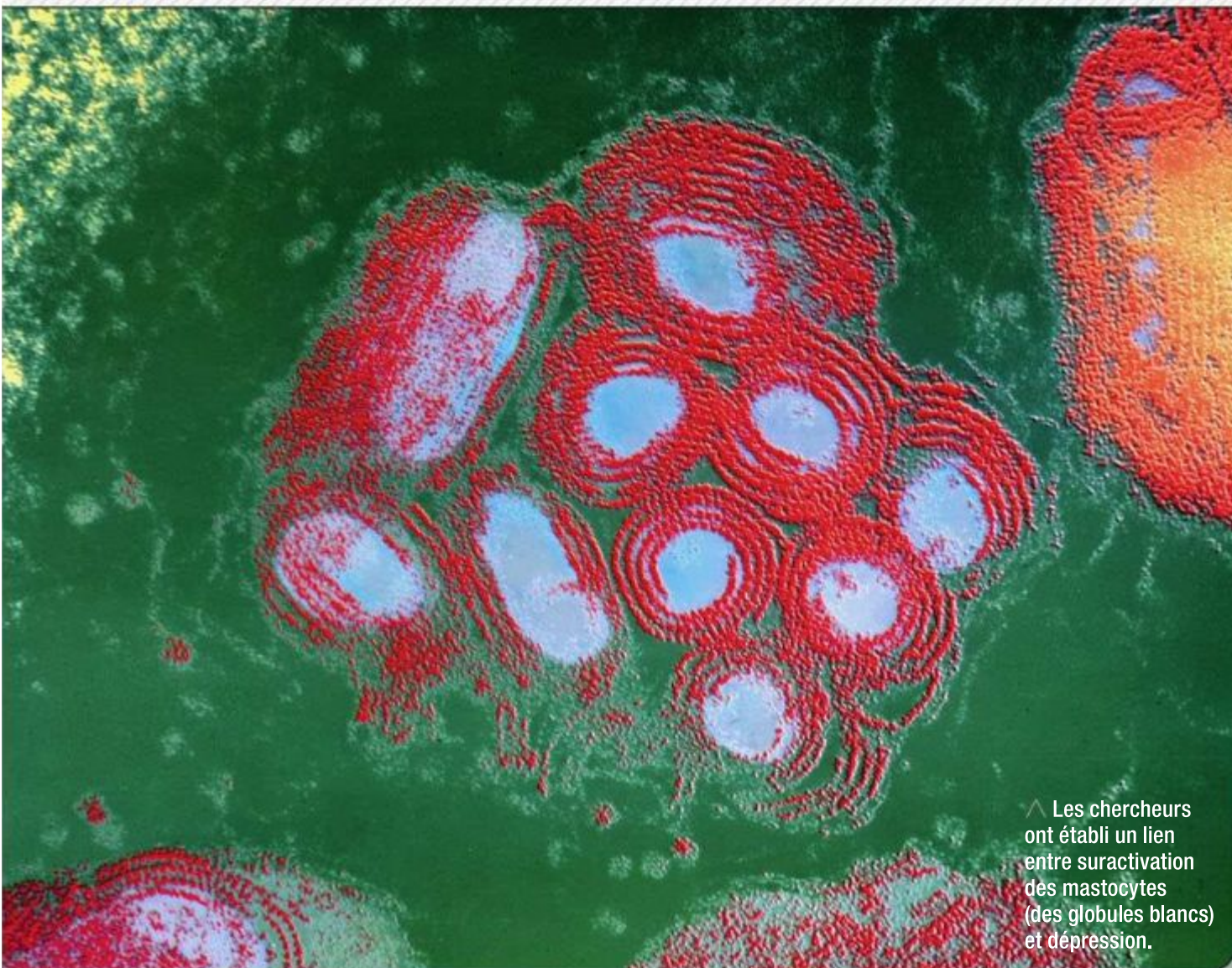
Contre le stress post-traumatique et les phobies, une équipe chinoise a testé une méthode radicale: la greffe de neurones embryonnaires dans l'amygdale (siège de la peur dans le cerveau). Soumises à cette opération, des souris qui avaient été exposées régulièrement à un bruit associé à un choc électrique ont oublié plus vite leur peur lorsqu'on leur a fait entendre ce même bruit sans le choc. Les nouveaux neurones auraient facilité leur plasticité cérébrale. *"Le chemin est encore long avant une utilisation chez l'homme"*, prévient toutefois Yong-Chun Yu, qui a dirigé les recherches. E.A.



Les neurones immatures greffés (en vert, ici après 14 jours) faciliteraient l'intégration de nouvelles informations.

DR KARI LOUNATMAA/SPL/COSMOS - YANG ET AL. - J. CAVALLINI/BSIP



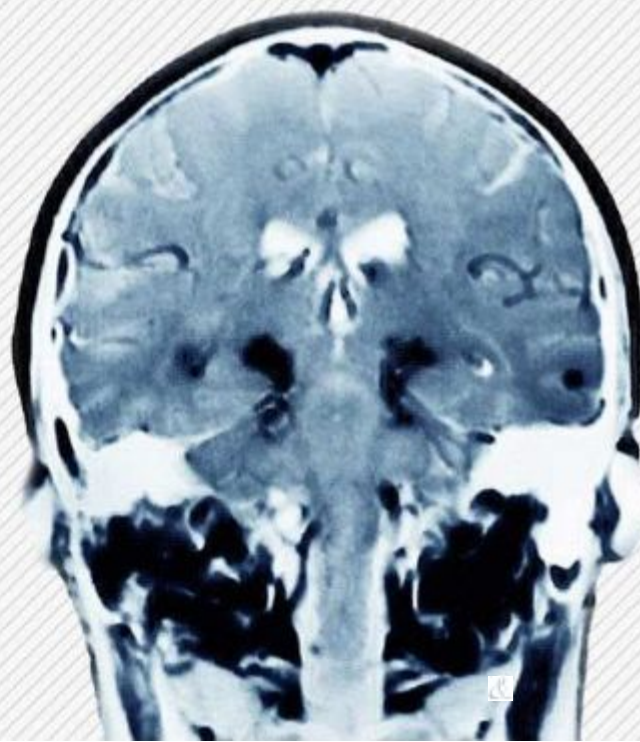


^ Les chercheurs ont établi un lien entre suractivation des mastocytes (des globules blancs) et dépression.

## MICROBIOLOGIE

# La maladie de Parkinson commence bien dans les intestins

Depuis 2003, on soupçonnait la maladie de Parkinson d'être liée aux bactéries intestinales : lésions du système nerveux digestif identiques à celles du cerveau (photo ci-contre), problèmes digestifs précédant les autres symptômes... Une nouvelle étude menée en Californie renforce cette hypothèse. Elever des souris prédisposées génétiquement à la maladie dans un milieu stérile ou les traiter par antibiotiques (ce qui modifie la flore intestinale) a réduit l'intensité des symptômes et l'accumulation de protéines néfastes dans les neurones ; à l'inverse, la transplantation de flore intestinale issue d'une personne malade a augmenté la sévérité de la maladie. Reste, si cela se vérifie chez l'homme, à trouver les bactéries impliquées. Et peut-être qu'un jour, des antibiotiques ou des probiotiques serviront aussi à soigner les malades de Parkinson. **A.R.**



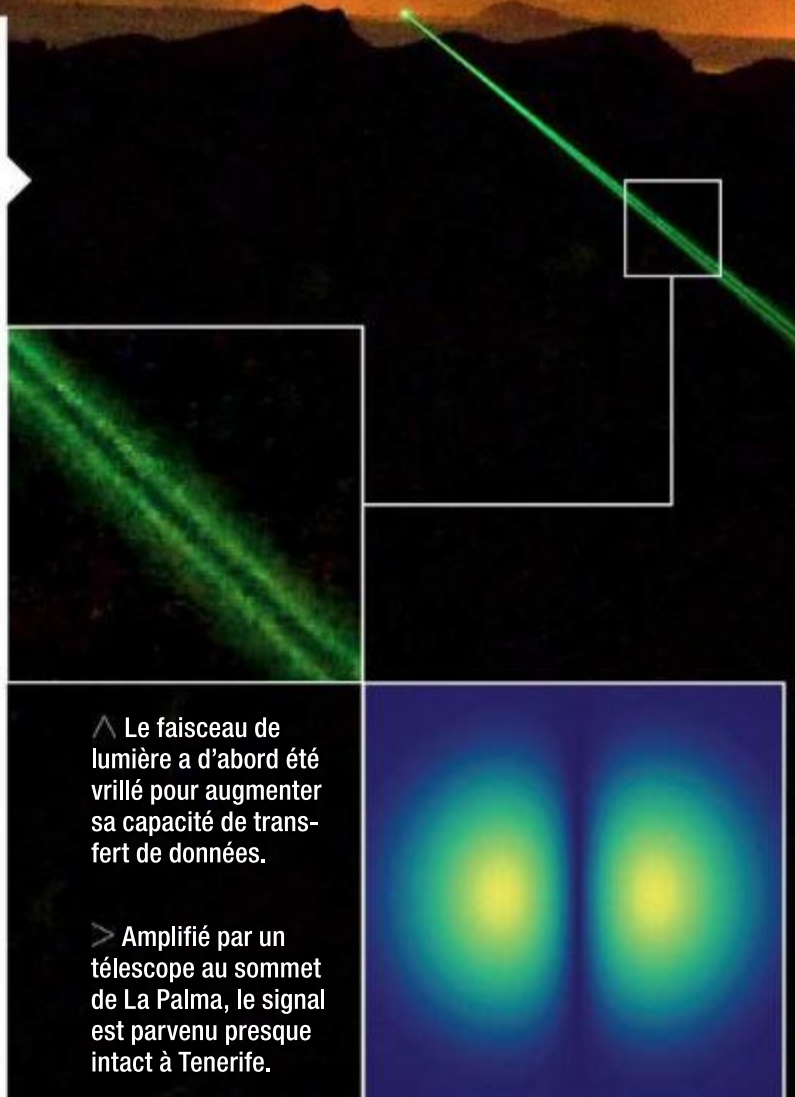


## TÉLÉCOMMUNICATIONS

# “TORDU”, UN LASER A TRANSMIS UN SIGNAL SUR 143 KM

Du sommet de l'île La Palma, aux Canaries, des chercheurs ont envoyé le message "Hello world!"... lequel a été reçu à Tenerife, 143 km plus loin, avec une erreur sur une seule lettre! Un exploit, étant donné la nature du porteur du message: un faisceau de lumière enroulé sur lui-même, un peu comme un tire-bouchon. "Nous avons codé le message en superposant plusieurs phases de l'onde lumineuse grâce à un hologramme optique, précise Mario Krenn, à l'université de Vienne. C'est une technique très intéressante pour le transfert de données car, en théorie, il n'y a pas de limite: une

particule de lumière peut contenir un nombre arbitrairement grand d'informations." Encore fallait-il prouver qu'un tel faisceau pouvait véhiculer des données sans les perdre sur de grandes distances et à l'air libre – aucune fibre optique ne parvient à transmettre efficacement un tel signal. C'est chose faite. Il ne reste plus qu'à améliorer la fiabilité du système, par exemple en utilisant des optiques adaptatives pour corriger les turbulences de l'atmosphère, et à le combiner avec les technologies de communication pour pouvoir transmettre des données... à un débit sans limite! **M.F.**



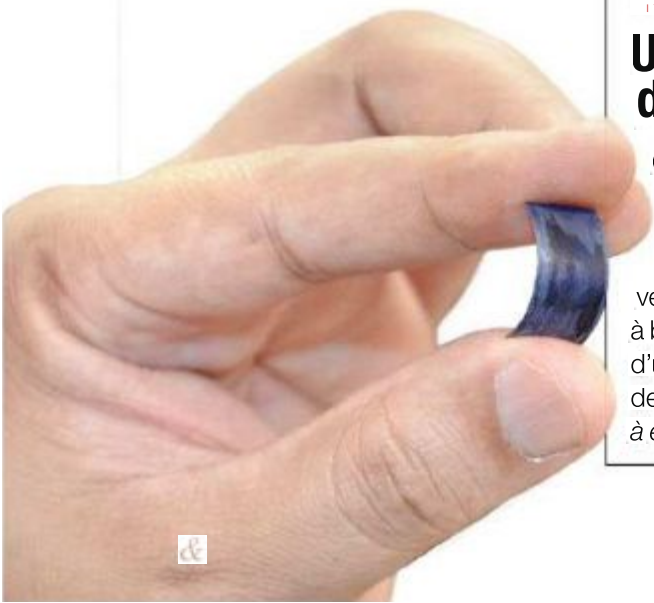
^ Le faisceau de lumière a d'abord été vrillé pour augmenter sa capacité de transfert de données.

> Amplifié par un télescope au sommet de La Palma, le signal est parvenu presque intact à Tenerife.

## ÉNERGIE

## Une nouvelle batterie bat des records d'autonomie et de longévité

Ce petit bout de métal flexible est une batterie d'un nouveau genre! Non contente de tenir jusqu'à une semaine après une charge de quelques secondes, elle pourrait être rechargée plus de 30 000 fois, soit 20 fois plus qu'une batterie lithium-ion classique. Conçue à l'université de Floride centrale, elle est constituée de supercondensateurs à base de nanofils hautement conducteurs, revêtus d'une coque faite d'un matériau en deux dimensions. Il faudra cependant patienter avant de pouvoir utiliser cette technologie miracle, qui "n'est pas encore prête à être commercialisée", selon Eric Jung, l'un de ses concepteurs. **E.T.-A.**





## CAP SUR DES AVIONS SOUPLES

Fini les ailerons ? Des ingénieurs du MIT et de la Nasa ont inventé de nouvelles formes d'ailes souples, composées de briques de polymères organisées en treillis. A la clé, un poids et une dépense de carburant nettement réduits. **A.V.**

## UNE I.A. SAIT LIRE SUR LES LÈVRES

Après cinq mille heures d'entraînement, un programme d'intelligence artificielle de Google DeepMind et de l'université d'Oxford a réussi à identifier 46,8 % des mots – contre 12,4 % pour un humain entraîné ! **A.V.**

## UNE MINIPILE À HYDROGÈNE

Des chercheurs japonais ont mis au point une pile qui stocke l'hydrogène dans un polymère, et non dans un réservoir sous pression – donc conservable sans danger. De la taille d'une pile ordinaire, elle pourrait alimenter, à terme, des voitures. **S.F.**

✓ Dans ces 4 réservoirs, des réactifs indiquent le pH et les taux de 3 composants de la sueur.



### TECHNOLOGIE MÉDICALE

## Un simple patch va surveiller notre santé... en analysant notre sueur

Créé à l'université Northwestern (Etats-Unis), ce patch qui se colle sur l'avant-bras est capable de déterminer le taux de sudation et d'effectuer le suivi physiologique, en temps réel, de la personne qui le porte. Comment ? Grâce à un réseau de minuscules canaux dans lesquels la sueur s'infiltre par capillarité pour venir s'accumuler dans quatre réservoirs. Des réactifs changent alors de couleur en fonction du niveau d'acidité mais aussi de la présence de glucose, de chlorure et de lactate, caractérisant ainsi l'état physiologique du porteur. A terme, les concepteurs espèrent que ces composants électroniques pourront activer automatiquement une application qui analysera les couleurs et délivrera, sur smartphone, un rapport sur l'état d'hydratation et de santé. Ce patch devrait aussi permettre de stocker des échantillons pour des analyses ultérieures en laboratoire. **S.F.**

UNIV. VIENNA - UCF - NORTHWESTERN UNIV.

# 1 nanomètre

Ou 1 milliardième de mètre : c'est la taille du plus petit transistor au monde. Réalisé à l'aide de nanotubes de carbone et de disulfure de molybdène, il est l'œuvre d'une équipe américaine du Berkeley Lab. Un procédé expérimental qui devrait, à terme, permettre de poursuivre la miniaturation des semi-conducteurs. **E.T.-A.**





## Un classique scientifique à offrir

Vous le savez sans doute, ce pendule de Newton illustre les théories de conservation de la quantité de mouvement et de l'énergie. Et en plus, avec son socle en bois et ses billes de gros diamètre, c'est un bel objet de décoration.

### Pendule de Newton Deluxe - 19,90 €

Dim. 18 x 17,5 x 12 cm. Socle noir en bois. Métal argenté. Bille diam. 1,8 cm.



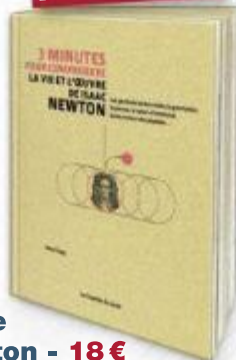
### OFFRE SPÉCIALE « NEWTON »

LIVRE + PENDULE

**34,10 €**  
au lieu de 37,90 €

RÉDUCTION SPÉCIALE -10%

### NOUVEAU



### 3 minutes pour comprendre la vie et l'œuvre d'Isaac Newton - 18 €

AUTEUR : BRIAN CLEGG. DIM. 19 x 24 cm. 162 PAGES. ÉDITIONS LE COURRIER DU LIVRE.

## PARTENARIAT SCIENCE & VIE

instructif  
et passionnant



## Découvrez la science avec un oeil différent!

Ben Gilliland relève le défi d'expliquer la science de façon ludique, à l'aide d'illustrations claires, pour comprendre de nombreuses théories : gravité quantique, univers en inflation, la physique des particules...

### La science comme vous ne l'avez jamais vue - 19,90 €

AUTEUR : BEN GILLILAND. DIM. 24 x 20 cm. 192 PAGES. ÉDITIONS DUNOD.

## LAISSEZ PARLER VOTRE CRÉATIVITÉ

### Exprimez-vous avec les clous

Réalisez des formes grâce aux milliers de clous mobiles et créez avec les empreintes de n'importe quel objet ou de n'importe quelle partie du corps à l'infini!

### Sculpture clous

MATIERE : CLOUS EN MÉTAL  
ET CADRAN EN PLEXIGLASS.  
DIMENSIONS APPROXIMATIVES :  
17,5 x 12,5 x 5,5 cm.



**L'un des objets de décoration créative  
les plus classiques depuis les années 80!**

SCULPTURE CLOUS

**19,90 €**  
seulement

## S'anime



**Marche  
à 4 pattes**



**Avance  
sur l'eau**

Video explicative sur  
laboutiquescienceetvie.com

## 14 robots à construire!

Avec 2 niveaux de difficulté, ce kit ultra-complet permet de créer 14 robots différents, tous animés avec un moteur fonctionnant à l'énergie solaire.

### Robot solaire Roll-E 14 en 1 - 24,90 €

195 PIÈCES À ASSEMBLER. BATTERIE SOLAIRE.  
DIM APPROX. ROBOT : 15 x 12 x 12 cm.



# SCIENCE & VIE

## LA BOUTIQUE

Livres & cadeaux scientifiques et insolites

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

## DESTOCKAGE TOUT DOIT DISPARAITRE !

La collection Big Questions explore les thèmes fondamentaux de la science et de la philosophie qui ont piqué la curiosité des chercheurs à travers les siècles. Chaque volume présente les réponses des grands penseurs à 20 questions clés et les explicite de manière concise et accessible à tous.

**OFFRE SPÉCIALE  
"BIG QUESTIONS"**

Réf. 405.530

**LES 4 LIVRES**

**37€** Prix public: 77€  
seulement

**RÉDUCTION SPÉCIALE -40%**

### Collection Big Questions

RELIÉS, AVEC ÉLASTIQUE FAÇON CARNET « MOLESKINE ». FORMAT 14,5 x 21,5 CM.  
DIRECTEUR DE COLLECTION : SIMON BLACKBURN. 215 PAGES.  
ÉDITION TÉLÉMAQUE ET SCIENCE & VIE.

- **Physique 12€** AU LIEU DE **17,50€**
- **L'Univers 12€** AU LIEU DE **17,50€**
- **L'évolution 12€** AU LIEU DE **18€**
- **Mathématiques 12€** AU LIEU DE **18€**

Les origines de la vie, la sélection naturelle, le clonage et la bioéthique...

Les principes fondamentaux des mathématiques et notre compréhension du monde...

la physique quantique, la relativité et la véritable nature de la réalité...

L'astronomie, la cosmologie et le sens de l'existence...

### POUR COMMANDER ET S'INFORMER

[www.laboutiquescienceetvie.com](http://www.laboutiquescienceetvie.com)

**Exclusivité Internet :** Livraison en Points Relais®, PayPal®

Envoyez le bon de commande avec votre règlement à  
**La Boutique SCIENCE & VIE - CS 90 125 - 27 091 ÉVREUX CEDEX 9**

**01 46 48 48 83** (6 jours/7 paiement CB uniquement)

**EN CADEAU** avec votre commande dès **49€**

Le livre « **Star Wars, le mythe et la science** » de Science & Vie

DÉCOUVREZ JUSQU'OU LA SCIENCE REJOINT LA FICTION, GRÂCE À VOTRE SAGA PRÉFÉRÉE !



## BON DE COMMANDE

Articles	Réf.	Quantité	Prix	Sous-total
Pendule de Newton Deluxe	365.189	x	19,90€	= €
Livre « 3 min... Isaac Newton »	403.436	x	18€	= €
Offre spéciale « Newton »	403.824	x	34,10€	= €
Livre « La science... jamais vu »	392.159	x	19,90€	= €
Sculpture Clous	404.608	x	19,90€	= €
Robot 14 en 1 Roll-E	374.843	x	24,90€	= €
Offre Spéciale Big Questions	405.530	x	37€	= €
Big Questions L'Univers	353.425	x	12€	= €
Big Questions Physique	353.417	x	12€	= €
Big Questions L'évolution	364.687	x	12€	= €
Big Questions Mathématiques	364.679	x	12€	= €

**SOUS-TOTAL**

Avec ma commande dès **49€**, je reçois en **CADEAU** le livre **STAR WARS** OFFERT

<b>FRAIS D'ENVOI</b> (cocher la case de votre choix)	<input type="checkbox"/> Envoi normal	<b>6,90€</b>
<input checked="" type="checkbox"/> <b>Ma commande atteint 49€</b> Envoi Coliéco		<b>GRATUIT</b>
<input type="checkbox"/> Livraison rapide Colissimo		<b>7,90€</b>
<input checked="" type="checkbox"/> <b>Ma commande atteint 75€</b> Livraison rapide Colissimo		<b>GRATUIT</b>
<b>TOTAL</b>		<b>€</b>

Offre valable uniquement en France métropolitaine pendant deux mois dans la limite des stocks disponibles. Délai de livraison des produits : maximum 2 semaines après l'enregistrement de votre commande sauf si envoi par Colissimo (5 jours max.). Selon l'article L121-21 du code de la consommation, vous disposez d'un délai de 14 jours pour changer d'avis et nous retourner votre colis dans son emballage d'origine complet. Le droit de retour ne peut être exercé pour les enregistrements vidéo déscellés. Les frais d'envoi et de retour sont à votre charge. En application de l'article 27 de la loi du 6 janvier 1978, les informations ci-contre sont indispensables au traitement de votre commande. Elles peuvent donner lieu à l'exercice du droit d'accès et de rectification auprès de Mondadori. Par notre intermédiaire, vous pouvez être amené à recevoir des propositions d'autres organismes. Cochez la case si refus ☐.

À RENVoyer DANS UNE ENVELOPPE  
AFFRANCHIE AVEC VOTRE RÈGLEMENT À :

**LA BOUTIQUE SCIENCE & VIE - CS 90 125 - 27 091 ÉVREUX CEDEX 9**

CODE COMMANDE : **395.467**

### > Mes coordonnées

☐ M. ☐ M<sup>me</sup> ☐ M<sup>lle</sup>

Nom \_\_\_\_\_ Prénom \_\_\_\_\_

Adresse \_\_\_\_\_

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

CP \_\_\_\_\_ Ville \_\_\_\_\_

Tél. \_\_\_\_\_

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

E-mail \_\_\_\_\_

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

### > Mode de paiement

☐ Je règle par chèque bancaire ou postal à l'ordre de SCIENCE & VIE

- ☐ en 1 fois la totalité de ma commande
- ☐ en 3 fois sans frais (à partir de 99€ d'achat)

☐ Je règle par carte bancaire

- ☐ en 1 fois la totalité de ma commande
- ☐ en 3 fois sans frais (à partir de 99€ d'achat)

**PAIEMENT  
3x  
SANS FRAIS**

Carte bancaire N° \_\_\_\_\_

Expire fin : \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Date et signature obligatoires

Cryptogramme \_\_\_\_\_

Les 3 chiffres au dos de votre CB



## ALZHEIMER LE RISQUE DIMINUE!

Les chercheurs sont formels : le risque de développer Alzheimer ne cesse de reculer. A l'origine de cet incroyable résultat ? Des changements dans notre mode de vie sur lequel chacun peut agir. Obésité, sédentarité, niveau d'études... **Coralie Hancock** détaille sept facteurs clés.

Bonne nouvelle ! Le spectre de l'une des maladies les plus terribles planant sur nos vieux jours semble s'éloigner. En effet, si vous avez plus de 65 ans, vous avez moins de risques de développer la maladie d'Alzheimer que les personnes qui avaient le même âge que vous il y a 40, 30, 20 voire 10 ans. C'est du moins ce que laissent penser plusieurs études menées aux Etats-Unis et en Europe et publiées depuis cinq ans.

Dans l'une des plus solides, parue il y a tout juste

un an, les chercheurs ont comparé le taux d'incidence des démences, c'est-à-dire l'apparition de nouveaux cas, sur quatre périodes, et observé que ce taux était passé de 3,6 % entre 1977 et 1983, à 2,8 % entre 1986 et 1991, puis à 2,2 % entre 1992 et 1998, pour tomber à 2 % entre 2004 et 2008.

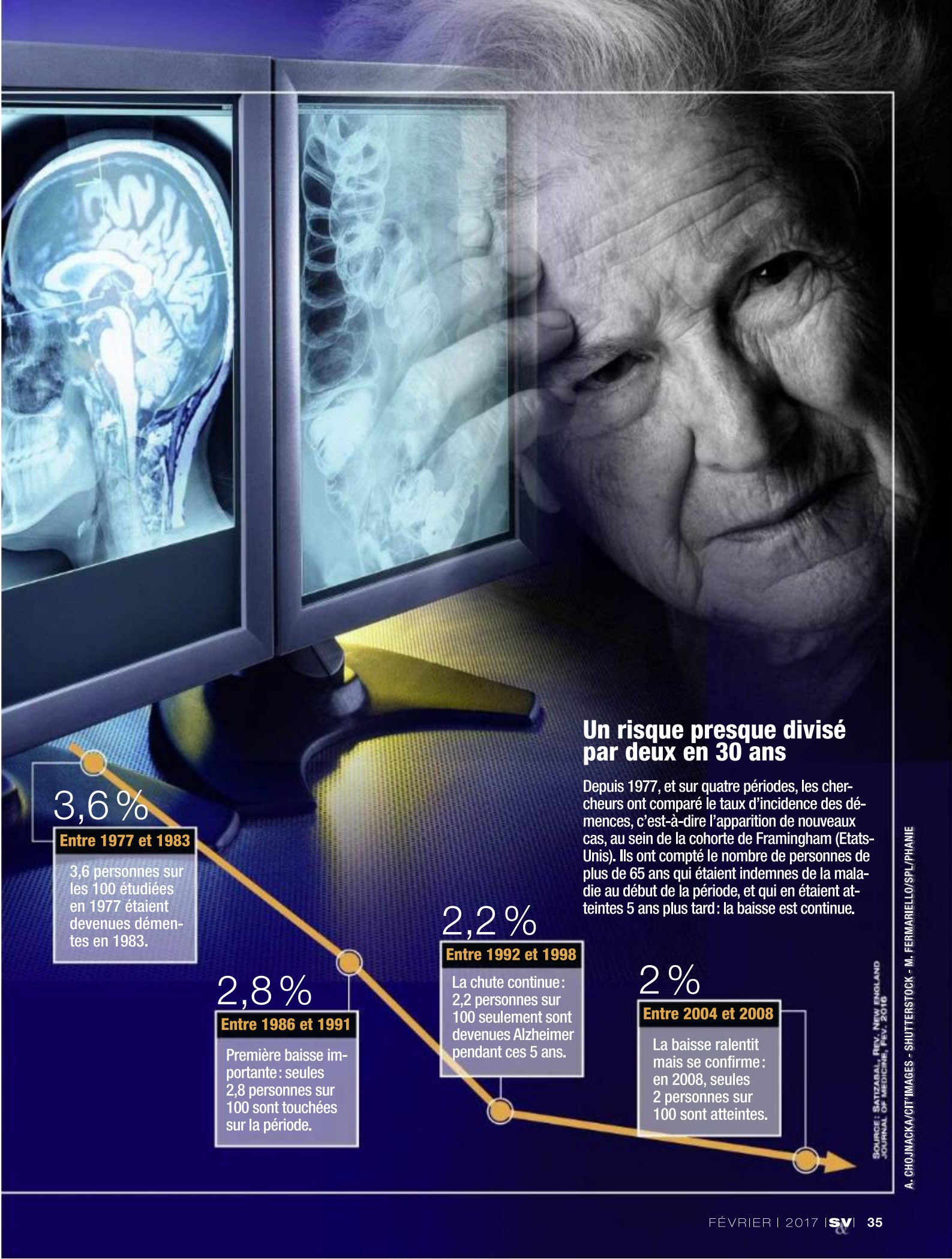
### UNE ÉTUDE QUI FAIT DATE

*"Concrètement, cela signifie que, à âge et à sexe comparables, sur 100 personnes observées et indemnes de démence au*

*début de chaque période, 3,6 devenaient démentes dans les cinq ans durant la première période, contre seulement 2 dans la dernière période. Autrement dit, en trente ans, le risque de développer une démence a quasiment été divisé par deux !"* explique Carole Dufouil, épidémiologiste au Centre de recherche "Bordeaux population health" (Inserm/université de Bordeaux) et coauteure de cette étude tirée de la fameuse cohorte "Framingham". ➔







3,6 %

**Entre 1977 et 1983**

3,6 personnes sur les 100 étudiées en 1977 étaient devenues démentes en 1983.

2,8 %

**Entre 1986 et 1991**

Première baisse importante : seules 2,8 personnes sur 100 sont touchées sur la période.

2,2 %

**Entre 1992 et 1998**

La chute continue : 2,2 personnes sur 100 seulement sont devenues Alzheimer pendant ces 5 ans.

2 %

**Entre 2004 et 2008**

La baisse ralentit mais se confirme : en 2008, seules 2 personnes sur 100 sont atteintes.

## Un risque presque divisé par deux en 30 ans

Depuis 1977, et sur quatre périodes, les chercheurs ont comparé le taux d'incidence des démences, c'est-à-dire l'apparition de nouveaux cas, au sein de la cohorte de Framingham (Etats-Unis). Ils ont compté le nombre de personnes de plus de 65 ans qui étaient indemnes de la maladie au début de la période, et qui en étaient atteintes 5 ans plus tard : la baisse est continue.

SOURCE : SATZBAI, REV. NEW ENGLAND JOURNAL OF MEDICINE, FÉV. 2010

A. CHOINACKA/CIT IMAGES - SHUTTERSTOCK - M. FERMARIELLO/SPL/PHANIE



## 1 L'EFFET DE L'HYPERTENSION

L'hypertension artérielle se caractérise par une pression anormalement forte du sang sur la paroi des artères, qui les fragilise, pouvant entraîner troubles cardiaques et accidents vasculaires cérébraux. Parfois silencieux, ces AVC impactent à leur tour négativement les fonctions cognitives. Une personne hypertendue entre 35 et 64 ans risque 1,61 fois plus de développer un Alzheimer.

Augmentation du risque

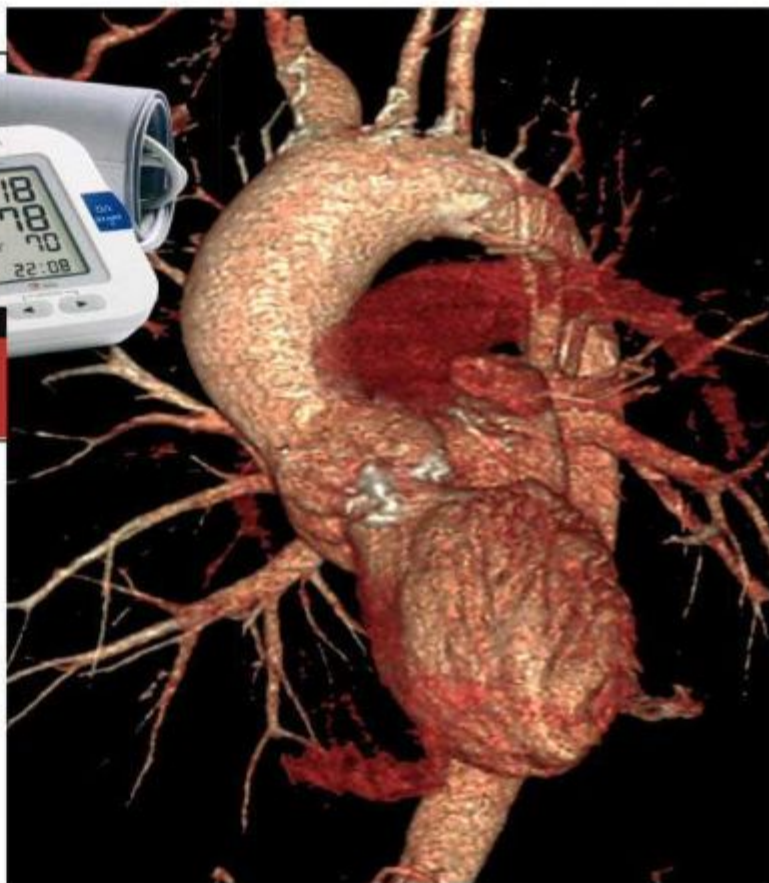
**+61%**

## 2 L'EFFET DE LA SÉDENTARITÉ

Les personnes qui font moins de vingt minutes d'activité physique intense au moins 3 fois par semaine ou moins de trente minutes d'activité modérée au moins 5 fois par semaine ont un risque d'Alzheimer 1,82 fois plus élevé que les personnes actives. Aux États-Unis et en Europe, le manque d'activité physique est le facteur de risque n° 1.

Augmentation du risque

**+82%**



→ Cette vaste enquête épidémiologique étudie depuis 1948 les habitants – volontaires – de la ville de Framingham, dans le nord-est des États-Unis, ainsi que leurs enfants et petits-enfants. Cette cohorte visait, à l'origine, à surveiller l'évolution des maladies cardio-vasculaires. Ce travail mondialement connu sous le nom de

“Framingham Heart Study” a ainsi permis de reconnaître l'hypertension, le diabète ou le tabagisme comme des facteurs de risque des maladies cardio-vasculaires.

Puis les chercheurs se sont mis, à partir de 1975, à mesurer également les performances cognitives des habitants de plus de 60 ans. Objectif : déceler

un éventuel déclin cognitif caractéristique de l'apparition d'une démence.

Sous ce terme, sont d'abord répertoriés les cas de démence les plus fréquents (environ 60 %) dus à la maladie d'Alzheimer : ils se caractérisent par l'apparition de lésions spécifiques (les plaques amyloïdes situées entre

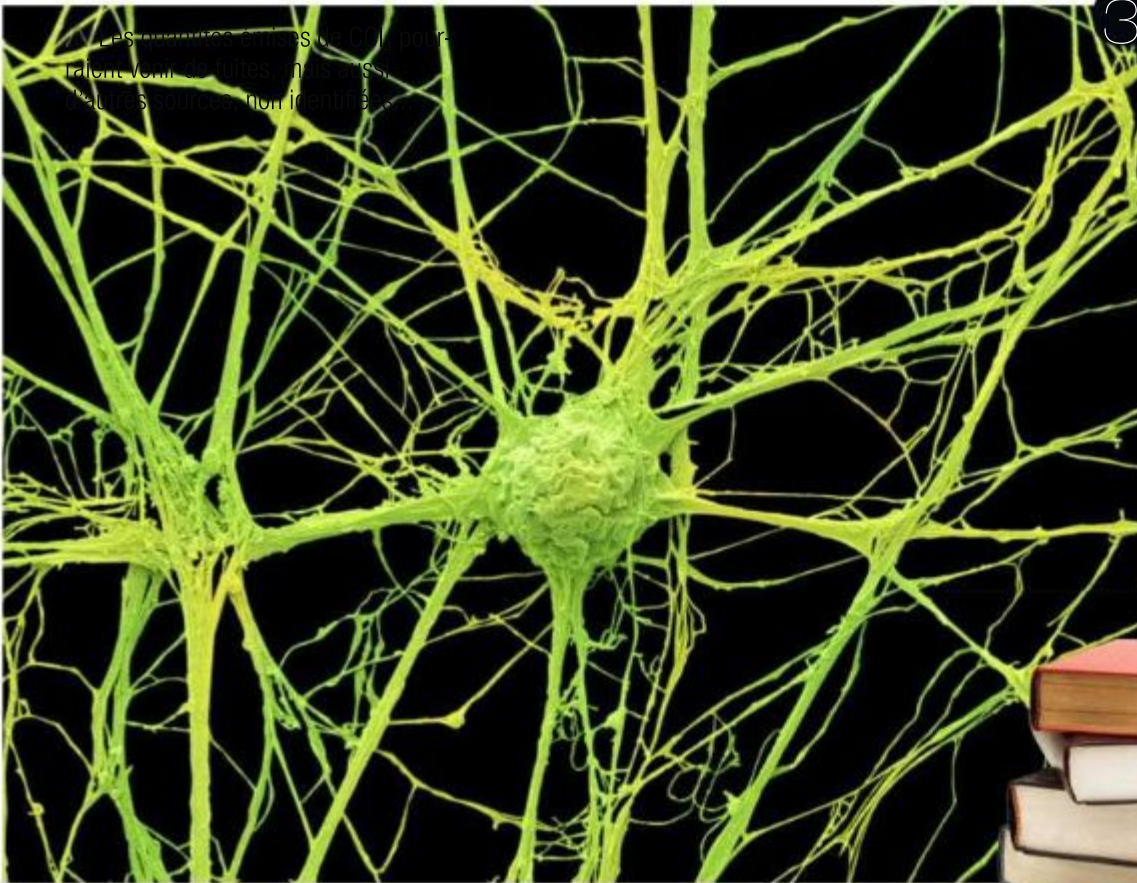
les neurones et les dégénérescences neurofibrillaires à l'intérieur des neurones) et, sur le plan clinique, par des pertes de mémoire. Viennent ensuite les cas de démence dite vasculaire : le déclin cognitif est ici dû à des lésions vasculaires (le plus souvent à la suite d'un AVC qui peut être silencieux) et se caractérise surtout, initialement, par des difficultés dans les fonctions exécutives (comme téléphoner, par exemple).

Si on a longtemps considéré que seules les démences vasculaires étaient causées par ces AVC, on sait aujourd'hui que la plupart des malades étiquetés Alzheimer souffrent de “démences mixtes”, où lésions

## Notre mode de vie est pointé dans un tiers des cas

En 2011, l'équipe de Deborah Barnes a publié une liste de sept facteurs de risque associés à Alzheimer et, pour chacun d'eux, le nombre de cas qui leur sont attribuables : hypertension, sédentarité, dépression, niveau d'études, diabète, obésité et tabagisme. Additionnés, ils seraient responsables de 49,4 % des cas d'Alzheimer enregistrés dans le monde en 2010. Mais comme tous ces facteurs ne sont pas indépendants (le manque d'activité physique, par exemple, favorise l'obésité...), la chercheuse a refait les comptes en 2014. Résultat : ils ne sont plus responsables “que” de 28,2 % des cas. Ce qui reste néanmoins non négligeable.





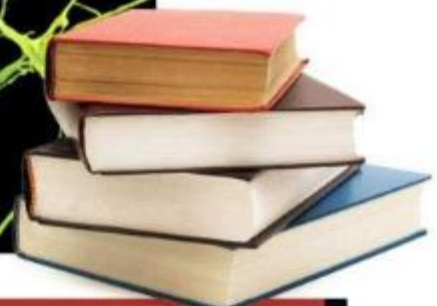
LES NERVEUX ANGES DE DDL pour l'alignement de l'alignement, mais aussi d'autres sources, non identifiées.

### 3 L'EFFET DE LA DÉPRESSION

Les personnes ayant souffert d'épisodes dépressifs ont 1,65 fois plus de risques de développer un Alzheimer. Si nombre de chercheurs considèrent la dépression comme un facteur causal, d'autres suggèrent qu'il s'agirait d'un symptôme précoce.

Augmentation du risque

**+65%**



### 4 L'EFFET DU NIVEAU D'ÉTUDES

Les personnes ayant un niveau d'éducation inférieur ou égal à l'équivalent français du collège ont un risque 1,59 fois plus élevé de développer un Alzheimer. Si un haut niveau d'études protège des assauts de la maladie, tout n'est pas pour autant perdu pour celles et ceux qui ont fait peu d'études : les activités intellectuelles pratiquées tout au long de la vie semblent également bénéfiques.

Augmentation du risque

**+59%**

Alzheimer et lésions vasculaires se combinent.

Or, que dessinent les chiffres de la population de Framingham plus de quarante ans après le début de la surveillance? Une courbe qui plonge à mesure que le risque de démence recule.

#### DES CERVEAUX ENTRAÎNÉS

Dernière étude en date, celle publiée en novembre dernier par l'équipe de Kenneth Langa (université du Michigan, Etats-Unis) confirme la bonne nouvelle, révélant une tendance à la baisse sur une période très récente et relativement courte. La comparaison de deux cohortes de personnes de plus de 65 ans, l'une constituée en 2000 et l'autre en 2012,

a en effet montré que la proportion de personnes atteintes de démence passait de 11,6 % à 8,8 %.

En France, on ne dispose malheureusement pas de tels suivis de population. Néanmoins, une étude publiée en mars dernier dans le cadre de "Bordeaux population health" a comparé l'incidence de la démence chez les plus de 65 ans entre deux cohortes de population de la région, l'une constituée en 1988-1989, l'autre en 1999-2000. Et alors que seulement dix années séparent ces deux cohortes, "on observe une diminution de 38 % du risque de démence quel que soit l'âge, mais seulement chez les femmes", indique la biostatisticienne et

coauteure de l'étude Hélène Jacqmin-Gadda.

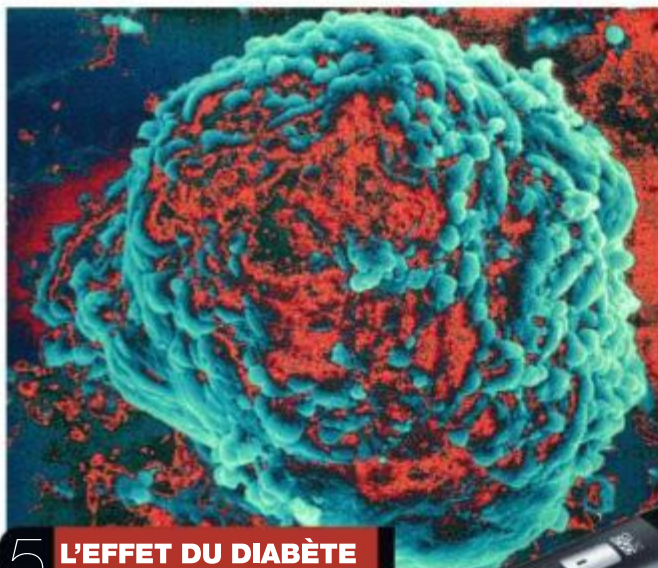
Comment expliquer cette tendance? "Par une diminution des facteurs de risque," répond sans hésiter Deborah Barnes, professeure de psychiatrie, d'épidémiologie et de biostatistiques à l'université de Californie. Quand, dans une population, les

facteurs de risque de la démence sont modifiés, alors le risque de démence l'est également." Logique.

Si le risque de développer la maladie d'Alzheimer régresse aujourd'hui, ce n'est donc pas lié à de meilleurs traitements, mais à des troubles physiologiques et des modes de vie qui

DR - ZEPHYR/SPL/PHANIE - SPL/PHANIE - SHUTTERSTOCK





## 5 L'EFFET DU DIABÈTE

Une personne diabétique entre 20 et 79 ans a 1,46 fois plus de risques de développer la maladie d'Alzheimer qu'une personne non diabétique. Plusieurs études suggèrent néanmoins qu'une meilleure prise en charge du diabète (médicaments antidiabétiques oraux ou injections d'insuline) atténuerait ce risque.

Augmentation du risque

**+46%**

→ l'engendrent indirectement. Et parmi eux, aussi surprenant que cela paraisse, un facteur semble avoir un effet particulièrement important: le niveau d'éducation. Pourquoi? Parce que le cerveau serait alors plus "entraîné" – ou pourvu de réseaux neuronaux différents... Nul ne le sait vraiment. Mais un constat s'impose: "Les personnes avec un haut niveau d'études semblent avoir une meilleure capacité de résistance. Sachant que les symptômes d'Alzheimer apparaissent après des lésions, à quantité de lésions équivalentes, on a remarqué que ces personnes vivent plus longtemps sans symptôme et développent plus tard la maladie.

Certaines, même, ne la développeront jamais puisque le risque de décès d'une autre cause est très élevé à un âge de la vie aussi avancé", explique Philippe Amouyel, professeur au CHU de Lille et directeur de l'unité de recherche Santé publique et épidémiologie moléculaire des maladies liées au vieillissement à l'Institut Pasteur.

Un concept dit de réserve cognitive et que les faits statistiques semblent confirmer: si on regarde de plus près l'étude Framingham, on se rend compte que la diminution du risque de démence ne concerne que les personnes possédant un diplôme de l'enseignement supérieur. "Cela pourrait aussi expliquer pourquoi, dans

## 6 L'EFFET DE L'OBÉSITÉ

Un indice de masse corporelle supérieur à 30 entre 35 et 64 ans augmente de 60 % le risque d'Alzheimer: autrement dit, une personne obèse a 1,6 fois plus de risques. Passé 65 ans, c'est le sous-poids qui est associé à un risque accru, mais il semblerait qu'il soit plutôt la conséquence de la maladie que la cause, le patient oubliant souvent de s'alimenter.

Augmentation du risque

**+60%**



notre étude française, seules les femmes bénéficient d'une diminution du risque: ce sont elles en effet qui ont davantage bénéficié de l'amélioration du niveau d'éducation. Dans les cohortes les plus anciennes, rares étaient celles qui avaient fait des études", indique Hélène Jacqmin-Gadda.

## LA GÉNÉRATION BABY BOOM

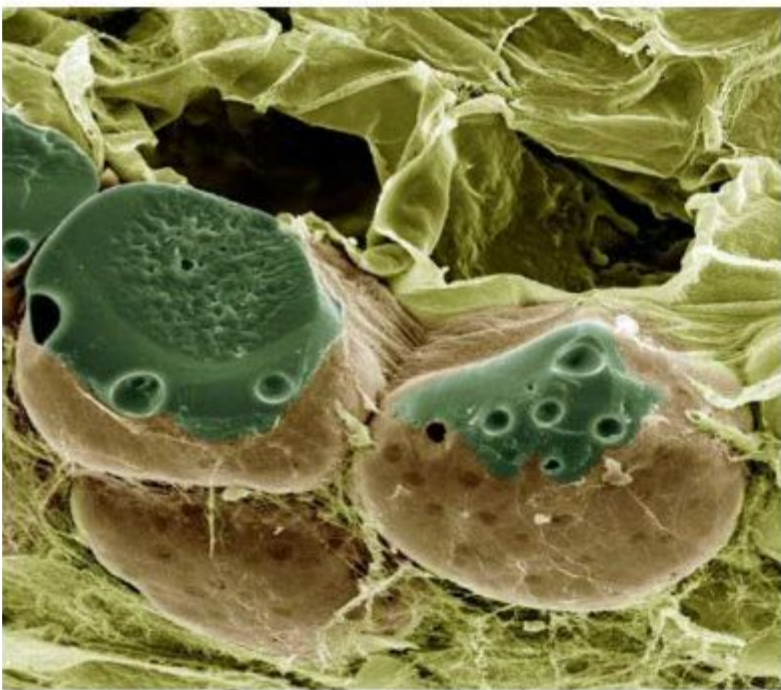
Ainsi, entre les deux cohortes étudiées par l'équipe bordelaise, la proportion de femmes sans diplôme passe de 30,3 % à 14,7 %. Chez les hommes, cette proportion est également divisée par deux entre les deux cohortes, mais dans la plus ancienne, ils n'étaient que 17,8 % à être sans diplôme.

En 2011, en se basant sur diverses études épidémiologiques, Deborah Barnes est même parvenue à faire une estimation du nombre de cas d'Alzheimer dans le

monde potentiellement attribuables au faible niveau d'éducation: 6 473 000, soit 19,1 % des cas en 2010.

Ce travail, la chercheuse l'a reproduit pour six autres facteurs de risque identifiés et pour lesquels on connaît la prévalence dans la population mondiale: le diabète, l'hypertension, la dépression, le tabac, l'obésité ou l'absence d'activité sportive (voir encadrés). Poursuivant son raisonnement et faisant jouer les chiffres, Deborah Barnes estime que "si, au niveau mondial, on parvient à réduire de 10 % par décennie chacun des sept facteurs de risque que nous avons identifiés, on peut estimer à 8,3 % la réduction du nombre de cas d'Alzheimer attendus en 2050". Même si ce pourcentage ne semble pas farfelu, cela représenterait tout de même 8,8 millions de cas en moins! Mieux encore: une diminution des risques





## 7 L'EFFET DU TABAC

Un fumeur a 1,59 fois plus de risques de développer la maladie d'Alzheimer qu'un non-fumeur. Cependant, d'une étude à l'autre, les chiffres varient, notamment parce que la quantité de tabac prise en compte n'est pas la même. Dans certaines, seuls les gros fumeurs (plus d'un paquet par semaine) ont un risque accru.

Augmentation du risque

**+59%**

de 20 % par décennie permettrait d'éviter 16,2 millions de cas.

Cela signifie-t-il pour autant que le nombre total de cas va diminuer? Malheureusement non, répondent de concert tous les experts que nous avons interviewés. *“Le facteur n°1 de risque de démence, c'est l'âge. Plus on vit vieux, plus on a de risques de développer une démence. Or, non seulement l'espérance de vie augmente un peu partout dans le monde, mais, en plus, la génération du baby boom est en train d'atteindre l'âge où commencent à se développer les démences. Ces changements démographiques vont inévitablement faire exploser le nombre de cas dans les années à venir”*, détaille Deborah Barnes.

Ainsi, en 2007, l'équipe de Ron Brookmeyer, biostatisticien à l'université Johns-Hopkins de Baltimore,

estimait que le nombre de cas dans le monde passerait de 26,6 millions en 2006 à 106,2 millions en 2050. Néanmoins, tempère Hélène Jacqmin-Gadda, *“la plupart des projections ont été faites sur la base d'un risque constant. Si celui-ci diminue, comme le laissent penser de plus en plus de publications scientifiques, alors l'épidémie annoncée sera peut-être moins catastrophique que ce à quoi on s'attendait”*.

### UN ÉTRANGE PARADOXE

Carole Dufouil est moins optimiste. *“Pour calculer le nombre de cas attribuables à tel ou tel facteur, on émet l'hypothèse qu'il existe une relation mécanique de cause à effet. Certes, les facteurs de risque sont réels, mais à quel point pèsent-ils et jusqu'où sont-ils réellement causaux? L'obésité, le tabac, le diabète provoquent-ils directement*

*la maladie d'Alzheimer? On n'en sait rien. Quant au niveau d'éducation, on n'a pas démontré qu'il joue sur les mécanismes physiopathologiques de la maladie, il permet seulement d'être asymptomatique plus longtemps”*, explique-t-elle.

*“Concernant les facteurs de risque vasculaires, on sait qu'ils favorisent Alzheimer mais ils n'en sont pas la cause”*, précise Philippe Amouyel. D'ailleurs, ajoute Carole Dufouil, *“dans notre étude, lorsqu'on modélise l'incidence des démences à risque cardio-vasculaire constant, on voit que la*

*tendance à la baisse des démences se maintient. Autrement dit, la diminution du risque cardio-vasculaire n'explique pas la diminution du nombre de nouveaux cas d'Alzheimer chez les habitants de Framingham”*.

Dans l'étude menée par Kenneth Langa, le même paradoxe apparaît: *“On observe une diminution de la prévalence des démences entre les cohortes de 2000 et 2012, alors même que, dans ces mêmes cohortes, la prévalence de l'obésité, du diabète et de l'hypertension augmente”*, indique-t-il.





→ Pour expliquer ce paradoxe, Kenneth Langa avance l'hypothèse des traitements. Dans le cas du diabète par exemple, si la proportion de la population touchée est bien en constante augmentation, certains de ces diabétiques sont aussi de mieux en mieux pris en charge. On peut même avancer l'idée qu'une personne se découvrant diabétique peut, en plus de son traitement, déci-

des démences qui diminue, il faut faire avec les données disponibles. *"Et celles que nous avons ne donnent pas de détails sur les types ou la sévérité des maladies. Il faudra d'autres études pour clarifier ces liens."*

D'autant que, selon lui, les choses sont probablement encore plus complexes. En 2015, il s'est penché sur la littérature scientifique... et a identifié pas moins de 93 facteurs pour lesquels

*ou non de la maladie", explique-t-il.*

Reste à savoir si la diminution du risque observée ces dernières années est une tendance à long terme. *"Va-t-elle continuer ou n'est-elle finalement que le reflet des améliorations particulièrement importantes qu'ont connues seulement certaines générations dans certains pays?"* s'interroge Hélène Jacqmin-Gadda. Même Deborah Barnes le reconnaît : *"Ce que nous observons actuellement est le reflet d'améliorations survenues il y a 50 ou 70 ans. Et les conséquences de l'augmentation récente du diabète et de l'obésité pourront mettre plusieurs décennies à apparaître."* Quel sera l'avenir cognitif des obèses et des diabétiques d'aujourd'hui ? Personne ne peut le dire...

## ET À L'ÉCHELLE MONDIALE

Et n'oublions pas non plus que la quasi-totalité des études sur l'évolution temporelle des démences ne se sont penchées que sur les Etats-Unis et l'Europe, seules régions où l'on dispose de données suffisamment anciennes. *Quid* de l'Asie qui, en 2050, accueillera 59% des cas d'Alzheimer ? Le cas de la Chine, avec une prévalence importante du tabagisme et une augmentation de l'obésité, y est particulièrement inquiétant. D'autant que les rares études menées en Asie, même si elles pèchent souvent par des problèmes de méthodologie, semblent au contraire montrer une augmentation de l'incidence.

Quant à l'Afrique, où l'hypertension touche désormais plus de 30% de la population de certains pays, les données, encore plus parcellaires, ne sont pas non plus encourageantes : une étude américaine publiée en mars 2016 a ainsi montré, en appliquant la même méthodologie aux Etats-Unis et au Nigeria, que si l'incidence diminuait dans la population noire-américaine, ce n'était pas le cas chez les Nigériens.

Voilà autant de questions en suspens qui constituent un vrai casse-tête pour les autorités sanitaires. Car finalement, personne ne sait combien de places il faudra prévoir dans les institutions spécialisées. Ni si la mise en place de grandes campagnes de prévention des facteurs de risque aurait un effet positif.

A l'échelle individuelle pourtant, toutes ces données constituent déjà un plan d'attaque : arrêtez de fumer, faites du sport, perdez du poids, mais aussi mangez mieux (lire ci-contre) et vous augmenterez réellement vos chances de passer votre retraite avec vos capacités cognitives intactes.



## EN SAVOIR PLUS

A consulter : toutes les études citées dans cette enquête dont celle sur la cohorte "Framingham".

[science-et-vie.com](http://science-et-vie.com)

## Un régime antidémence ?

**Le fameux régime méditerranéen, dont les effets bénéfiques sur la santé cardio-vasculaire sont connus depuis longtemps, a également fait ses preuves en matière de prévention de la maladie d'Alzheimer. Mais là aussi, difficile de dire si cet effet est direct ou bien lié à la prévention de l'obésité ou des maladies cardio-vasculaires. Ni si c'est le régime dans son intégralité qui est bénéfique ou seulement certains aliments. Des études ont en effet montré qu'une consommation importante de poissons, de fruits et légumes ou d'huile d'olive était associée à un moindre risque. Quoi qu'il en soit, des chercheurs américains ont d'ores et déjà mis au point un régime alimentaire spécial "anti-démence". Baptisé Mind, il combine certains aspects du régime méditerranéen avec ceux d'un régime contre l'hypertension, et intègre des aliments inédits pour lesquels des études ont montré un effet bénéfique (légumes verts à feuilles et baies, par exemple).**

der de changer son mode de vie au point de voir chuter tous les autres facteurs de risque (obésité, sédentarité, tabac...) tout en restant dans la catégorie des diabétiques.

Mais comme le souligne Jin-Tai Yu, neurologue à l'université de Californie, qui a lui aussi observé un lien inversé entre une courbe des maladies cardio-vasculaires qui monte et une courbe

une association positive ou négative a été établie avec la maladie d'Alzheimer. *"Il est très difficile de distinguer les facteurs les uns des autres, ils constituent un réseau complexe, une balance bénéfice/risque dynamique. Ce n'est donc pas un changement sur un ou plusieurs facteurs, mais un changement de tout le système qui influencera l'apparition*





# LA MÉTHODE SCIENTIFIQUE

RENFORCER LES LIENS ENTRE LA SCIENCE  
ET LES CITOYENS

NICOLAS MARTIN  
DU LUNDI AU VENDREDI  
16H - 17H



© RADIO FRANCE / CHRISTOPHE ABRAMOWITZ

en partenariat avec

**SCIENCE & VIE**

Écoute, réécoute, podcast  
[franceculture.fr](http://franceculture.fr)







SHUTTERSTOCK





# LA FIN DU NUCLEAIRE ?

## L'INDUSTRIE AU PIED DU MUR

Rien ne va plus pour le nucléaire français ! Après trente ans d'un règne sans partage qui a assuré à notre pays son indépendance énergétique, l'atome se révèle toujours plus complexe, lourd et coûteux. Surtout, trois difficultés majeures sont apparues que personne n'avait vues venir : la résistance défectueuse de l'acier des cuves des nouveaux réacteurs, le vieillissement des matériaux des centrales actuelles et le conditionnement insoluble du graphite des réacteurs les plus anciens. Les mois à venir diront si des solutions sont trouvées. Mais c'est bien l'avenir même de cette industrie qui est ici en jeu et, partant, le destin énergétique national. Pour le nucléaire français, voici venue l'heure de vérité.

PAR VINCENT NOUYRIGAT



**M**ardi 7 avril 2015, l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) révèle une anomalie "sérieuse" dans la cuve du premier réacteur EPR en construction à Flamanville; lundi 21 décembre 2015, EDF est exclu du CAC 40 au vu, entre autres, de la dégringolade du titre; lundi 7 mars 2016, le directeur financier d'EDF démissionne, jugeant trop risqué le projet nucléaire britannique d'Hinkley Point; jeudi 23 juin 2016, l'ASN indique que 18 réacteurs sont susceptibles d'être touchés par un défaut touchant l'acier de leur générateur de vapeur; mardi 8 novembre 2016, le Réseau de transport d'électricité (RTE) publie une note de prévision alarmiste sur l'approvisionnement électrique du pays cet hiver, suite à l'arrêt de nombreux réacteurs pour inspections urgentes, travaux ou avaries; jeudi 8 décembre 2016, le parquet de Paris ouvre une enquête concernant des pratiques qui mettent

en jeu la sûreté nucléaire au sein d'une usine Areva (lire encadré ci-dessous). Rien ne va plus! Et encore, on vous épargne le démembrement en cours d'Areva criblée de dettes, la fermeture imposée de la centrale de Fessenheim par le gouvernement, les travaux indispensables au vu de la catastrophe de Fukushima, et tous ces petits incidents plus ou moins inquiétants qui font le quotidien de l'énergie nucléaire – en 2015, le parc de réacteurs français a connu pas moins de 38 arrêts d'urgence et 18 départs d'incendie.

### LA SITUATION EST DEVENUE INTENABLE

La France nucléaire faisait jusqu'ici figure de forteresse imprenable, à peine dérangée par quelques organisations écologistes et des promesses politiques vagues ou intenable. Or, cette source d'énergie toute puissante essuie depuis deux ans une véritable avalanche de révélations édifiantes, de difficultés imprévues, de dossiers

toujours plus complexes et lourds à traiter. Du jamais vu. A la limite de la malédiction! *"La situation française n'est pas très réjouissante"*, euphémise Henri Paillère, analyste à l'Agence pour l'énergie nucléaire de l'OCDE.

Crise passagère ou prémices d'une révolution énergétique dans un pays ultradominé par l'atome? Chacun connaît les arguments du débat classique: d'un côté, ceux qui considèrent que l'atome offre une énergie décarbonée à un coût raisonnable, une garantie de stabilité et de puissance pour le réseau électrique et un risque somme toute minime au vu des problèmes sanitaires posés par la pollution de l'air liée aux énergies fossiles; de l'autre, ceux qui pensent que le nucléaire est fondamentalement dangereux, centralisateur et beaucoup trop coûteux – sans oublier les déchets radioactifs. Un débat sans fin.

Il n'empêche: les conditions ne sont plus réunies en France pour que le nucléaire s'épanouisse. *"Cette crise procède d'une conjonction totalement inédite de facteurs: citons la catastrophe de Fukushima, la pression exercée par les énergies renouvelables, l'effondrement du prix du CO<sub>2</sub>, la faible demande électrique sous l'effet de la crise économique, mais aussi des efforts d'efficacité énergétique..."* expose Patrice Geoffron, directeur du Centre de géopolitique de l'énergie et des matières premières.

Sur le plan économique, la situation du nucléaire tricolore devient intenable. La stagnation de la consommation électrique et l'afflux massif d'énergies renouvelables subventionnées ont en effet créé de fortes surcapacités de production. Résultat: les prix de l'électricité sur le marché européen ont atteint des niveaux beaucoup trop bas pour couvrir le coût des installations nucléaires – même amorties. Or, *"il n'existe pas de nucléaire low-cost, les réacteurs existants doivent prendre en compte les demandes toujours très exigeantes de l'Autorité de sûreté nucléaire"* ➔

## Des centaines d'irrégularités cachées aux autorités de contrôle

Depuis toujours, l'industrie nucléaire se targue d'être un secteur où les exigences de qualité sont maximales. Cette belle image rassurante est en train de se fissurer avec les dernières découvertes des inspecteurs de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) dans l'usine du Creusot Forge d'Areva (Saône-et-Loire).

Un audit dans les locaux de ce fabricant de grands composants a en effet permis, en mars 2016, de révéler l'existence de centaines de documents internes pointant des irrégularités et des anomalies de fabrication... jamais communiquées aux autorités de contrôle ni aux clients. Un exemple? Le certificat du générateur de vapeur installé sur le réacteur n°2 de Fessenheim, qui passe sous silence le fait que les forgeurs n'ont pas réussi à éliminer le bas de la pièce pourtant trop riche en impuretés – en fait, la pièce était trop courte. Ce réacteur a été arrêté le 13 juin dernier par précaution, et reste inutilisable jusqu'à nouvel ordre.

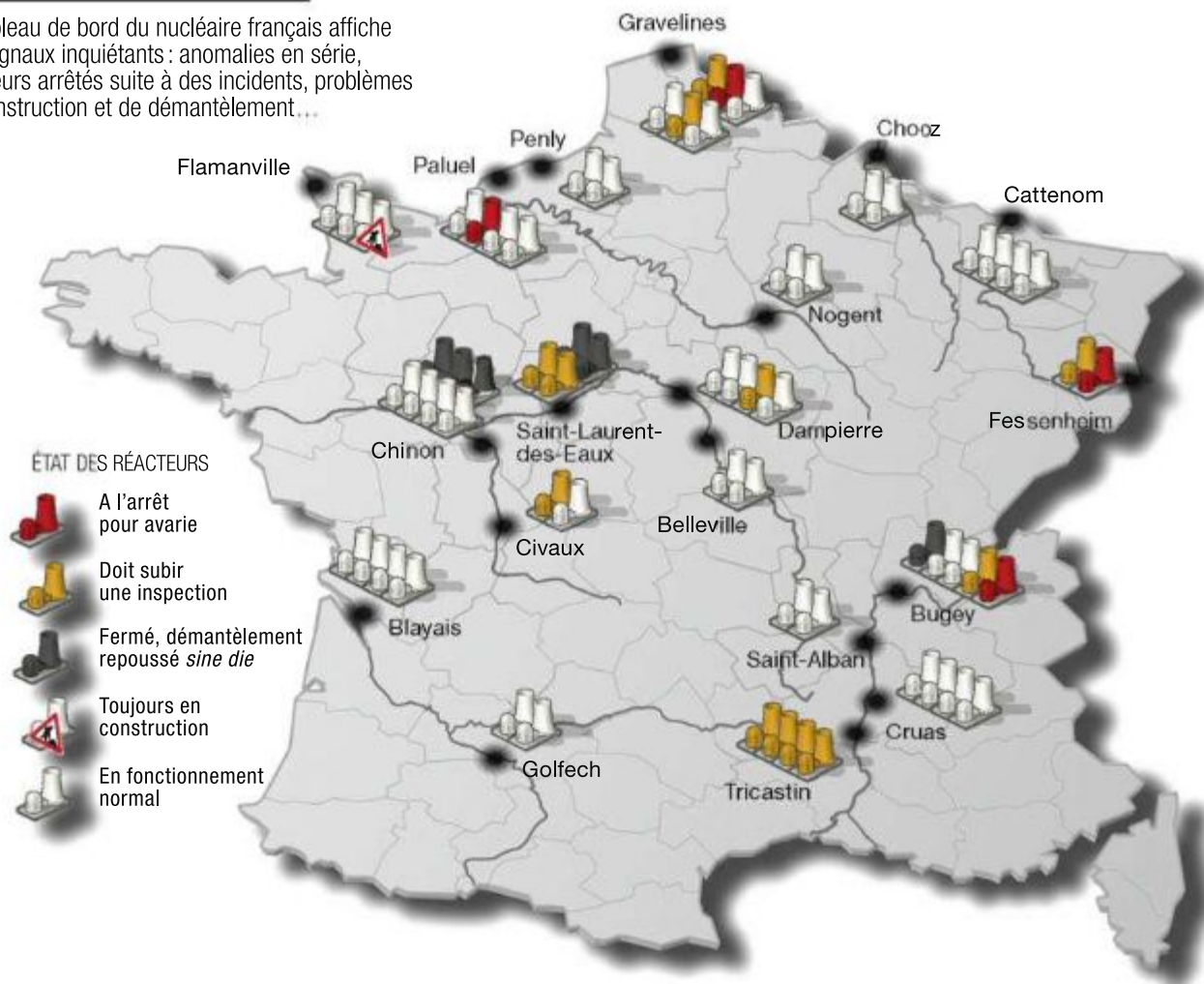
Mais il y a plus grave: certaines de ces non-conformités s'apparentent à des falsifications! Ainsi, le rapport sur un composant critique du réacteur n°5 de Gravelines envoyé aux contrôleurs contient des données techniques manifestement maquillées. L'ASN parle de *"pratiques inacceptables"* et entend éplucher tous les dossiers des cinquante dernières années. Des fantômes du passé pourraient alors ressurgir, aggravant encore le malaise nucléaire.



# Un parc nucléaire sous haute tension

## Les incidents se multiplient

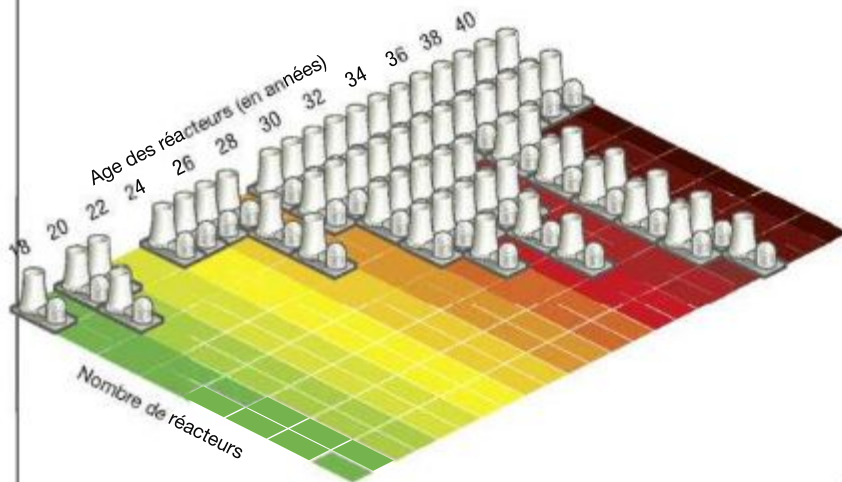
Le tableau de bord du nucléaire français affiche des signaux inquiétants : anomalies en série, réacteurs arrêtés suite à des incidents, problèmes de construction et de démantèlement...



M. KONTENTE

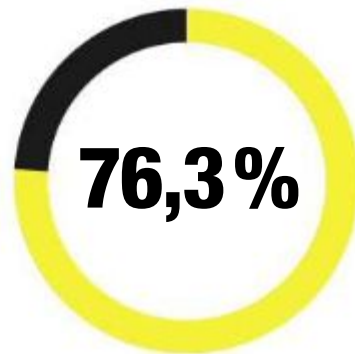
## Nos 58 réacteurs arrivent à un âge critique

Une grande partie des réacteurs en service va atteindre dans les prochaines années le cap des 40 ans de fonctionnement. Un âge auquel ils doivent subir un examen drastique pour la poursuite de leur exploitation.



## Notre électricité dépend toujours autant du nucléaire

Les centrales assurent toujours la base de la production électrique, laissant les autres sources (hydroélectricité, gaz, éolien, charbon, solaire) répondre aux fluctuations de la consommation.





## NUCLÉAIRE FRANÇAIS RIEN NE VA PLUS !



### Des exigences de sûreté devenues draconiennes

Depuis la catastrophe de Fukushima, les gendarmes français du nucléaire se sentent investis d'une responsabilité immense : plus aucun écart n'est toléré, quitte à bloquer la production d'électricité nationale.

française, tandis que le nouveau nucléaire, complexe, affichera des coûts élevés, indique Jacques Percebois, chercheur en économie de l'énergie (université de Montpellier). D'autant qu'EDF, endetté à hauteur de 37 milliards d'euros, se trouve aujourd'hui face à un mur d'investissements et se voit contraint de vendre certains de ses actifs". "Ces dernières années, la Suède et les Etats-Unis ont annoncé la fermeture ou l'arrêt anticipé de plusieurs réacteurs faute de rentabilité", signale Henri Paillère.

### VERS UN NOUVEAU RÉGIME ÉLECTRIQUE

Sur le plan politique, la situation est singulièrement floue. Ainsi la loi pour la transition énergétique, promulguée en août 2015, prévoyait dans son premier article de réduire à 50 % la part du nucléaire dans l'électricité vers 2025, contre 76 % aujourd'hui. Ce qui reviendrait a priori à fermer dans les années à venir entre 17 et 20 réacteurs, selon les récents calculs de la Cour des comptes. "Totalement irréaliste, à moins d'une catastrophe nucléaire !" éructe Jacques Percebois. Publiée le 28 octobre dernier, la programmation pluriannuelle de

l'énergie s'est voulue beaucoup plus évasive sur l'évolution du parc... En attendant la prochaine élection présidentielle. "Le nucléaire a besoin de certitudes parce qu'il exige des investissements de départ considérables ; or, il y a de moins en moins de garanties", signale Jan Keppler, spécialiste des coûts du nucléaire à l'université Paris-Dauphine.

"Nous sommes bien en présence d'un changement de régime électrique, pense Patrice Geoffron. Les atouts du nucléaire ne doivent pas être négligés, mais les futurs déploiements de réacteurs devront non seulement répondre à des normes de sûreté plus contraignantes, mais être également performants dans un environnement où le portefeuille des technologies non carbonées s'étendra... Pas simple."

### La nouvelle concurrence des énergies vertes

Portées par la loi sur la transition énergétique et de précieuses subventions, les capacités de production éolienne ont augmenté en 2015 de 11 %, tandis que le photovoltaïque progressait de 17 %. De nouveaux concurrents de moins en moins marginaux.

Le début de la fin ? Les dizaines de milliers d'ingénieurs français du nucléaire n'ont sans doute pas dit leur dernier mot. "Le nucléaire reste l'obsession de la direction d'EDF, qui resserre actuellement les rangs autour de l'atome alors que les énergies renouvelables sont toujours classées dans la catégorie 'Autres activités' du document de référence de l'électricien", cingle Gérard Magnin, ancien membre du conseil d'administration d'EDF.





## Une équation économique intenable

La construction du réacteur EPR devrait coûter plus de 10 milliards d'euros! Cette nouvelle génération nucléaire s'accorde mal avec les actuels prix bas de l'électricité; la demande européenne stagne grâce aux gains d'efficacité énergétique.

## Areva et EDF, les géants du nucléaire français dans la tourmente

Premier opérateur nucléaire mondial, EDF est fragilisé par une dette de plus de 37 milliards d'euros. A la dérive depuis plusieurs années, Areva est en plein démantèlement.



Après trente ans d'un règne sans partage, l'avenir du nucléaire en France devrait se jouer dans les mois à venir autour de trois grands défis techniques: parvenir à mettre en service le réacteur EPR de Flamanville; prolonger la durée de vie des 58 réacteurs existants jusqu'à soixante ans, au lieu de l'hypothèse initiale de quarante

ans; et, enfin, solder le lourd héritage nucléaire, entre vieux réacteurs à démanteler et déchets à stocker.

Trois défis redoutables qui occupent actuellement, jour et nuit, les techniciens d'EDF. Avec le sentiment que tout se joue maintenant.

L'heure de vérité pour le nucléaire français...

## L'incertitude politique

La politique énergétique manque de clarté: fermeture de Fessenheim, démarrage de Flamanville, diminution de la part du nucléaire de 76 à 50% vers 2025... à moins que cela ne remette en cause la sécurité de notre réseau électrique.



# 1 NOUVEAU RÉACTEUR EPR

## UN GRAVE DÉFAUT DANS LA CUVE

**S**ix années de retard, sept milliards d'euros de dépassement de budget, des mal-façons en pagaille... Devenu au fil des ans le symbole des pires dérapages industriels, le chantier du premier réacteur EPR en France, à Flamanville (Manche), est enfin sur le point d'être achevé.

Hourra? Pas si vite: l'incertitude demeure encore et toujours sur le démarrage de ce nouveau modèle, qui devait incarner le renouveau de l'atome après la catastrophe de Tchernobyl, puis celle de Fukushima. Cette petite "merveille" est en effet dotée de nouveaux systèmes redondants censés éviter une fusion du cœur nucléaire, ainsi que de structures inédites permettant d'empêcher toute fuite massive de radioactivité dans l'environnement, tout en étant capable de fournir en électricité 1,5 million de personnes grâce à sa capacité de 1 650 MW – contre 900 à 1 450 MW actuellement. Une machine puissante et sûre – du moins, sur le papier –, destinée à remplacer à terme tous les réacteurs français actuels et à assurer la pérennité de l'énergie nucléaire dans notre pays.

### L'ÉLÉMENT LE PLUS CRITIQUE

Oui, mais voilà: le 7 avril 2015, l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) révélait l'existence d'une anomalie dans la composition de l'acier du fond de la cuve du réacteur. Un défaut rédhibitoire? L'analyse du dossier est toujours en cours, et le verdict devrait tomber dans les prochains mois. *"Il y a un vrai suspense, nous jugeons que cette anomalie est sérieuse"*, lance



△ Forcée à l'usine Creusot Forge d'Areva à partir de 2006, la cuve souffre d'une importante anomalie due à la méthode employée pour le refroidissement.

Rémy Catteau, directeur des équipements sous pression à l'ASN. Chez les cadors de l'atome, le malaise est profond: Areva a repoussé nos demandes réitérées d'entretien, et EDF a choisi de rester muet sur le sujet.

De fait, les spécialistes de la sûreté ont de quoi être choqués: cette cuve de 510 tonnes est l'élément le plus critique du réacteur, le cœur même du système où est confiné, refroidi et maîtrisé le combustible radioactif en fission. Pour tout dire, la rupture de ce composant n'est même pas envisagée dans les études de sûreté, l'événement étant considéré comme impensable. Les textes réglementaires exigent en effet une fabrication au plus haut niveau de qualité.

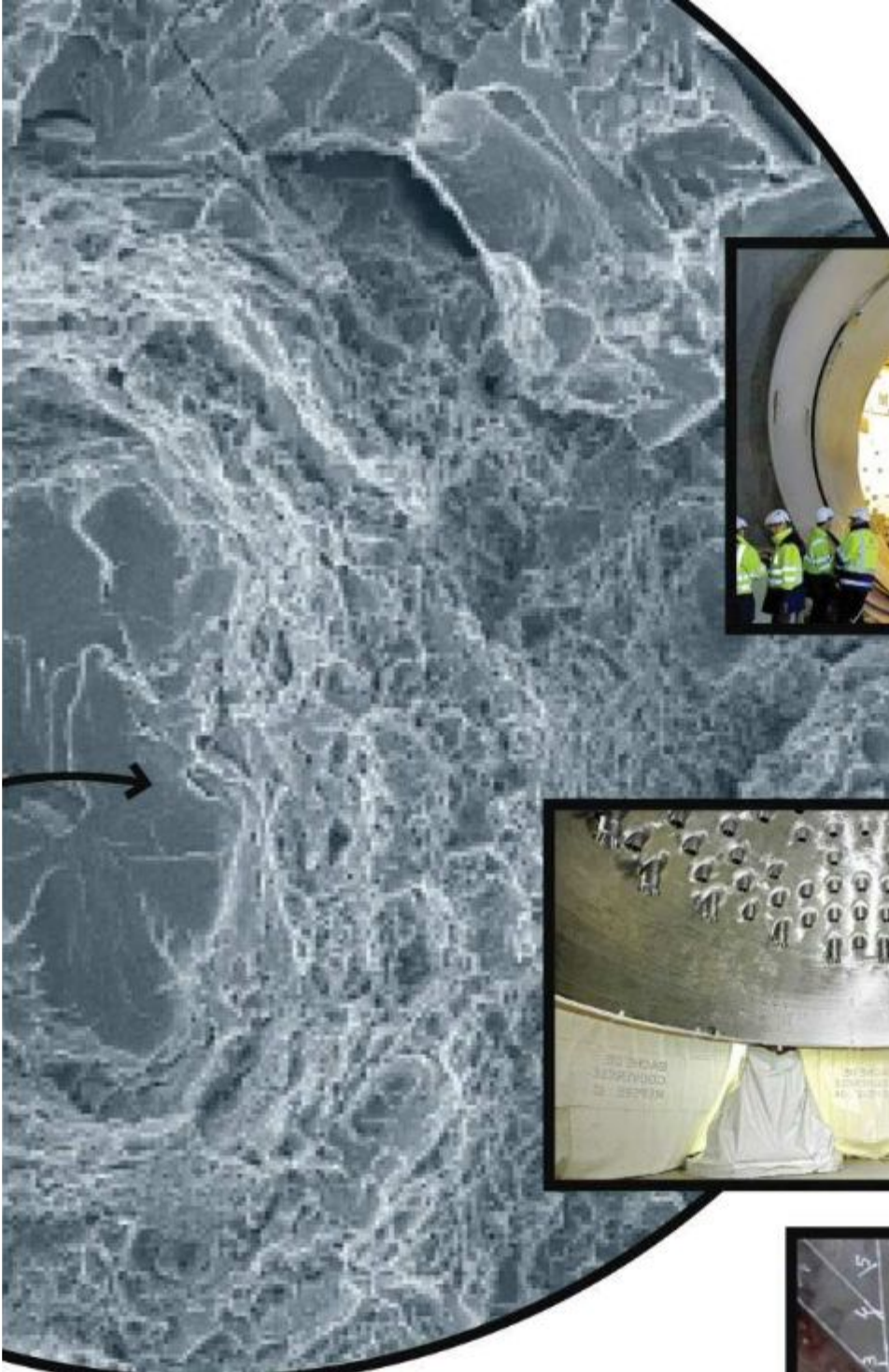
Or, ce n'est manifestement pas le cas pour ce réacteur nouvelle génération de Flamanville! Le problème: un excès de carbone dans la partie basse de la cuve, susceptible de

### Des impuretés dans l'acier

Fin 2014, les experts ont découvert, dans la partie basse de la cuve de l'EPR de Flamanville en construction, un excès de carbone qui rend les parois d'acier moins résistantes à la propagation des fissures, et donc plus vulnérables à la rupture. Un phénomène pourtant archiconnu...

perturber les propriétés mécaniques locales. Trop de carbone dans un acier réduit en effet sa résistance à la propagation des fissures: le matériau devient moins tenace et moins résilient. En témoignent les essais réalisés en septembre 2014 par les ingénieurs d'Areva sur deux jeux de trois





^ Début 2014, les équipes d'EDF, visiblement mal informées, soudent la cuve défectueuse à l'intérieur du réacteur.



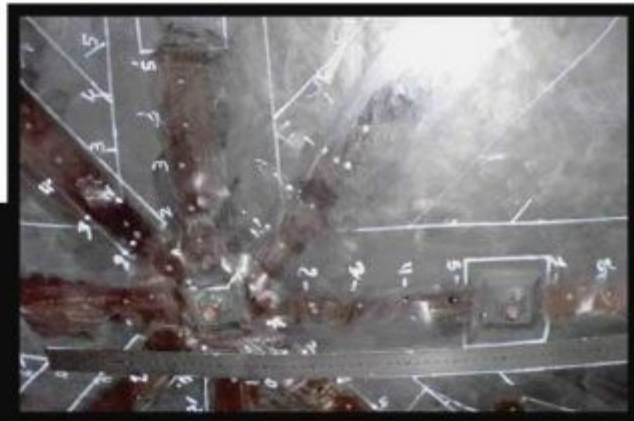
< La découverte, quelques mois plus tard, de l'anomalie est un choc : il semble inenvisageable d'extraire la cuve de l'EPR pour la remplacer.

éprouvettes : la capacité d'absorption des chocs sans rupture était en moyenne 14 % inférieure à la valeur de référence, voire 40 % en dessous sur certains échantillons...

L'apparition de telles impuretés est pourtant un phénomène classique, archiconnu des métallurgistes. *“Durant la solidification du métal, le carbone a tendance à s'accumuler dans la phase liquide... si bien que les parties qui se solidifient en dernier ont tendance à avoir une concentration*

> Les experts multiplient désormais les essais mécaniques sur des pièces équivalentes pour évaluer le niveau de risque.

*en carbone plus élevée”,* éclaire Clément Lemaignan, chercheur en science des matériaux au CEA. Preuve que la fabrication de la cuve de l'EPR, débutée en 2006 à l'usine Creusot Forge (Saône-et-Loire), est loin d'avoir été irréprochable.



Plusieurs rapports ont déjà été publiés sur ce raté, et tous concluent qu'Areva et son fournisseur n'ont pas su choisir la meilleure technique de forgeage disponible. L'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) parle même



ouvertement de *“régression technique”* par rapport aux composants du parc existant. Pis : l’ASN avait déjà plusieurs fois pointé, et ce dès 2006, le risque de ces hétérogénéités auprès d’Areva... sans susciter la moindre réaction. Au moment de fabriquer cette cuve aux dimensions inédites, le champion français ne semble même pas avoir entrepris d’analyse comparative des différentes méthodes possibles. *“Les techniques*

hésité à sacrifier deux gros composants – destinés à l’origine aux marchés américains et anglais – souffrant des mêmes maux pour leur faire subir des essais mécaniques dévastateurs ; 1 600 échantillons auraient été prélevés et testés, soit plus que lors des études menées pour les 58 réacteurs actuels. Leur intention : convaincre les autorités que cette cuve aura suffisamment de marge de sécurité pour assurer soixante ans de

Alors, démarrera, démarrera pas ? Aux dernières nouvelles, l’électricien national s’affiche étrangement confiant. Ses ingénieurs n’envisagent aucun autre scénario qu’un feu vert complet... Quand bien même les autorités leur ont demandé de préparer des solutions alternatives.

## UNE NOUVELLE FORMULE À L’ÉTUDE

Les “champions” de l’atome peuvent bien fanfaronner, l’avenir de l’EPR en tant que tel paraît compromis. Construire en série de tels monuments de complexité semble hors d’atteinte – les très grands instruments scientifiques ont au moins l’avantage d’être uniques. Un signe qui ne trompe pas : depuis plusieurs mois, les équipes d’EDF travaillent sérieusement sur une nouvelle formule d’EPR, baptisée EPR NM (nouveau modèle)... Un nom encore provisoire. *“Au vrai, plus personne ne veut entendre parler de ces initiales ni de cette marque à l’image déplorable”*, souffle Gérard Magnin, ancien membre du conseil d’administration d’EDF.

Objectifs de cette nouvelle mouture : simplifier le design et améliorer la constructibilité, pour accélérer les cadences et réduire les coûts de production par rapport au spécimen actuel. Seulement, *“personne ne peut dire quel sera l’état de la concurrence avec les énergies renouvelables pour ces futurs réacteurs qui fonctionneront jusqu’à la fin du siècle”*, signale Patrice Geoffron, directeur du Centre de géopolitique de l’énergie et des matières premières. *“De notre côté, nous attendons que ce nouveau modèle soit encore plus sûr, avertit Sylvie Cadet-Mercier. L’EPR apporte de réelles améliorations de sûreté, néanmoins il existe des pistes de progrès sur certaines situations accidentelles. La question est de trouver comment améliorer la sûreté tout en abaissant les coûts !”*

Un défi redoutable qui hantera le nucléaire pendant les décennies à venir... s’il y survit.

## Ailleurs, les nouveaux réacteurs se vendent bien

L’EPR français, dont deux exemplaires ont été vendus récemment au Royaume-Uni, n’est pas le seul en lice sur le marché mondial – un marché stimulé surtout par l’Asie, avec au moins vingt réacteurs en construction en Chine, et six en Inde. D’autres réacteurs de nouvelle génération, c’est-à-dire tenant compte des accidents de fusion, sont proposés : les Américains ont développé l’AP1000, les Russes vendent déjà leur VVER1200 et les Chinois préparent l’ACP1000 (appelé aussi Hualong One). *“Il ne faut pas se tromper, ce sont des machines très sûres. Les réacteurs russes et chinois disposent même d’un récupérateur de corium, comme l’EPR”*, fait remarquer Henri Paillère, de l’agence pour l’énergie nucléaire à l’OCDE. Cependant, ces réacteurs rencontrent eux aussi des difficultés. C’est le cas notamment des premiers exemplaires de l’AP1000, qui accusent deux ans de retard et enchaînent les problèmes de conception.

*qui permettent de s’affranchir de cette ségrégation de carbone existent pourtant bel et bien, regrette Rémy Catteau. Le forgeron japonais qui a conçu la cuve de l’EPR finlandais n’a pas rencontré ces problèmes.”*

De façon tout aussi étonnante, ces anomalies n’ont été détectées et signalées que huit ans après le début de la fabrication. Pendant ce temps, l’opérateur EDF, visiblement mal informé, introduisait le composant défectueux au sein du réacteur puis le soudait fermement aux circuits nucléaires. Autant de signes d’une filière nucléaire tricolore à la dérive...

EDF et Areva tentent désormais de rattraper le coup, désireux de démontrer que, malgré cette anomalie embarrassante, leur cuve reste bonne pour le service. Areva n’a pas

fonctionnement normal et, surtout, faire face à n’importe quelle situation accidentelle. Le risque le plus sérieux ? Celui d’un choc thermique, qui pourrait mener à une rupture de la cuve. Exemple : en cas de défaillance du circuit de refroidissement, les systèmes injectent brutalement de l’eau froide pour recouvrir le combustible brûlant. *“Il leur faudra aussi analyser le cas moins classique des ‘chocs chauds’, à l’occasion par exemple d’une soudaine montée en température dans le fluide du circuit primaire lors d’un accident, souligne Sylvie Cadet-Mercier, directrice des nouveaux réacteurs à l’IRSN. EDF et Areva vont devoir nous convaincre. Il ne faudrait pas que les marges de sécurité existantes disparaissent en raison de cette anomalie.”*



## Chronique d'un chantier cauchemardesque

L'EPR de Flamanville s'est révélé très difficile à construire. D'autant que les entreprises mobilisées ne savaient plus répondre aux exigences de qualité requises, faute de grand chantier nucléaire en France depuis le milieu des années 1990.

### 2008 L'enceinte métallique est mal soudée

Les autorités de sûreté détectent de nombreux défauts dans les soudures de la paroi métallique garantissant l'étanchéité du bâtiment réacteur. Ces défauts, dus à une mauvaise ergonomie du poste de soudage, vont perdurer pendant deux ans.

### 2008 Des bétons sont mal coulés

Dès le début du chantier et le coulage des premiers bétons, les malfaçons se multiplient : ferrailage mal réalisé ou absent, béton trop fissuré, trop hétérogène ou mal séché (car coulé par temps de pluie).

### 2015 Une soupape de sécurité est mise en cause

La conception de la soupape de sûreté chargée d'éviter toute surpression, et donc une rupture de la cuve, fait l'objet de violents débats entre les autorités et EDF. Depuis, les essais réalisés sur place ont mis en évidence des pertes d'étanchéité et des risques de dysfonctionnements. A ce jour, le problème n'est toujours pas résolu.

### 2012 Des consoles en acier sont jugées inaptes

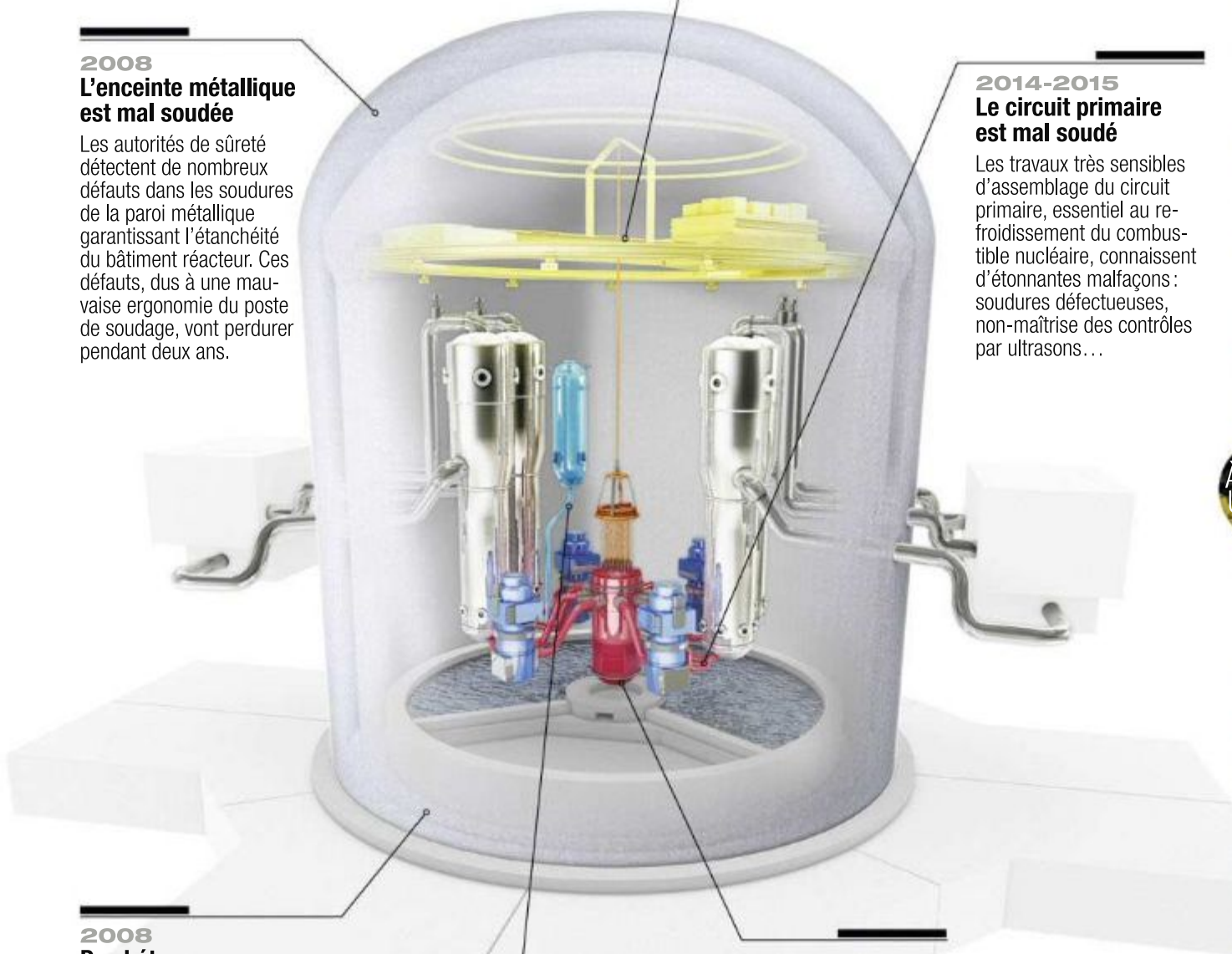
EDF et ses sous-traitants détectent de sérieux défauts dans l'acier des 45 consoles soutenant le pont polaire, chargé de soulever entre autres le combustible. Les travaux sont interrompus, et l'électricien est obligé d'arracher ces pièces pour les remplacer.

### 2014-2015 Le circuit primaire est mal soudé

Les travaux très sensibles d'assemblage du circuit primaire, essentiel au refroidissement du combustible nucléaire, connaissent d'étonnantes malfaçons : soudures défectueuses, non-maîtrise des contrôles par ultrasons...

### 2014 Des anomalies sont détectées au cœur du réacteur

Les ingénieurs découvrent un excès de carbone dans les parois de la partie basse de la cuve (une teneur de 0,3 % au lieu d'une valeur cible de 0,22 %). Or, le moindre écart sur ce composant critique pose de lourdes questions. Le verdict des autorités de sûreté devrait tomber d'ici à juin 2017.



À LA UNE



## 2

## PROLONGEMENT DES RÉACTEURS ACTUELS

## DES TRAVAUX FARAMINEUX EN PERSPECTIVE

L'ambiance promet d'être électrique. A coups de dizaines de milliers de pages de rapports techniques et de réunions jusqu'au bout de la nuit, EDF va devoir convaincre les autorités que ses 58 réacteurs sont capables de fonctionner pendant soixante ans au lieu des quarante initialement prévus, sans risquer le moindre accident.

Et le temps presse: les plus anciens spécimens sont sur le point d'atteindre le cap des quarante ans d'activité, âge fatidique auquel le gendarme nucléaire impose de lourdes adaptations et un examen approfondi et... éliminatoire! Or, derrière les doyens de Fessenheim, de Tricastin ou du Bugey, des dizaines d'unités d'âge très rapproché devront faire leurs preuves. Sans quoi EDF sera sommé de les fermer les unes après les autres, au risque de priver brutalement la France d'une part critique de son électricité – et EDF de ses revenus.

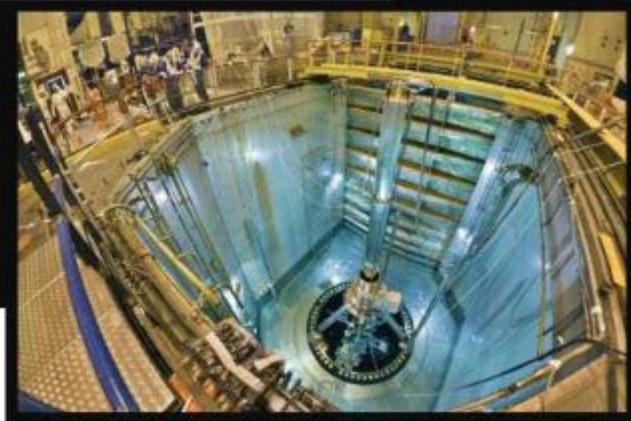
## DEUX COMPOSANTS TRÈS SENSIBLES

“Nos demandes sont très ambitieuses”, prévient tout de suite Anne-Cécile Rigail, directrice des centrales nucléaires à l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN). Mais encore? L'électricien doit prouver qu'il maîtrise le vieillissement de tous les composants de ses usines à fission, tenir compte de l'évolution des connaissances et des pires retours d'expérience comme Fukushima et, enfin, aligner ses centrales sur les exigences



Les chercheurs vérifient que le béton des enceintes des réacteurs présente un minimum de fissures: sans quoi, il ne serait plus capable de bloquer les rejets radioactifs en cas d'accident.

La cuve doit être inspectée de fond en comble afin de détecter la moindre amorce de défaut sur les parois ou le plus minime début de fragilisation de l'acier.



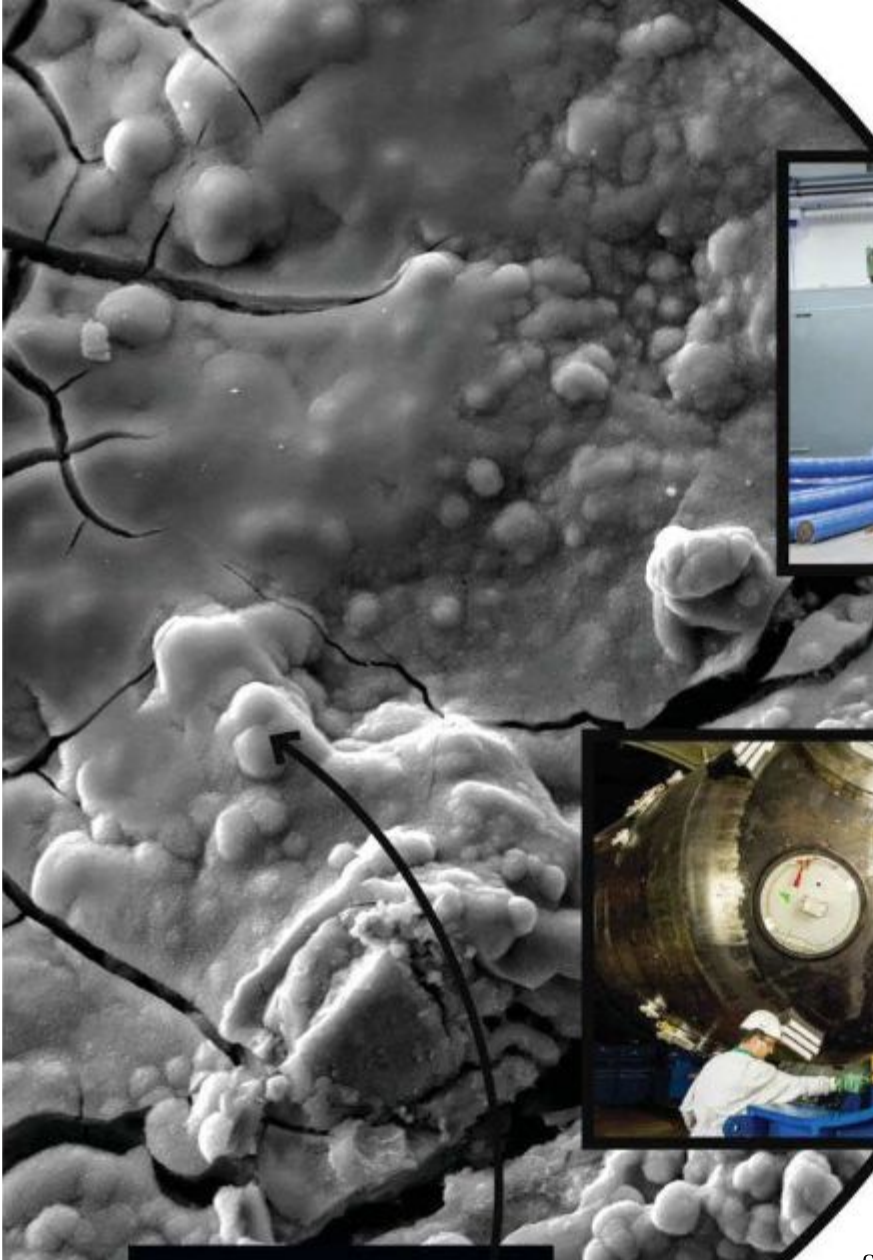
de sûreté appliquées aux nouveaux réacteurs comme l'EPR.

Le chantier, baptisé “Grand Carénage”, s'annonce gigantesque. EDF envisage environ un milliard d'euros de travaux de rénovation pour chacun de ses réacteurs, soit l'équivalent de 100 km d'autoroute ou de ligne TGV. “Le volume d'études est beaucoup plus

important que lors des précédentes grandes visites effectuées tous les dix ans”, reconnaît Etienne Dutheil, responsable de ce chantier chez EDF. Car cela n'a rien d'une formalité.

“Pour certains matériels, l'hypothèse initiale de durée de vie était de quarante ans, relève Thierry Charles, directeur adjoint de l'Institut de radioprotection





## Un béton qui se fissure

Dans les plus vieilles centrales françaises, le béton de certaines enceintes de confinement présente des risques de fissures et pourrait ne plus être étanche. Mais l'évolution de nombreux autres matériaux (aciers, polymères...) doit aussi être suivie de près pour éviter tout incident à venir.

et de sûreté nucléaire (IRSN). *Cela ne veut pas dire qu'ils ne peuvent pas aller au-delà, mais il faut apporter une solide démonstration qu'ils pourront fonctionner soixante ans, ou que l'on saura les remplacer à temps.* En l'occurrence, deux composants irremplaçables et hautement critiques n'ont d'autre choix que de rester parfaitement



^ Certains câbles électriques sont très difficiles d'accès : les ingénieurs doivent donc anticiper les effets de l'irradiation sur leur isolant en polymères.



< Les composants en fin de vie devront être extraits et remplacés, même s'il s'agit de générateurs de vapeur hauts d'une dizaine de mètres.

fonctionnels : la cuve et l'enceinte.

Rien de plus simple que d'entretenir une enceinte en béton ? Erreur : *"La prédiction du comportement du béton précontraint sur du très long terme et les mécanismes physico-chimiques à l'origine des pathologies qu'il développe nécessitent encore des recherches"*, indique Farid Benboudjema, professeur en génie civil à l'Ecole normale supérieure. Ces maladies du béton, à l'origine de fissures et de pertes de résistance, sont aussi peu désirables sur une enceinte de confinement de réacteur que sur un barrage hydraulique (voir infographie p. 55). Or, plusieurs réacteurs comme ceux de Civaux, Belleville, Cattenom ou Flamanville montrent déjà des signes de dégradation, au point de nécessiter

sur certaines zones de grosses rustines en fibre de verre recouvertes de résine. La situation est encore plus inquiétante pour le réacteur n° 5 du Bugey : *"L'essai d'étanchéité réalisé par EDF à l'été 2015 montre un taux de fuite qui s'aggrave, raconte Anne-Cécile Rigail. Nous avons demandé l'arrêt du réacteur. Le problème est toujours en cours de traitement : à ce jour, le rapport technique sur cette seule enceinte fait plus de 2000 pages."* Preuve que le sujet est devenu sensible, l'électricien inaugurerait le 1<sup>er</sup> juin dernier une maquette en béton de 5000 tonnes pour entreprendre des essais de vieillissement accéléré.

Et la cuve, alors ? Les parois de cette marmite un peu spéciale, qui contient le combustible en fission, subissent de violents bombardements neutroniques susceptibles de fragiliser l'acier. Alarmant ? *"A priori, il n'y a pas d'inquiétude particulière"* ➔

À LA UNE



sur les cuves du parc”, estime Thierry Charles. Pour qu’il atteigne l’âge canonique de 60 ans, EDF compte bien bichonner ce composant essentiel : ainsi, de nouveaux plans de chargement des crayons de combustible permettront d’atténuer les flux de neutrons.

Toutes ces petites attentions devront être portées à d’innombrables pièces sensibles au vieillissement : les coudes en acier austéno-ferritique moulé du circuit primaire, les câbles électriques très difficiles d’accès, les recoins des générateurs de vapeur, les moteurs électriques d’ultime secours... *“Il faut pouvoir anticiper les effets du vieillissement, EDF ne peut pas attendre que des problèmes se déclenchent partout, tance Anne-Cécile Rigail. Certaines zones n’ont pas été inspectées depuis quarante ans, on attend de l’opérateur un contrôle très complet.”*

## DES QUERELLES D’EXPERTS

Mais toutes ces prouesses sont loin d’être suffisantes. Pour fonctionner au-delà de quarante ans, ces 58 réacteurs ne doivent pas seulement rester en bon état : ils doivent améliorer encore et toujours leurs performances de sûreté. Un défi autant qu’une nécessité pour ces machines pensées dans les années 1950-1960 : *“Leur conception initiale n’a pas pris en compte la possibilité d’un accident grave de fusion du combustible, jugé alors impossible”,* soulève Thierry Charles.

Depuis Fukushima, les autorités de sûreté exigent de ces centrales et de leurs systèmes de sécurité une résistance à toute épreuve : tornades de 300 km/h, foudre, canicule, grand froid, tempêtes géomagnétiques, crue multimillénaire, séisme le plus puissant des vingt mille dernières années...

Inutile de le cacher, ces travaux de renforcement ne se font pas toujours dans un parfait esprit de concorde. *“Les échanges avec EDF sur les calculs du risque sismique sont toujours très tendus”,* confie Anne-Cécile Rigail. Les autorités ont demandé dernièrement à l’électricien de mieux caractériser certaines failles et de reprendre

## Ce nucléaire qui vieillit mal

A La Hague, le temps est compté. Areva a relevé, en décembre 2015, une corrosion plus rapide que prévu d’un système de traitement du combustible irradié ; à ce rythme, certaines zones très dégradées pourraient céder dès 2018 en cas de montée en pression ou de séisme. Or, *“cette ligne voit passer l’ensemble des combustibles du parc français”,* s’inquiète Christophe Kassiotis (ASN). Autres exemples de vétusté : le réacteur Osiris a été fermé en décembre 2015 (son enceinte de confinement ne répondait plus aux normes) ; deux réacteurs expérimentaux au centre CEA de Cadarache sont pointés du doigt ; le site de fabrication de combustible de Romans-sur-Isère serait aussi sur la sellette...

l’estimation du séisme historique à proximité de certaines centrales – leur travail n’est pas clair pour celles de Cruas, Tricastin, Blayais et Chinon. *“Nous avons surtout des divergences sur la prise en compte des ‘effets de site’, c’est-à-dire le phénomène d’amplification des ondes sismiques dans certaines configurations de terrain”,* signale Thierry Charles. Sept centrales sur dix-neuf sont concernées par cette querelle d’experts.

L’objectif final des autorités est de s’approcher le plus possible des caractéristiques du nouveau réacteur EPR. Un réacteur qui a été conçu spécifiquement pour limiter au maximum, dans le temps et l’espace, les conséquences radiologiques d’un accident grave – les populations alentour ne devraient même pas être évacuées. Tout a été prévu au sein de l’EPR, à l’image du récupérateur de combustible en fusion situé sous la cuve... Rien de tout cela n’existe sur les 58 réacteurs actuels, où le magma ultrabrûlant et radioactif pourrait allègrement percer le plancher. EDF a récemment proposé d’établir sous la

cuve un local destiné à étaler et refroidir ce corium, le tout associé à un système de refroidissement sophistiqué de l’enceinte pour éviter les montées en pression et les fuites vers l’extérieur. *“Le principe nous convient, reste à voir si ces aménagements importants sont concrètement possibles, souffle Thierry Charles. Et si ce n’est pas convaincant ? Cela pourrait être un point noir...”* Ces belles intentions trouvent parfois leurs limites face à des structures trop obsoètes, comme la piscine dédiée aux combustibles usés : quoi que l’on fasse, elle *“est et restera en décalage notable avec les principes de sûreté”* des nouveaux réacteurs, selon l’ASN.

*“Evidemment, il n’est pas possible de transformer ces réacteurs en EPR, consent Etienne Dutheil, même si l’on vise les mêmes objectifs de sûreté.”* A quel prix ! Des patchs, des renforts, des systèmes improvisés... Au risque d’atteindre des niveaux de complexité ingérables. *“La maîtrise de la complexité est un vrai sujet, reconnaît le responsable d’EDF. Nous tenons compte des effets de ces modifications sur le fonctionnement du réacteur ainsi que sur les procédures de pilotage.”*

Cette complexité touche aussi les ouvriers, soudeurs ou robinetiers de haute volée, qui devront rajeunir ces réacteurs en quatre mois chrono. *“Ils devront être très doués pour y parvenir, c’est très lourd”,* note Bertrand Barré, ancien conseiller technique chez Areva. Anne-Cécile Rigail fait la moue : *“EDF a rencontré beaucoup de difficultés lors de récents travaux : sur le réacteur n° 2 de la centrale de Paluel, un générateur de vapeur de plus de 400 tonnes est tombé lors de son retrait ! Cela pose des questions de maîtrise des activités sous-traitées lors de ces visites décennales, où il est parfois difficile de déterminer qui fait quoi.”* En 2015, 198 événements significatifs pour la sûreté étaient liés à un problème de maintenance. *“Nous avons mis une nouvelle organisation en place pour planifier très finement ces travaux !”* se défend Etienne Dutheil.

Il y a comme de l’électricité dans l’air.



# 5 points faibles qui inquiètent

Si EDF veut prolonger la durée de vie de ses réacteurs au-delà de quarante ans, il doit pouvoir maîtriser le vieillissement de l'ensemble de leurs composants et mettre à jour leurs systèmes jugés caducs. Certains défauts pourraient pourtant bien être rédhibitoires.

## Une enceinte de béton vieillissante

Cette paroi en béton – augmentée d'acier pour certains réacteurs – assure l'étanchéité du réacteur en cas d'accident. Or, le béton est un matériau qui évolue : il gonfle, se relâche ou développe des maladies. Aussi plusieurs enceintes du parc vieillissent-elles mal, ce qui inquiète les autorités de sûreté.

## Une cuve bombardée par les réactions nucléaires

Les parois de cette marmite de plus de 300 tonnes subissent constamment l'impact des neutrons issus des réactions de fission : la structure atomique de l'acier est déstabilisée et, au fil du temps, le matériau devient plus sensible à la rupture. Bien que suivi de près, ce phénomène pourrait réserver, à terme, de mauvaises surprises.

## Une piscine de combustible usé mal protégée

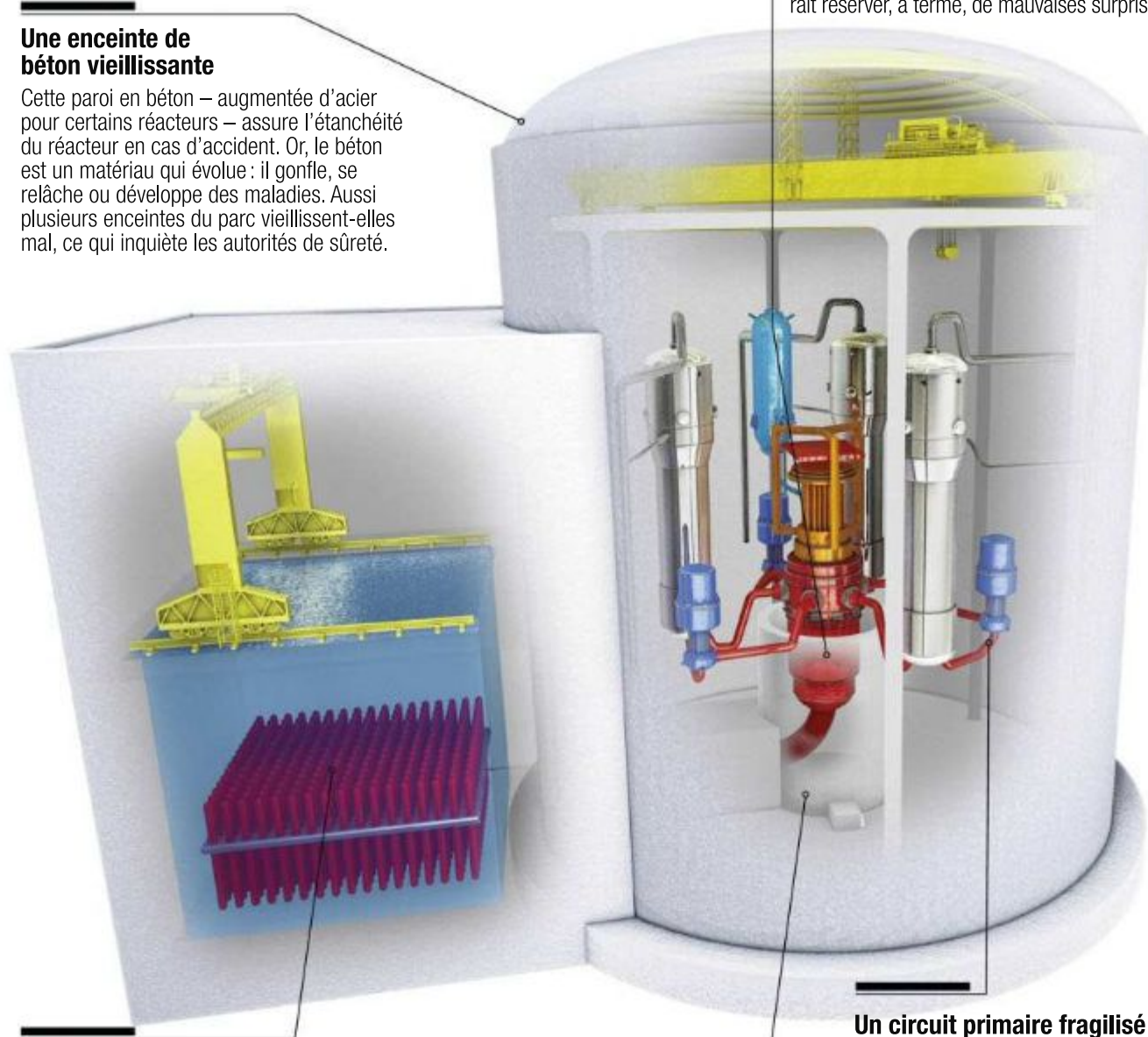
C'est ici que repose le combustible dont on vient d'exploiter les réactions de fission : ces nombreux cœurs usés sont très radioactifs et nécessitent d'être refroidis pour ne pas risquer d'entrer en fusion. Les bâtiments actuels sont très mal protégés contre les agressions extérieures, et les moyens d'alimentation en eau et en électricité sont jugés insuffisants.

## Un réceptacle pour combustible en fusion qui reste à inventer

Si les systèmes de refroidissement viennent à défaillir, le combustible entre en fusion et il est probable qu'il transperce la cuve et attaque le plancher en béton. A l'origine, aucun dispositif n'a été prévu sur nos réacteurs pour recueillir ce magma brûlant et corrosif, l'étaler et le refroidir. EDF va devoir inventer puis mettre en place un système dans ces zones difficiles d'accès et irradiées.

## Un circuit primaire fragilisé

Ces tuyaux acheminent de l'eau borée vers le combustible nucléaire pour modérer la réaction en chaîne et évacuer la chaleur émise : la moindre brèche peut avoir des conséquences catastrophiques. Or, plusieurs zones (coudes, zones de mélange) supportent mal ces contraintes thermiques répétées.



À LA UNE



# 3 DÉMANTÈLEMENT DES VIEUX RÉACTEURS

## UN HÉRITAGE INGÉRABLE



^ EDF vient d'abandonner l'extraction sous eau des assemblages de graphite. Trop compliqué. Il faudra intervenir à l'air libre.

**L**a nouvelle a fait l'effet d'une douche froide: le 29 mars dernier, en pleine réunion avec les autorités de sûreté, un représentant d'EDF annonçait tout de go que l'électricien reporterait de plusieurs décennies le démantèlement de ses six réacteurs graphite-gaz issus du premier programme nucléaire français dans les années 1950.

Motif de cette rebuffade: la technique de déconstruction étudiée depuis maintenant quinze ans s'avère finalement trop difficile à mettre en œuvre! *"Nous avons été surpris, nous n'avons reçu aucune indication à ce sujet, aucune note préliminaire..."*, témoigne Christophe Kassiotis,

directeur des déchets à l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN).

L'annonce marque un complet revirement de situation. En avril 2001, le champion tricolore s'était formellement engagé au démantèlement complet et le plus rapide possible de ces vieux réacteurs, dont le dernier a été arrêté en 1994. Cette stratégie de démantèlement "immédiat" était même devenue depuis un principe fort, inscrit jusque dans le code de l'environnement (article L593-25). Une doctrine qui s'appuie sur la volonté largement partagée de ne pas faire peser le poids de ces lourdes opérations sur les générations futures, de pouvoir s'assurer la disponibilité

de fonds financiers mais aussi d'éviter les dangers inhérents au vieillissement de ces infrastructures. C'est pourquoi ces six monstres radioactifs implantés à Chinon, à Saint-Laurent-des-Eaux et au Bugey devaient totalement disparaître à l'horizon 2036; une promesse qui laisse rêveur quand on sait que le nouvel échéancier d'EDF s'avance désormais vers... le début du **XXII<sup>e</sup>** siècle.

Le coup est rude pour toute une communauté nucléaire soucieuse d'entretenir l'image d'une industrie capable de gérer et maîtriser sereinement le devenir de ses anciennes installations et de ses déchets radioactifs.



## Le casse-tête du graphite

Les réacteurs français de première génération contenaient des milliers de tonnes de graphite désormais irradiés. Or, malgré quinze ans d'études, EDF peine toujours à trouver une solution pour extraire puis traiter ce matériau.

CANADA CARBON INC. - NRC - O. METZGER - B. CONTY

Pourquoi un tel fiasco? Le moins que l'on puisse dire, c'est que les concepteurs de ces antiques réacteurs graphite-gaz n'ont pas pensé une seconde à leur démantèlement futur. "Leur cœur est très massif, compact et intriqué, chaque réacteur compte en moyenne 2000 tonnes de graphite sous forme de dizaines de milliers

de briques qu'il faudra possiblement retirer une à une", témoigne Estelle Desroches, à la direction projets déconstruction et déchets chez EDF.

### LE GRAPHITE, "UNE VRAIE VACHERIE!"

Or, ce graphite, qui servait de modérateur des réactions de fission, a été abondamment irradié: il est aujourd'hui bourré de tritium, de carbone 14 mais aussi de chlore 36, dont la demi-période radioactive s'élève à 300 000 ans. Ce qui en fait un déchet très spécial: il n'est pas suffisamment radioactif pour être enterré à 500 mètres de profondeur à Bure (voir encadré page suivante), mais il est tout de même beaucoup trop persistant pour être simplement stocké en

surface à La Hague. "La question de son exutoire n'est toujours pas réglée et devient perturbante; les deux communes sélectionnées pour accueillir un tel site ont reçu des menaces de la part de militants antinucléaire et ont jeté l'éponge", souligne Jean-Guy Nokhamzon, ancien responsable du démantèlement au CEA, qui a sur le dos trois petits réacteurs de ce type. La solution viendra peut-être des scientifiques russes qui font des essais d'incinération du graphite. Mais le stockage n'est même plus le problème principal.

En effet, extirper ce graphite du réacteur paraît encore plus compliqué que prévu. Les équipes d'EDF prévoyaient jusqu'ici d'inonder les caissons des réacteurs avant d'entamer leur déconstruction par des robots submersibles. Une intention louable puisque l'eau permet de faire écran aux radiations et d'éviter de



△ Les ingénieurs travaillent sur des bras robotisés, qui seuls pourront pénétrer dans les entrailles des réacteurs.



< Faute de solution de démantèlement immédiate, le cœur des réacteurs graphite-gaz restera en l'état dans les décennies à venir.

À LA UNE



soulever dans l'atmosphère des poussières radioactives, tout en minimisant le risque d'incendie ou d'explosion. *"Nous pensions que ces opérations sous eau pourraient être assez rapides, confie Estelle Desroches, mais nos dernières évaluations montrent qu'elles devraient durer en réalité quinze à vingt ans... Une telle durée pose la question des risques de corrosion des structures et de pertes d'étanchéité."* Et donc des risques de pertes d'eau radioactive. Il suffit de voir, toutes proportions gardées, les difficultés rencontrées sur le site de Fukushima perclus de fuites.

Comment EDF a-t-il pu se tromper à ce point? En fait, *"le graphite est une horreur, une vraie vacherie!"* confirme Jean-Louis Nokhamzon. *J'ai toujours été réticent à utiliser de l'eau qui, au contact de ce produit très gras, générerait quantité de boues radioactives". "Nous manquons encore de détails, mais les industriels contactés par EDF sur le sujet auraient mis en avant des problèmes de visibilité sous l'eau, enchaîne Thierry Charles, directeur général adjoint à l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN). Entre nous, il semble que très peu d'entreprises aient répondu à ce premier appel d'offres de l'électricien sur les graphite-gaz."*

## IL FAUT TOUT REPRENDRE À ZÉRO

Visiblement, personne ne souhaite se frotter à cet enfer radioactif, manipuler chaque brique de graphite, éplucher d'épaisses parois de béton contaminé, découper des matériaux très mélangés et intriqués. Il le faudra, pourtant. Comment? L'électricien n'est pas encore en mesure de le préciser. Mais une chose est maintenant certaine: cela se fera sans la protection de l'eau, en contact direct avec ces milliers de tonnes de matière irradiée. *"Nous voulons d'abord tester des outils sur une maquette, puis sur un premier réacteur tête de série",* avance prudemment Estelle Desroches. *"Ils viennent de mettre quinze ans d'études à la poubelle, on a l'impression de repartir de*

## Les déchets nucléaires, une question insoluble?

C'est la plaie du nucléaire. Chaque année, un réacteur produit environ 200 m<sup>3</sup> de déchets contaminés, dont 7 m<sup>3</sup> de rebuts à la radioactivité mortelle pour au moins des dizaines de milliers d'années – sans parler du démantèlement futur du réacteur. Ces rebuts deviennent encombrants: EDF craint même, dès 2025, une saturation de ses piscines d'entreposage de combustibles usés. Que faire? Les scientifiques plaident tous pour enterrer ces déchets en profondeur. Le projet français de stockage à Bure (Meuse) avance lentement mais sûrement – malgré l'irruption de "zadistes" sur le site depuis quelques mois. Début 2016, le ministère de l'Environnement fixait enfin un coût pour cette installation à hauteur de 25 milliards d'euros et, en juillet, le parlement votait une loi cadrant les premières phases industrielles du projet. Tout n'est pas réglé, bien sûr: les échanges entre experts continuent, par exemple sur le filtrage d'éventuels rejets radioactifs vers l'extérieur en cas d'accident sous-terrain. Mais après trente ans de travaux polémiques, la technique de stockage des déchets ne paraît plus être le problème central de l'industrie nucléaire.

zéro! intervient Thierry Charles. *Nous devons avoir des garanties que leurs nouvelles solutions sont crédibles."*

EDF a été sommé de rendre avant le 31 mars un rapport justifiant ce changement de stratégie visiblement incompatible avec la législation sur un démantèlement immédiat – on compte sur l'opérateur pour s'appuyer sur l'ambigu *"dans un délai aussi court que possible"* de l'article de loi. Christophe Kassiotis les attend de pied ferme: *"Les ingénieurs d'EDF étaient jusqu'ici raisonnablement confiants pour le démantèlement sous eau, et maintenant, ils nous disent la même chose pour la déconstruction sous air; on peut jouer à ce petit jeu-là longtemps..."*

En attendant, ces sites nucléaires devront être surveillés et protégés pendant près d'un siècle. Un siècle durant lequel il faudra toujours rester attentif aux risques de corrosion, aux inondations catastrophiques ou aux séismes. *"Les plots parasismiques en néoprène situés sous les réacteurs se dégradent avec le temps, ils devront sans doute être remplacés",* fait savoir Christophe Kassiotis.

Les plus optimistes pourront se dire que les 58 réacteurs à eau sous pression actuels seront beaucoup plus faciles à désosser au vu de leur architecture. Pas faux. Mais la consolation est un peu maigre quand on voit la somme d'efforts – parfois un peu désespérés – qu'il faudra consentir pour les maintenir à un juste niveau de sûreté, les affres de leur fonctionnement au jour le jour et les difficultés de construire de nouvelles centrales ultrasécurisées dans un monde où les éoliennes et les panneaux solaires font bonne figure.

Jamais, en soixante ans d'existence sur le territoire français, l'énergie nucléaire n'était apparue aussi complexe, lourde, coûteuse. Trop?



A consulter: les derniers rapports nucléaires et des présentations succinctes et didactiques par des professionnels du nucléaire.  
A voir: des vidéos sur les coulisses de la construction du réacteur EPR.

science-et-vie.com



# & Science découvertes

EXONUAGE  
60

VIOLENCE  
63

LANGUES  
66

CAROTTE GLACIAIRE  
70



# On a vu bouger un exonuage

Vertigineux : vingt ans après la découverte des premières exoplanètes, les astronomes sont déjà capables d'observer leur météo ! Pour **Benoît Rey**, c'est le début d'une nouvelle ère dans l'exploration des mondes lointains.

**M**ercredi 23 mai 2012, à 23 heures heure terrestre, un gigantesque nuage plus grand que la Terre a envahi le ciel de la planète HAT-P-7b. Si triviale puisse-t-elle sembler, cette information marque un jalon dans notre rapport aux autres mondes. Pour la première fois, l'homme a vu quelque chose bouger dans l'atmosphère d'une planète située en dehors de notre système solaire. Il a vu des nuages apparaître, se mouvoir puis disparaître, laissant derrière eux un ciel dégagé.

En soi, l'information n'est pas source de connaissances inédites. Mais symboliquement, c'est une révolution : un peu plus de vingt ans après la découverte de la première exoplanète, voici qu'on peut parler de la pluie et du beau temps sur l'une d'entre elles ! Et poser les bases d'une nouvelle discipline : c'est la première observation "exométéorologique".

"Quand on a découvert les exoplanètes, leurs nuages étaient plutôt un problème, raconte Vivien Parmentier, spécialiste de l'étude des

exonuages à l'université d'Arizona. *On voulait quantifier les molécules les plus facilement identifiables de leur atmosphère comme l'eau, le potassium ou le sodium, mais les nuages bouchaient la vue. C'est ainsi qu'on a commencé à s'y intéresser. Et aujourd'hui, ils sont devenus un objet d'étude en soi.*"

## UN PARFAIT SUJET D'ÉTUDE

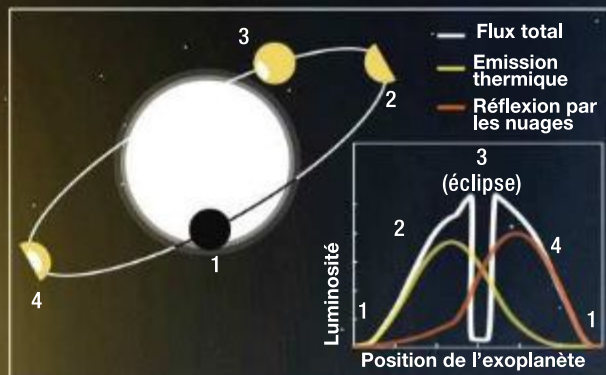
Sauf que l'observation de leurs mouvements est pour le moins délicate. HAT-P-7b, par exemple, se situe à





## Une infime variation de lumière dévoile le temps qu'il fait sur HAT-P-7b

*Kepler* a mesuré durant quatre ans la lumière de l'étoile HAT-P-7. Durant cette période, sa grosse planète, HAT-P-7b, a effectué 650 révolutions autour d'elle, provoquant chaque fois d'infimes variations de luminosité.



### La luminosité varie selon la position de la planète...

La lumière de la planète HAT-P-7b s'ajoute à celle de son étoile, augmentant la luminosité globale captée par le télescope. Elle provient de deux sources : la réflexion par les nuages et l'émission de chaleur de l'atmosphère.



16 octobre 2011, 16 heures



23 mai 2012, 23 heures

### ... et trahit la présence ou non de nuages

Le 16 octobre 2011, la courbe forme un pic avant que la planète passe derrière l'étoile : il y a très peu de réflexion par les nuages, le ciel est dégagé. Le 23 mai 2012, le pic apparaît après l'éclipse : l'ambiance est nuageuse.

1 050 années-lumière de nous. A une telle distance, impossible de voir les nuages directement. Impossible, même, de voir la planète directement ! La plupart des exomondes ne se manifestent qu'à travers la baisse régulière de la luminosité apparente de leur étoile lorsqu'ils passent devant (voir Repères).

Ce premier suivi d'un exonuage n'en est que plus incroyable. Car c'est en analysant toujours plus finement les variations de cette luminosité mesurées pendant quatre ans

par le satellite *Kepler* qu'une équipe de l'université de Warwick (Royaume-Uni), menée par David Armstrong, a pu voir le ciel se couvrir et se dégager en temps réel – modulo le fait, bien sûr, que la lumière a voyagé durant 1 050 ans avant de nous parvenir...

Il faut dire que la planète HAT-P-7b est le parfait sujet d'étude pour un exométéorologue. Son étoile, HAT-P-7, est l'une des plus brillantes de tout l'échantillon observé par le satellite de la Nasa. L'exoplanète fait partie de la catégorie poids

## Repères

Sur les plus de 3 500 exoplanètes découvertes à ce jour, seules 76 ont été photographiées par un télescope. Les autres ont été trahies par leur influence gravitationnelle, ou par l'ombre projetée sur leur étoile. Près de 2 700 de ces exomondes ont été détectés par la méthode des transits (la plupart grâce au satellite *Kepler*) : on ne voit rien d'eux, si ce n'est l'infime diminution de la luminosité de leur étoile lorsqu'ils passent devant elle.



→ lourds : les “Jupiter chaudes”. Ces géantes gazeuses orbitent très près de leur étoile, et en font donc rapidement le tour : une année sur HAT-P-7b dure, sur Terre, deux jours et cinq heures. En quatre ans, *Kepler* a ainsi enregistré 650 passages de l'exoplanète.

Comme la Lune avec la Terre, ces Jupiter chaudes montrent toujours la même face à leur étoile. “*L'autre face ne voit*

son étoile, emportant donc les nuages toujours du même côté sur la face jour.

C'est en partant de ce constat que David Armstrong a pu observer une évolution dans la couverture nuageuse de HAT-P-7b. Son équipe ne s'est pas intéressée aux moments où la planète passe devant son étoile, mais aux éclipses inversées, lorsqu'elle passe derrière. HAT-P-7b montre alors à la Terre sa

C'est ce fragile équilibre qui a permis de dégager *in fine* un signal visible sur les courbes de variation de luminosité globale de l'étoile. Car lorsque le ciel est particulièrement couvert sur HAT-P-7b, le pic de luminosité se déplace vers la droite, et lorsque le ciel est dégagé, vers la gauche. De quoi formuler les premières véritables observations exométéorologiques tangibles. Comme le fait que le 16 octobre 2011, à 16 heures, il faisait beau sur HAT-P-7b, mais pas le 23 mai 2012, à 23 heures (voir figures 2 et 3).

“*Les variations du pic de luminosité nous ont permis de suivre celles de la couverture nuageuse, qui évolue entre 30 % de la surface de la planète recouverts et 0 %, soit un ciel parfaitement dégagé*”, résume David Armstrong.

Le degré de sophistication de l'observation donne le tournis. Mais l'exométéorologie naissante nous habituera à ce genre d'études, et les futures générations de télescopes promettent de les généraliser (lire ci-contre). Grâce à l'intégration de cette dimension temporelle, les exoplanètes vont commencer à prendre vie, à s'animer, nous devenant plus familières, moins abstraites.

Déjà, avec un peu d'imagination, on peut voir dans les courbes de David Armstrong se condenser des nuages de saphirs et de rubis dans le ciel d'HAT-P-7b.

## Bientôt les premiers instruments d'exométéorologie

**HAT-P-7b est pour l'heure une exception. Pour généraliser ce genre d'études à d'autres Jupiter chaudes, il faudra patienter jusqu'en 2018, avec le lancement du satellite *Tess* (Nasa), successeur de *Kepler*, qui observera le ciel par tranches, durant 90 jours chacune. Côté européen, *Cheops* scrutera en détail, dès la fin de cette année, les variations de luminosité des étoiles connues pour abriter des exoplanètes, en attendant le mastodonte de l'ESA, prévu pour 2024 : aussi précis que *Kepler*, *Plato* couvrira l'intégralité du ciel pendant quatre ans. Pour suivre la couverture nuageuse des exoplanètes de type terrestre, il faudra encore attendre la génération suivante de télescopes, dans les années 2030.**

jamais le jour. Des nuages s'y condensent car il y fait plus froid”, décrit Vivien Parmentier à partir de simulations sur la température de ces planètes.

### DES NUAGES DE SAPHIR

En l'occurrence, les nuages de HAT-P-7b doivent être constitués de corindon, un minéral qui peut se cristalliser en saphir ou en rubis – ce qui n'ôte rien à la puissance poétique de l'observation.

Surtout, les modèles simulant l'atmosphère des Jupiter chaudes indiquent que les vents y soufflent toujours dans le même sens, celui de la rotation de la planète autour de

face jour. Et, comme une pleine lune, elle réfléchit la lumière de son étoile, ce qui en augmente l'intensité globale. De presque rien : 0,0072 %. Un effet cent fois inférieur à la baisse de luminosité provoquée par une éclipse classique.

Cet effet est toutefois suffisant, car HAT-P-7b présente un dernier avantage : la luminosité qu'ajoute la planète à son étoile est constituée de deux sources semblables en intensité. Un flux issu de la réflexion de la lumière de l'étoile sur la couverture nuageuse, et un flux issu de la chaleur que dégage la surface de la planète (voir figure 1, p. 61).



A consulter : l'étude sur l'observation du premier exo-nuage, parue dans *Nature*.

★  
**EN SAVOIR PLUS**

science-et-vie.com



# Aux origines de la violence

Un groupe de chercheurs a détaillé l'ampleur de la violence entre individus d'une même espèce chez les mammifères.

**Thomas Cavallé-Fol** nous explique pourquoi ce travail colossal éclaire l'origine de la violence humaine sous un nouveau jour.



△ Le babouin doguera a 3,5 % de risque de se faire tuer par l'un de ses congénères.

**I**nnée ou acquise? Biologique ou sociétale? Hobbes ou Rousseau? L'origine de la violence humaine est un vieux débat qui agite philosophes, sociologues et politiques. Or, voici qu'une nouvelle pièce vient s'ajouter au dossier. Une pièce plutôt lourde: le premier panorama de la violence au sein de l'ensemble de la classe des mammifères.

## Repères

L'Homme est-il *"un loup pour l'Homme"*, comme le pensait Hobbes, ou sa bonne nature est-elle corrompue par la société, selon l'idée de Rousseau? La paléanthropologie a récemment ouvert une piste avec la découverte d'un massacre de masse commis il y a 10 000 ans près du lac Turkana, au Kenya (voir S&V n°1183). La phylogénie propose aujourd'hui de rechercher l'origine de la violence encore plus loin.

Encore faut-il s'entendre sur le mot "violence". L'équipe d'écologistes et de zoologistes dirigée par José María Gómez, du département d'écologie de l'université de Grenade, en Espagne, s'est ici concentrée sur les actes de violence entre individus d'une même espèce – dans la majorité des cas, les meurtriers sont des mâles et les victimes des juvéniles.

Souris, hippopotame, dauphin... L'équipe a épluché plus d'un millier de publications et recensé 4 millions de cas de violence létale, dans plus de 80 % des familles de mammifères. Un travail colossal qui associe à l'arbre phylogénétique le risque qu'a un individu d'une espèce de se faire tuer par un congénère (voir pages suivantes). "C'est

une étude impressionnante du point de vue de l'échantillon", applaudit Bernard Chapais, professeur d'anthropologie à l'université de Montréal, au Canada. Premier constat, frappant: la violence surgit partout. *"Plus de 40 % des espèces testées commettent des meurtres intraspécifiques"*, souligne José María Gómez.

L'analyse statistique montre que cette violence est corrélée à la territorialisation et à la structure sociale – plus une espèce est liée à un territoire et est sociale, plus elle est violente. *"Cette étude permet surtout de poser des bases phylogénétiques aux comportements violents"*, souligne Bernard Chapais. Car la violence peut en partie être vue comme un caractère évolutif, apparu chez



un ancêtre commun et transmis à sa descendance. *“C’est le cas si les types de violence entre espèces affiliées sont similaires”*, confirme Richard Wrangham, professeur d’anthropologie biologique à l’université Harvard, aux États-Unis.

Or, quand on observe l’éten- due de la violence chez les pri- mates, l’Homme semble bel et bien avoir hérité du goût du sang. *“Au sein de notre lignée, il semble que la violence ait émergé il y a environ 90 mil- lions d’années, avec l’appari- tion du grand ordre des euar- chonta, qui comprend les ordres scandentiens, dermo- ptères et primates”*, explique José María Gómez.

#### DES VARIATIONS CHEZ L’HOMME

Une fatalité, donc? Pourtant, les chimpanzés commettent six fois plus de meurtres que les bonobos, leurs plus proches cousins. Et l’homme lui-même semble finalement moins violent qu’il ne devrait: en se basant sur les taux de violence estimés de ses ascendants, les chercheurs s’attendaient à ce qu’un individu ait un risque de 2 % d’être assassiné, alors qu’il n’est aujourd’hui que de 1,3 %.

*“Cela n’a pas toujours été le cas, corrige José María Gómez. A la préhistoire, le taux de vio- lence humaine était similaire à celui attendu. Il a même aug- menté au Moyen Age, et s’est réduit fortement aujourd’hui, alors que la démographie est la plus forte jamais observée. Cela montre que le contexte social peut moduler ce taux.”* Et que l’homme peut donc supprimer ou sublimer ses instincts les plus bestiaux. Le vieux débat ne sera jamais clos. Mais il est maintenant éclairé par des mil- lions d’années d’évolution.

#### La famille de tueurs : les sciuridés

Toutes les espèces de marmottes et de chiens de prairie observées ont été prises en flagrant délit de meurtre. L’ancêtre commun à l’ori- gine de cette famille était donc pro- bablement violent.

#### Le grand ordre de la violence : les euarchonta

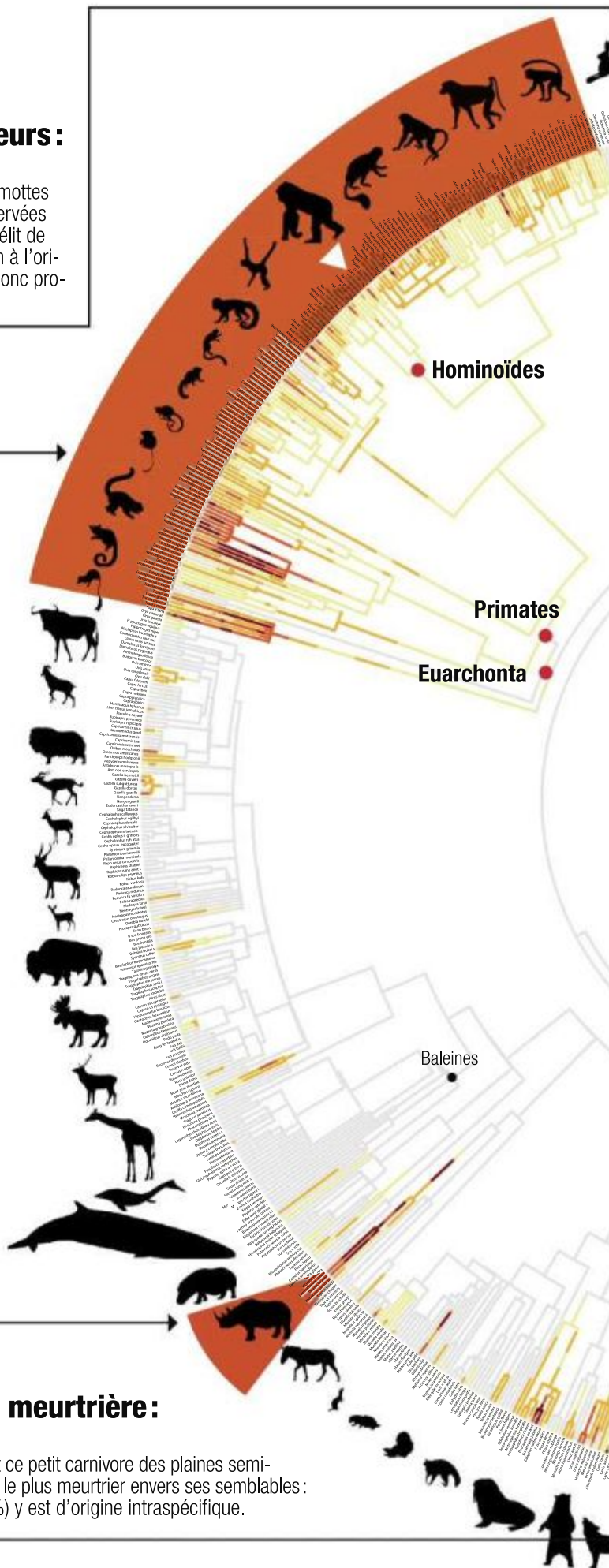
La violence intraspécifique sévit dans la quasi-totalité des espèces appartenant à ce clade qui regroupe les dermoptères, les scandentiens et les primates (dont l’espèce humaine, indi- quée par un triangle blanc). Ce serait donc avec l’apparition des pre- miers euarchonta, il y a environ 90 millions d’an- nées, que serait né notre instinct meurtrier.

#### L’assassin isolé : le rhinocéros

Alors que les proches parents des rhinocéros, comme les tapirs, sont majoritairement paci- fiques, les trois espèces de rhinocéros com- mettent, eux, des infanti- cides et parfois même des meurtres d’individus adultes pour défendre leur territoire.

#### L’espèce la plus meurtrière : le suricate

Chez les mammifères, c’est ce petit carnivore des plaines semi- désertiques qui est l’animal le plus meurtrier envers ses semblables : une mort sur cinq (19,36 %) y est d’origine intraspécifique.





# La violence sévit chez plus de 40 % des espèces de mammifères

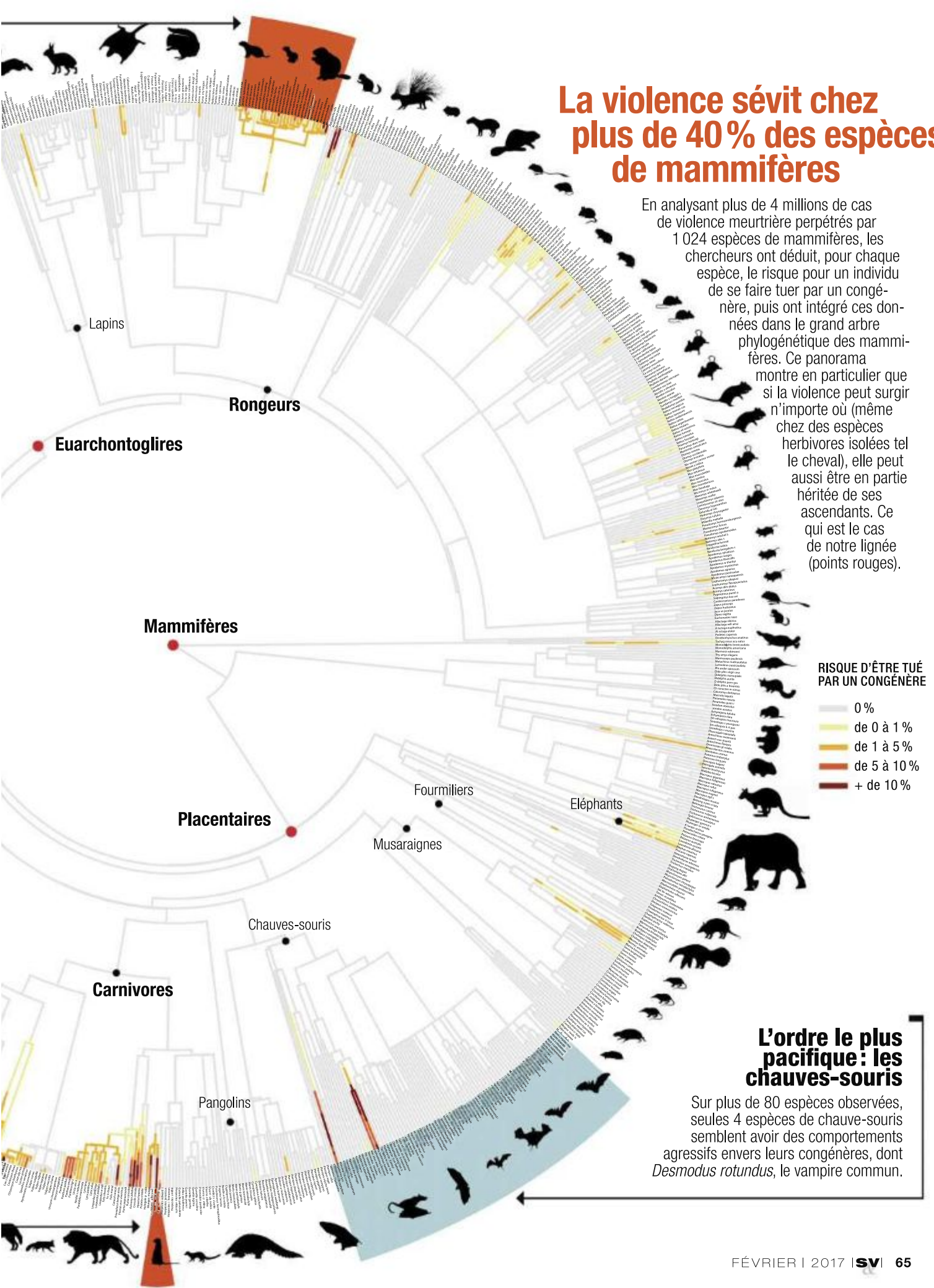
En analysant plus de 4 millions de cas de violence meurtrière perpétrés par 1 024 espèces de mammifères, les chercheurs ont déduit, pour chaque espèce, le risque pour un individu de se faire tuer par un congénère, puis ont intégré ces données dans le grand arbre phylogénétique des mammifères. Ce panorama montre en particulier que si la violence peut surgir n'importe où (même chez des espèces herbivores isolées tel le cheval), elle peut aussi être en partie héritée de ses ascendants. Ce qui est le cas de notre lignée (points rouges).

## RISQUE D'ÊTRE TUÉ PAR UN CONGÉNÈRE



## L'ordre le plus pacifique : les chauves-souris

Sur plus de 80 espèces observées, seules 4 espèces de chauve-souris semblent avoir des comportements agressifs envers leurs congénères, dont *Desmodus rotundus*, le vampire commun.





# Langues

## Elles ont été façonnées par l'environnement

On ne parle pas avec autant de voyelles selon qu'on vit en Amazonie ou dans le Caucase... Et pour cause : des linguistes dévoilent comment le climat, la topographie ou la végétation ont influencé les sonorités de chaque langue. Les explications de **Fiorenza Gracci**.

### Repères

Les quelque 6 900 langues connues se regroupent en 26 grandes familles indépendantes ; la nôtre, dite famille indo-européenne, est composée de 430 langues qui auraient évolué à partir d'une seule et même protolange, née il y a 8 000 à 9 500 ans.

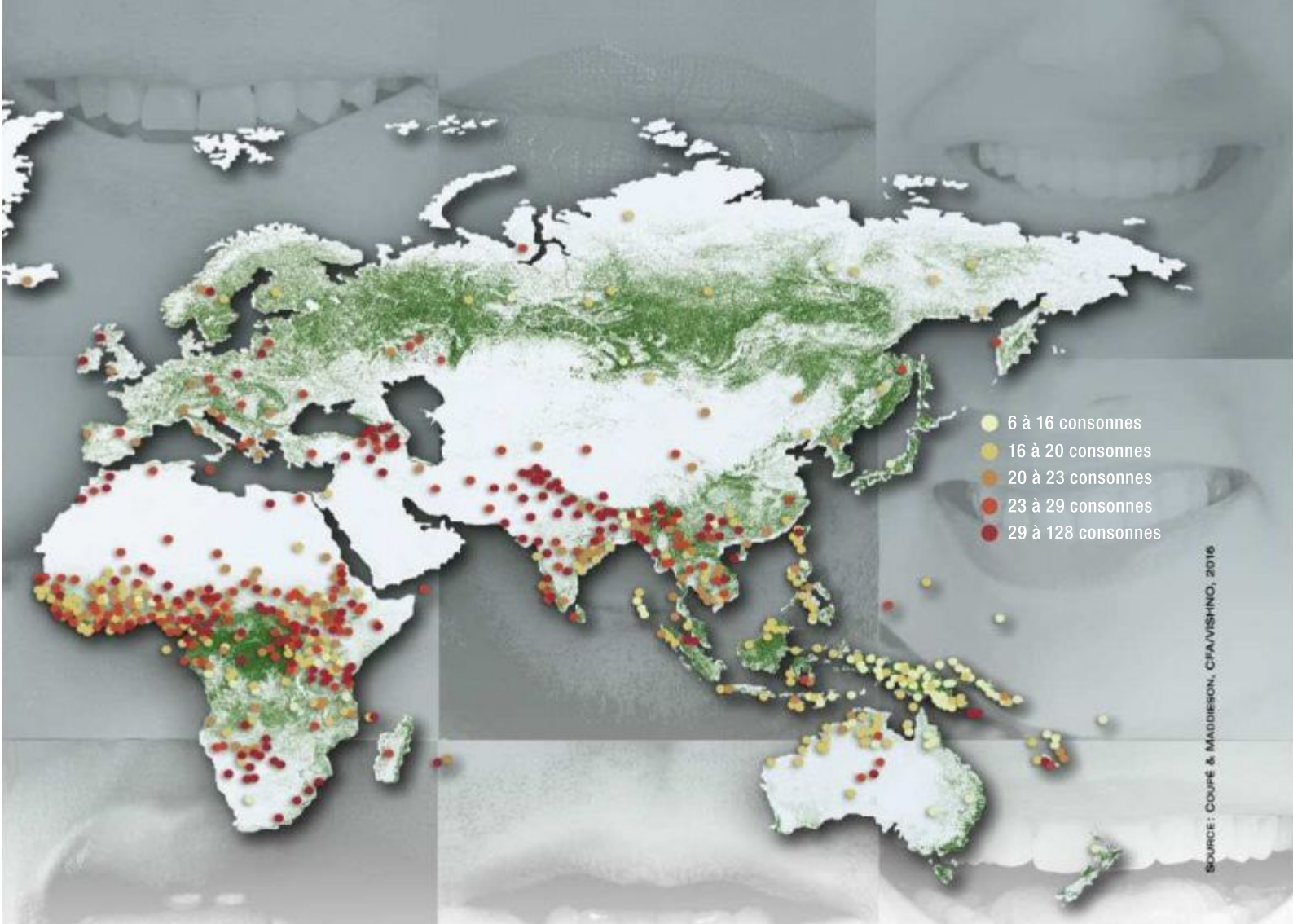
**P**ourquoi est-ce que l'italien a des tons plus chantants que l'allemand et ses consonnes agglutinées ? Qu'est-ce qui fait que l'espagnol est plus sonore que l'anglais ? Et que le mandarin est si mélodieux ? La sonorité d'une langue est-elle simplement un hasard issu de la créativité et de l'intelligence des êtres humains, ainsi que des liens sociaux et génétiques qu'ils ont tissés ? Pas seulement : elle est aussi en partie liée aux contraintes de l'environnement naturel, affirment depuis

quelques années une poignée d'anthropologues et de linguistes américains et français. Qui avancent des arguments de plus en plus solides montrant comment le climat, la géographie ou la végétation ont façonné au fil du temps les sons qui se sont imposés dans chaque langue.

Drôle d'idée. Certes, avec la description de ses *Tristes Tropiques*, l'ethnographe français Claude Lévi-Strauss nous expliquait déjà il y a soixante ans comment le climat pouvait façonner la nature des civilisations. Mais les langues ?

SHUTTERSTOCK - M.KONTENTE





SOURCE : COUPÉ & MADDISON, CFA/VISHNO, 2016

## LA VÉGÉTATION

### *Elle enrichit les langues en voyelles*

Sur cette carte recensant 628 langues, les consonnes sont d'autant plus abondantes (points rouges) qu'on s'éloigne des zones à la végétation dense. Ainsi, les consonnes foisonnent à proximité des déserts (Sahara, Moyen-Orient) tandis que les voyelles abondent près des forêts tropicales (Amazonie, Indonésie).

Comment ces objets éminemment culturels, élaborés par nos ancêtres au gré de leur histoire, pourraient-ils être influencés par l'environnement ?

#### UNE LINGUISTIQUE ÉCOLOGIQUE

*“Même si les facteurs sociaux restent toujours à l'œuvre dans la formation des langues, le débat autour de notre hypothèse n'a pas fait émerger de bon argument contraire”, assure Caleb Everett, professeur de linguistique anthropologique à l'université de Miami, et l'un des principaux artisans de cette “linguistique écologique”.*

L'idée est simple : la langue, comme n'importe quel autre trait physique ou comportemental des humains, s'adapte au contexte naturel dans lequel elle évolue. *“Suivant le même principe que celui de l'évolution darwinienne, si la présence d'une caractéristique linguistique confère un avantage, aussi modéré soit-il, dans un environnement donné, celle-ci se répandra au fil du temps et des échanges entre populations”, résume Caleb Everett.*

Un exemple. A partir d'immenses bases de données recensant la palette de sons et

les caractéristiques (fréquence, temps, harmonique) de plusieurs milliers d'idiomes, le linguiste américain a montré en 2013 qu'au-delà de 1 500 m, l'altitude favorise la présence de consonnes éjectives, des sons qui impliquent la fermeture de la glotte et la remontée du larynx. Les langues comportant





SOURCE: EVERETT ET AL., PLOS ONE, 2013

## L'ALTITUDE

### **Elle favorise les consonnes éjectives**

Sur les 567 langues représentées sur cette carte, 16 % comportent des consonnes éjectives, comme le quechua andin ou l'adyguéen caucasien : elles se concentrent presque toutes dans les régions de haute altitude.

→ ces sons, comme le quechua dans les Andes ou l'adyguéen dans le Caucase, se concentrent presque exclusivement dans les régions montagneuses et les hauts plateaux, où ne vivent que 10 % de la population (voir carte ci-dessus). L'explication ? La pression atmosphérique, plus faible en altitude, facilite la prononciation des éjectives, atténuant l'important effort de compression qu'elles demandent. Mieux : parce qu'elles ne nécessitent pas d'expulsion d'air depuis les poumons, utiliser des éjectives réduit l'exhalation du condensat d'haleine et contribue à lutter contre la déshydratation, ce qui est crucial en altitude.

Autre exemple : les langues tonales complexes (des langues dont le sens des syllabes dépend d'au moins trois hauteurs possibles, à l'image du mandarin et du cantonais) sont très présentes dans la bande tropicale, là où il fait chaud et humide. Un effet relevé

en 2015 par le même chercheur sur un échantillon de plus de 3 700 langues, dont 629 langues tonales complexes (voir carte de droite). *“Même si nos résultats ne sont que des corrélations et que les effets trouvés sont petits, leur puissance statistique est très forte”*, soutient Caleb Everett. Qui explique : *“De la même manière qu'on parle plus difficilement la gorge sèche, la déshydratation des cordes vocales change leur régime de vibration et il devient plus difficile de moduler la fréquence des sons avec précision.”*

Un troisième constat ressort d'une étude sur 628 idiomes publiée en 2016 : le lien entre la sonorité des langues et la densité de végétation – elle-même liée à de fortes températures et précipitations. Statistiquement, la corrélation entre la présence de forêts et un taux plus faible de consonnes est très forte (voir carte p. 67). *“Deux mécanismes sont plausibles”*, explique Christophe Coupé,

M. KONTENTE

## Les cris des animaux aussi s'adaptent à leur habitat

L'idée que certains sons sont favorisés par certains milieux est beaucoup plus facilement admise pour les cris des animaux. La “théorie de l'adaptation acoustique” est née dès 1975 avec les travaux du zoologue Eugene S. Morton, qui constata qu'au cœur de la forêt de Panama, les vocalisations des oiseaux se situent dans la bande de fréquence où elles subissent le moins d'atténuation, contrairement à celles des oiseaux évoluant dans des milieux ouverts. Cette théorie a été vérifiée chez les chiens de prairie du Colorado, les macaques japonais et les tchitrecs malgaches (des oiseaux gobe-mouches). Tous adaptent la fréquence de leurs cris à la végétation, et parfois même à son évolution au gré des saisons.





## L'HUMIDITÉ

### Elle modèle des langues tonales

Parmi ces 3 756 langues, les 629 langues tonales complexes (mandarin...), pour lesquelles le sens dépend de la hauteur de ton des syllabes, se trouvent presque toutes dans la bande tropicale; elles ont dix fois moins de chances d'être localisées sous des climats où la température moyenne est négative.

du laboratoire Dynamique du langage à l'université Lyon 2, coauteur de la recherche avec Ian Maddieson, de l'université du Nouveau-Mexique. *Soit la végétation dégrade les ondes acoustiques, en absorbant et dispersant surtout les fréquences plus élevées, dont les consonnes sont plus riches; soit la chaleur crée des tourbillons qui détruisent une partie des hautes fréquences.* Résultat: il est avantageux, pour une bonne communication en forêt, d'enrichir une langue en voyelles.

#### DES LANGUES BIEN VIVANTES

Des résultats dans la droite ligne de précédentes études qui faisaient état d'une plus forte sonorité sous les climats chauds, ce qui n'est guère étonnant: pour prononcer des voyelles, il faut ouvrir davantage la bouche... ce qu'on fait moins lorsqu'il fait froid!

Quelles conclusions en tirer pour l'Hexagone? Les vents et les embruns de Bretagne

auraient-ils forgé les sonorités celtiques du brezhoneg? La chaleur de la Méditerranée, conféré une tonalité plus chantante et sonore au corse, au catalan et au provençal? L'euskara, riche en consonnes occlusives, conserve-t-il l'empreinte des vallées et forêts montagneuses du Pays basque? *"A l'échelle d'une seule langue, il est pratiquement impossible de déceler l'effet de l'environnement, qui est noyé dans les facteurs sociaux"*, avertit Christophe Coupé. Seules les statistiques font apparaître les lois cachées du darwinisme linguistique.

*"Les humains n'aiment pas qu'on leur dise que leurs comportements sont prévisibles. Et pourtant, les preuves sont riches et étayées par la physiologie"*, assène Carol Ember, éminente anthropologue de l'université Yale, qui a fait partie des tout premiers chercheurs à se poser la question de l'influence du climat sur

les langues, au début des années 2000.

Et il n'y a finalement pas lieu d'être si surpris. Les langues ne sont-elles pas vivantes? Qu'elles soient chantantes, hachées, nasales, éclatantes, grinçantes, raclées, résonantes, claquantes ou grasseyantes, ces vibrations des molécules d'air ont été sans cesse peaufinées à mesure qu'elles sont passées d'une bouche à une autre, d'une région à une autre, et transmises de génération en génération.

Pas étonnant, donc, qu'elles soient soumises aux affres de l'évolution naturelle. Ce sont les lois de la vie.



A consulter : les principales études de cette nouvelle écologie linguistique.

**EN SAVOIR PLUS**

science-et-vie.com





# CAROTTE GLACIAIRE

## La course à un million d'années



Qui réalisera l'exploit d'extraire la carotte de glace la plus ancienne de la Terre, datée de plus d'un million d'années ? En Antarctique, la bataille fait rage entre Européens et Américains. Car l'enjeu est crucial, explique **Yves Sciama** : à plus de 3 km de profondeur, se cache une des clés de notre avenir climatique.

### Contexte

Analyser les petites bulles d'air emprisonnées dans les vieilles glaces est une technique désormais classique de la climatologie pour reconstituer les atmosphères du passé. Le record actuel, établi en 2004 par une équipe européenne en Antarctique, est de 800 000 ans.

C. DELHAYE/IPEV/CNRS PHOTOTHÈQUE -  
T. VERGOZ/IPEV/LGGE/CNRS PHOTOTHÈQUE

## Le projet américain RAID Forage rapide et profond



**L**es deux machines sont arrivées en Antarctique il y a quelques semaines. La première, baptisée Subglacior, est européenne; la seconde, RAID, est américaine. Loin des regards et des caméras, elles entament le sprint final d'une course lancée il y a un demi-siècle: la course à la glace la plus ancienne de la planète.

"C'est une course amicale qui repose sur beaucoup de coopération", tempère Jérôme Chappellaz, directeur du Laboratoire de glaciologie et géophysique de l'environnement (LGGE) de Grenoble, chef du volet français de cette aventure. Amicale, sans doute, mais acharnée. Car les deux équipes savent que l'essentiel de la gloire ira au seul vainqueur.

L'objectif de cette ruée vers les entrailles glacées du Continent Blanc est une sorte de Graal de la climatologie moderne: de minuscules bulles d'air âgées de 1,5 million d'années, piégées entre les flocons des chutes de neige successives que leur empilement au fil du temps a transformés en glace. Des petits échantillons



parfaitement conservés des atmosphères du passé qui pourraient contenir la clé de notre avenir climatique.

"L'enjeu de cette aventure n'est pas tellement de battre un record d'âge, mais de répondre à une question scientifique essentielle, précise Catherine Ritz, spécialiste de l'interprétation des carottes de glace à l'université Joseph-Fourier de Grenoble. Nous voulons comprendre ce qui est arrivé au climat entre -0,9 et -1,24 million d'années, lors d'un événement encore mystérieux que nous appelons la 'transition du mi-pléistocène'."

Derrière cette appellation absconse se cache un bouleversement majeur, un véritable changement de pulsation du système Terre. Avant, on avait des glaciations très régulières,

### LE PRINCIPE

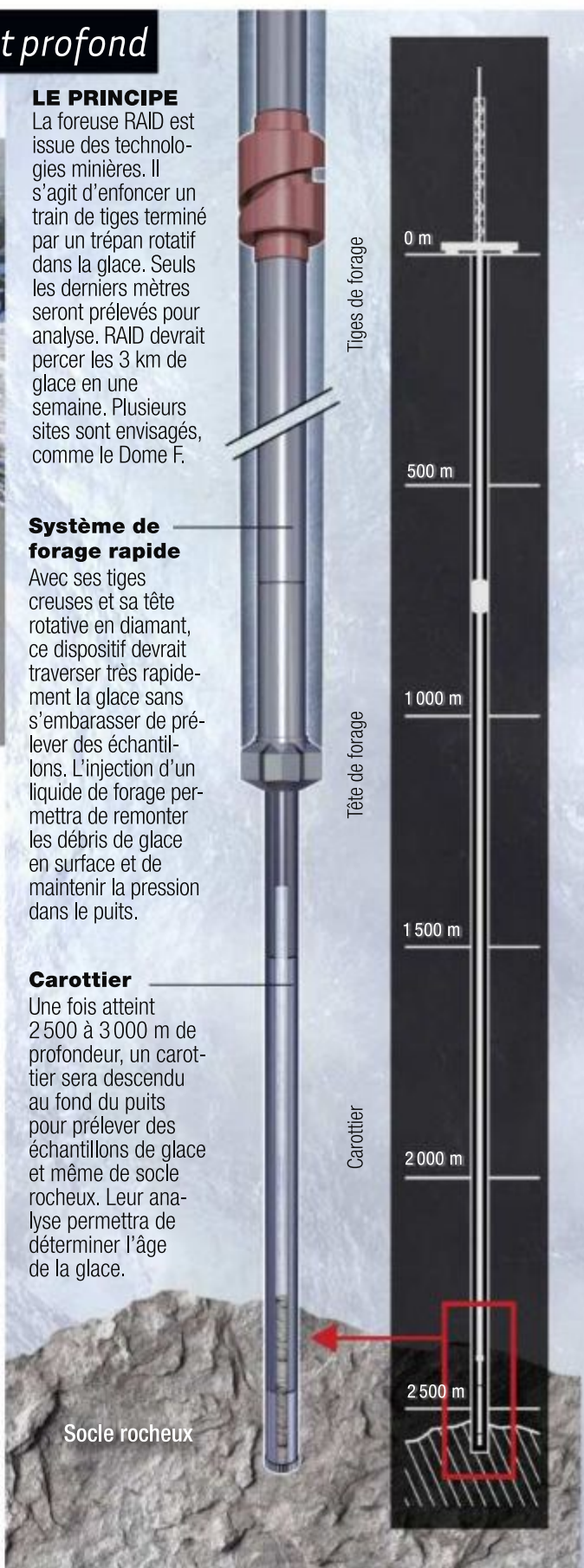
La foreuse RAID est issue des technologies minières. Il s'agit d'enfoncer un train de tiges terminé par un trépan rotatif dans la glace. Seuls les derniers mètres seront prélevés pour analyse. RAID devrait percer les 3 km de glace en une semaine. Plusieurs sites sont envisagés, comme le Dome F.

### Système de forage rapide

Avec ses tiges creuses et sa tête rotative en diamant, ce dispositif devrait traverser très rapidement la glace sans s'embarasser de prélever des échantillons. L'injection d'un liquide de forage permettra de remonter les débris de glace en surface et de maintenir la pression dans le puits.

### Carottier

Une fois atteint 2 500 à 3 000 m de profondeur, un carottier sera descendu au fond du puits pour prélever des échantillons de glace et même de socle rocheux. Leur analyse permettra de déterminer l'âge de la glace.





## Le projet européen Subglacior Forage et analyses

### LE PRINCIPE

La sonde Subglacior, d'une douzaine de mètres, descendra au bout d'un câble servant à l'alimentation électrique et à remonter les informations. Particularité : la sonde embarque un spectromètre qui lui permet d'analyser la glace au fur et à mesure. Le forage aura lieu sur le site de Little Dome C.

### Spectromètre

Spécialement miniaturisé pour la sonde, ce spectromètre laser analysera en continu la composition isotopique de l'eau et la concentration en méthane de la glace. Les résultats, transmis en temps réel à la surface par le câble électroporteur, permettront de déterminer l'âge de la glace.

### Tête de forage électromécanique

Elle creuse la glace et évacue vers la surface les copeaux en suspension dans un fluide de forage siliconé.

### Pointe Chauffante

Elle fait fondre la glace et aspire le liquide par un fin tuyau jusqu'au spectromètre.



tous les 40 000 ans. Après, les glaciations sont devenues plus profondes et plus longues, avec une périodicité de 100 000 ans. Les chercheurs soupçonnent que cette reprogrammation du pacemaker terrestre serait liée à une baisse naturelle de la quantité de dioxyde de carbone atmosphérique.

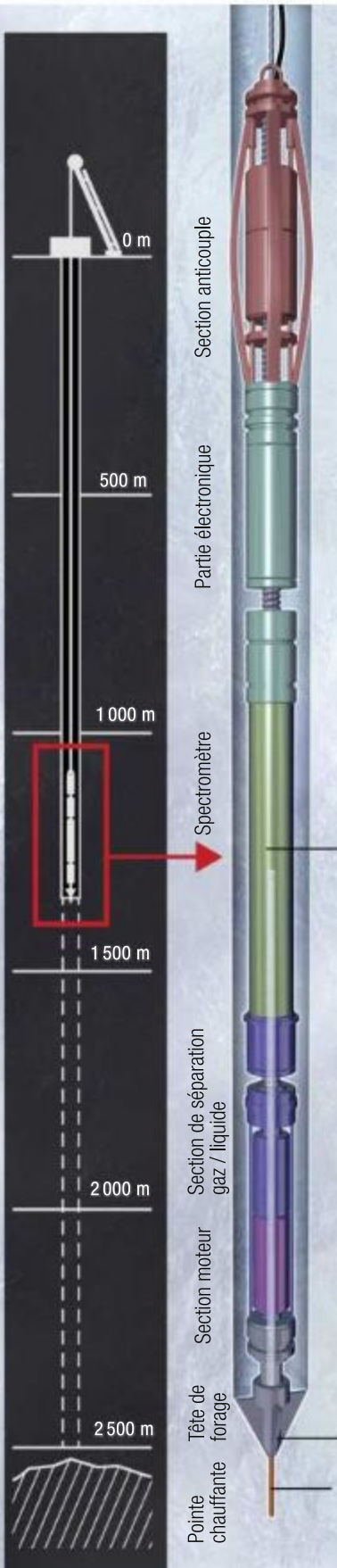
### INDICATIONS SUR LE CO<sub>2</sub>

*"Nous avons des indices sédimentaires suggérant qu'il y avait beaucoup plus de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère avant la transition, peut-être même autant qu'aujourd'hui",* indique Edward Brook, glaciologue à l'université d'Oregon, qui co-préside le consortium international des foreurs de glace (IPICS). Autrement dit, le climat d'avant la "transition" pourrait avoir été, du point

de vue du CO<sub>2</sub>, analogue au climat présent. Et les petites bulles d'air enfermées dans les glaces de l'Antarctique offriraient enfin aux climatologues un point de comparaison pour le taux de CO<sub>2</sub> actuel, inédit depuis des centaines de milliers d'années. De quoi rendre moins incertaines leurs projections. Notamment le calcul de la "sensibilité climatique au CO<sub>2</sub>", indispensable pour déterminer l'impact futur des gaz à effet de serre que nous lâchons dans l'atmosphère.

On comprend que la possibilité de dénicher pareil pactole scientifique électrise la communauté des glaciologues. D'autant que, selon la majorité d'entre eux, la première équipe qui trouvera de la glace exploitable âgée de 1,5 million d'années ne pourra plus être détrônée. Car si l'on sait qu'il existe des poches de glaces encore plus anciennes, il s'agit de glaces "illisibles", c'est-à-dire mélangées ou dénaturées par leur lent écoulement au contact de la roche qui tapisse le fond du Continent Blanc.

Depuis des décennies, malgré la puissance technolo-



## Toujours plus loin dans notre histoire climatique



**1969**

Américains et Danois (ici, W. Dansgaard) lancent un premier grand carottage, au Groenland. A 1 300 m, ils prélèvent de la glace vieille de **80 000 ans**.

**1974**

Le glaciologue français Claude Lorius visite la base antarctique russe de Vostok, où les Russes ont déjà carotté 900 m. C'est la naissance d'un partenariat franco-russe, combinant compétences isotopiques des premiers et capacités de forage des seconds.



→ gique et financière de l'Amérique du Nord, cette course vers des glaces de plus en plus anciennes est dominée par l'Europe à travers une série de consortiums associant une dizaine de pays (France, Allemagne, Italie, Royaume-Uni, Russie...). Ce sont eux qui ont extrait les carottes marquantes de l'histoire de la glaciologie, comme Epica, longue de 3,2 km et vieille de 800 000 ans, qui a donné lieu, à elle seule, à 270 publications scientifiques (voir chronologie ci-dessus). Mais le suspense reste total pour le sprint final vers la glace mythique.

Le principal défi est de savoir à quel endroit creuser sur ce continent grand comme 30 fois la France, où l'épaisseur moyenne de la glace est de 2 km. Première contrainte : il faut tomber sur une couche assez épaisse pour fournir une

### Jargon

Il faut distinguer les **forages**, qui sont des trous dans la glace, visant par exemple à faire un prélèvement ou descendre des capteurs, des **carottages**. Ces derniers visent à prélever des échantillons continus de glace, et nécessitent beaucoup plus de temps, de matériel et d'énergie.

bonne résolution. *“En gros, nous avons besoin d'environ 10 000 ans par mètre, car à cette échelle-là on peut vraiment ‘voir’ chaque cycle de déglaciation se produire”*, indique Catherine Ritz.

Cette résolution dépend des précipitations. Sur les sites où il neige peu, la couche de glace accumulée sera fine, et il y aura donc beaucoup d'années dans 1 m. A l'inverse, les endroits où il neige beaucoup ont une meilleure résolution. Sauf que lorsque la glace s'accumule sur une trop grosse épaisseur, elle se transforme en une sorte de couverture isolante... et commence à fondre à sa base, sous l'effet de la chaleur en provenance du centre la Terre. Il faut donc trouver un compromis entre une épaisseur suffisante pour la résolution, mais pas trop pour ne pas perdre les précieuses couches anciennes.

Deuxième contrainte : trouver de la glace presque immobile. Car la glace tend à “couler” depuis les points les plus hauts de l'Antarctique vers la mer, mélangeant les couches. *“Or nous avons absolument besoin que les couches soient bien rangées, sinon nous ne pouvons pas nous fier à la chronologie et nous perdons toute l'information”*, souligne Catherine Ritz.

Les chercheurs raffinent donc des modèles de déplacement de l'immense calotte glaciaire, qu'ils enrichissent d'informations obtenues par des survols radar et des mesures au sol. Toutes ces données sont rapidement mises à la disposition de toutes les équipes en lice – c'est la règle en Antarctique. Mais il faut savoir les croiser et en déduire des cartes du flux géothermique, qui varie selon les lieux. Sans oublier de





**1987**

Les résultats de l'analyse d'une carotte franco-russe en provenance de Vostok sont publiés. C'est la première glace à atteindre **160 000 ans**.

**1999**

L'équipe franco-russe de Vostok atteint **420 000 ans** à une profondeur de près de 4 km.



**2004**

Dans la base franco-italienne de Concordia, en Antarctique, l'équipe européenne du projet Epica extrait une carotte de glace de **800 000 ans** à 3,2 km de profondeur.

**2017**

Subglacior et RAID, les systèmes de forage européen et américain, lancent les premiers tests *in situ*, près de Concordia et McMurdo, pour atteindre la plus ancienne glace conservée, âgée de **1,5 million d'années**.

prendre en compte l'accessibilité : en Antarctique, il est dangereux et difficile de travailler loin d'une des grosses bases du continent.

### PREMIER FORAGE D'ESSAI

Pour le consortium européen, la phase de préselection des sites touche à sa fin. *"Au terme d'années d'efforts, nous avons identifié, un certain nombre de carrés de 5 km x 5 km qui sont en cours de validation par des mesures au sol supplémentaires, indique Catherine Ritz. Ils se trouvent à une quarantaine de kilomètres de Concordia, sur un site baptisé Little Dome C. Nous espérons sélectionner notre meilleur site de forage en 2017."*

Quant aux Américains, selon Edward Brook, ils hésitent encore. Certains parlent de forer près de leur base Amundsen-Scott, pratiquement sur le pôle

Sud. La glace y est profonde, très certainement ancienne, mais elle est mal connue, la base s'étant spécialisée dans l'astrophysique polaire. Selon leur directeur, Jeff Severinghaus, de l'université de San Diego, ils regardent aussi de près le Dome F, un site peu exploré jusqu'à présent.

Quels que soient les sites sélectionnés par les compétiteurs, le risque de trouver de la mauvaise glace reste élevé. C'est pourquoi une idée s'est imposée, que résume Jérôme Chappellaz : *"Commencer par faire un rapide forage dit 'destructif', c'est-à-dire ne permettant pas de conserver la glace et les gaz qu'elle contient, histoire de foncer jusqu'au fond en une seule saison, pour 'voir' si la glace est bonne."* Puis, seulement dans ce cas, lancer le chantier du carottage, qui durera plusieurs années.

Pour ce forage destructif, les stratégies sont diverses. Côté européen, *"nous comptons sur Subglacior, une sonde révolutionnaire, que nous avons mise au point à Grenoble"*, indique Chappellaz, père de ladite sonde. *"Elle fait fondre la glace au fur et à mesure qu'elle la traverse, et analyse le liquide de fonte avec un spectromètre laser. Elle ne peut pas donner le CO<sub>2</sub> mais nous aurons déjà beaucoup de renseignements ; nous saurons notamment si les couches sont bien rangées en bas."* La préparation et la mise en œuvre de ce forage destructif vont coûter 3,2 millions d'euros, principalement fournis par l'Europe.

Côté américain, les scientifiques ont mis au point un engin surpuissant, le RAID (Rapid Access Ice Drill). Une foreuse géante issue des technologies pétrolières capable, selon ses

→ concepteurs, “d’aller au fond” en une semaine, et même de faire un trou d’échantillonnage dans la roche sous-jacente. L’engin permettrait, selon Edward Brook, “de remonter des renseignements suffisants pour savoir si la glace du fond est bonne, mais moins précis que les analyses chimiques dont est capable la sonde de Jérôme Chappellaz”. Avantage : il pourrait permettre de tester plusieurs sites en une saison.

*des glaces superficielles, mais il nous faut cette année vérifier si nous pouvons aller jusqu’à 1 km.* Les chercheurs français vont aussi profiter de la proximité du site d’Epica pour valider les mesures de la sonde.

#### 4 À 5 ANS POUR L’EXTRAIRE !

Côté américain, le “debuggage” est prévu sur le site de Minna Bluff, à environ 40 km de leur base côtière principale, McMurdo, une quasi-

l’extraction. Elle n’a pourtant rien d’une sinécure, puisqu’il faut faire descendre, à l’aide d’un câble, dans un trou, un cylindre en acier équipé d’un moteur et d’une tête rotative armée de couteaux. Ce carottier découpe une “carotte” de glace de 2 m de longueur et 10 cm de diamètre qui est ensuite remontée, avant que l’engin redescende pour la carotte suivante. Un travail long et pénible, qui ne peut être effectué que durant les trois mois d’été austral.

L’extraction devrait donc s’étaler sur quatre ou cinq ans, ponctuée de contretemps inévitables en Antarctique : approvisionnements bloqués, chercheurs immobilisés, carottier coincé, pièce indispensable cassée... Une aventure qui a sa part de danger aussi – Gordon Hamilton, un chercheur américain pourtant expérimenté, est décédé en octobre dernier en tombant dans une crevasse.

Si le sprint final est lancé, ce n’est donc qu’en 2023, au mieux, que l’on connaîtra le nom du vainqueur de la course – et surtout que la glace mythique sera ramenée à la lumière du jour.

Messagères du passé, ses précieuses bulles de gaz nous aideront à comprendre les effets climatiques planétaires d’*Homo sapiens*. Une espèce ingénieuse et fébrile qui n’était pas encore née lorsqu’elles furent capturées dans leur lin-  
ceul de glace.

## L’outsider chinois

Un trouble-fête entend s’immiscer dans le “duel” euro-américain : il s’agit des Chinois, qui depuis une décennie ont émergé en Antarctique comme une puissance scientifique. Sur leur base de Kunlun, ils ont entrepris, en 2014, un carottage, et espèrent atteindre le socle rocheux d’ici à 2019. Les experts n’en font pas des favoris. La logistique polaire est implacable, et en 2015 les Chinois n’arrivaient à forer que 25 jours par an. De plus, la glace profonde sous leur site pourrait être de mauvaise qualité. “En Antarctique, il y a beaucoup de surprises, commente prudemment le glaciologue Edward Brook. On ne peut pas exclure qu’ils aient de la chance !” Quelques autres nations ont aussi des projets, même si leurs chances sont encore plus ténues.

Coût de sa mise en œuvre ? 10,5 millions de dollars.

Les deux systèmes de forage viennent de commencer leur phase d’essais et de “debuggage”. “Il est indispensable de passer une saison là-dessus car les défis sont très nombreux, rappelle Jérôme Chappellaz. Il faut évacuer les copeaux de glace efficacement à mesure que notre sonde s’enfonce. Ne pas perdre la sonde dans la glace, qui tend à se refermer. Stabiliser le spectromètre, alors que la glace de surface est à  $-50^{\circ}\text{C}$  et celle des profondeurs à  $-3^{\circ}\text{C}$ . Nous avons déjà fait des tests dans

ville (plus de mille personnes y travaillent en été) où atterrissent leurs avions gros porteurs. Quarante kilomètres qui permettront non seulement de trouver de grandes profondeurs de glace, mais aussi de tester la transportabilité de leur volumineux matériel.

Si cette phase de validation se passe bien, les premiers forages destructifs, visant à trouver la bonne glace, pourront démarrer. Et quand les uns ou les autres y seront parvenus, il faudra encore extraire la glace. Les deux équipes en lice ont prouvé qu’elles maîtrisaient cette phase finale de



A lire : *Mémoires  
sauvées des glaces*,  
par Claude Lorius,  
éd. Flammarion, 2016.

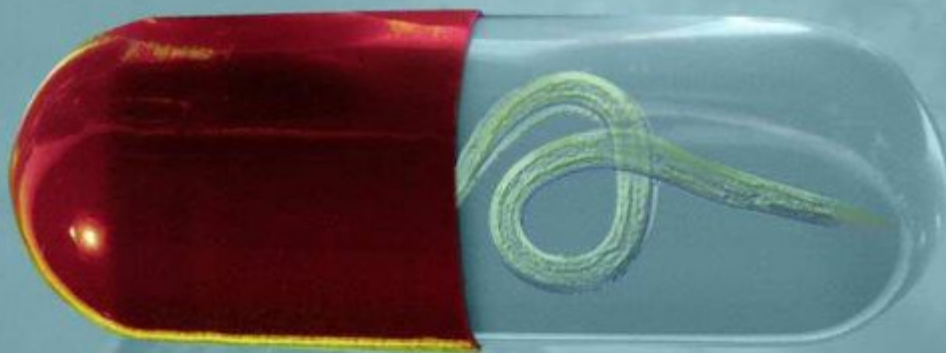
EN  
SAVOIR  
PLUS

science-et-vie.com



# & Science techniques

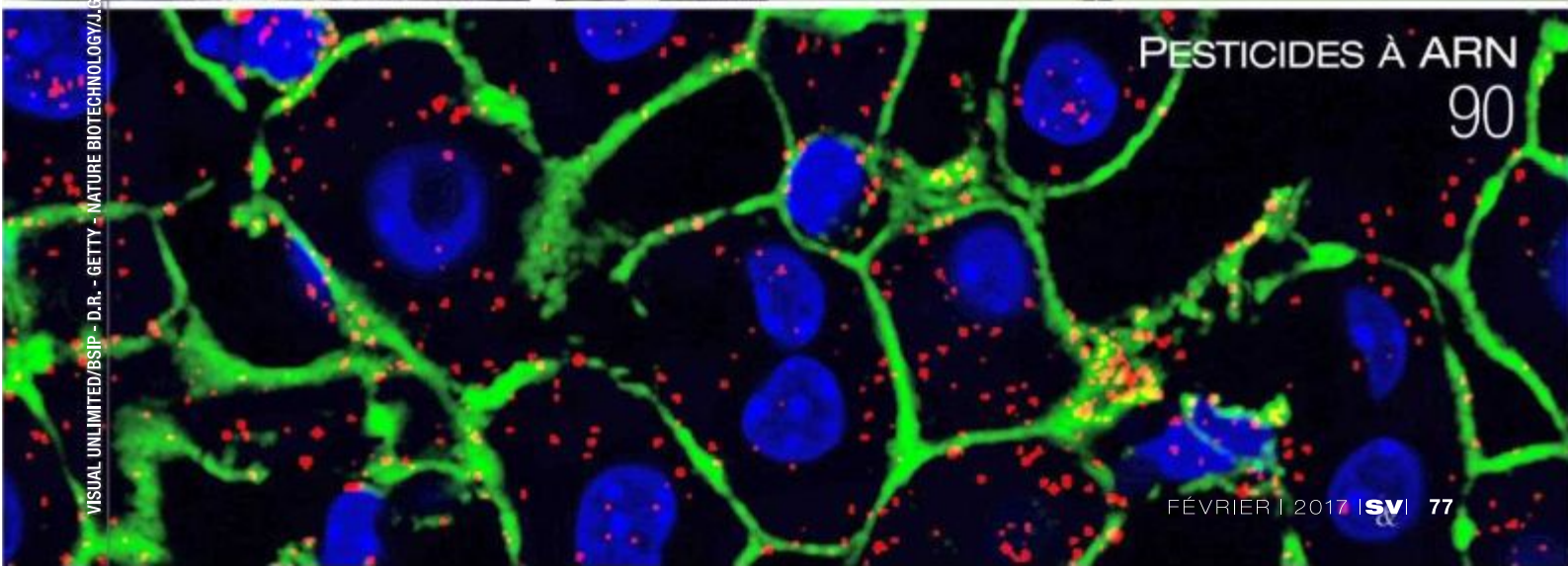
PARASITES  
78



IMPLANTS NEURONAUX  
84



PESTICIDES À ARN  
90







## Asthme, Crohn, allergies...

# Ils se soignent avec des parasites !

Avaler des vers pour soigner son asthme ou ses allergies ? Cette idée peu ragoûtante est déjà proposée à quelques patients. **Elsa Abdoun** nous explique pourquoi nos pires ennemis sont en passe de devenir nos alliés.

**I**ls s'installent sans y être invités dans nos intestins, notre cerveau, détournent à leur avantage nos ressources vitales et provoquent de terribles maladies, comme la bilharziose ou l'éléphantiasis. Les vers parasites comptent parmi les pires ennemis et les plus profonds dégoûts de notre espèce. Et pourtant, depuis dix ans, des médecins mènent des essais cliniques aussi sérieux que rebutants, au cours desquels ils traitent leurs patients en les infestant !

Ces vingt dernières années, les épidémiologistes ont en effet remarqué un phénomène

étrange : quand nous n'avons pas de parasites... ils nous manquent. En leur absence, notre système immunitaire n'est plus aussi bien régulé, et cela favoriserait l'apparition de très nombreuses maladies.

Asthme, rhume des foins, eczéma, diabète de type 1 (qui apparaît dans l'enfance), sclérose en plaques, maladie de Crohn... Au cours de la seconde moitié du **XX<sup>e</sup>** siècle, les pays développés ont vu croître des pathologies qui partagent toutes une origine commune : la suractivation du système immunitaire. Ce dernier, au lieu de défendre l'organisme uniquement contre

les éléments pathogènes qui s'y installent (microbes, molécules toxiques...), se met aussi à attaquer des éléments étrangers non toxiques (entraînant allergies et maladies inflammatoires), voire les propres cellules du corps (provoquant des maladies auto-immunes).

Dès les années 1990, plusieurs explications sont envisagées pour expliquer cette suractivation de nos défenses naturelles, comme la transformation de notre alimentation, la baisse de l'activité physique ou l'augmentation de certaines pollutions environnementales. Mais un facteur est particulièrement privilégié : notre moindre

### Contexte

Dans les pays développés, l'incidence des maladies inflammatoires et auto-immunes a augmenté au cours du **XX<sup>e</sup>** siècle, en même temps que les maladies parasitaires disparaissaient. Un lien de cause à effet ?

## Ascaris lubricoides

### C'est quoi ?

**Hôtes** Humains et animaux carnivores

**Localisation** Intestin

**Maladie provoquée**

Ascariidose

**Taille** Plusieurs dizaines de centimètres

### Potentiel thérapeutique

Des études ont montré une corrélation entre les infestations par ce ver et une fertilité accrue, une moindre sensibilité aux allergies et à l'eczéma, ainsi que certains paramètres de bonne santé cardio-vasculaire et métabolique (oxygène, triglycérides...).



→ exposition aux microbes. Plusieurs études épidémiologiques ont en effet suggéré, à la fin des années 1990, que les enfants plus exposés aux microbes (parce qu'ils étaient élevés avec de nombreux frères et sœurs ou dans des conditions d'hygiène moins strictes, notamment) développaient par la suite moins de maladies allergiques et auto-immunes.

Cette explication "hygiéniste" s'est depuis affinée : les virus, par exemple, ne semblent pas avoir d'action anti-inflammatoire, contrairement à certaines bactéries, qui sont déjà testées pour lutter contre les maladies inflammatoires de l'intestin (maladie de Crohn et rectocolite hémorragique). De nombreuses personnes avalent d'ailleurs des cocktails bactériens sous forme de compléments alimentaires dits "probiotiques". Or voilà qu'une source thérapeutique encore moins ragoûtante pourrait à l'avenir coloniser les rayons de nos pharmacies : les vers parasites.

Ces animaux, souvent invisibles à l'œil nu, qui ont besoin d'un organisme hôte pour survivre ou se reproduire, font encore de très nombreuses victimes dans les pays pauvres (voir Faits & chiffres, p. 84). Cependant, dans les pays développés, leur éradication n'a pas eu que des effets positifs.

### UNE LONGUE HISTOIRE COMMUNE

*"Pour rester indétectables par leur hôte, ces vers produisent des composés capables de moduler l'activité du système immunitaire",* explique Séverine Navarro, immunologiste à l'université James Cook (Australie). Plus précisément, ils stimulent la production de cellules appelées lymphocytes T régulateurs, qui limitent l'inflammation, afin que notre système immunitaire réduise ses attaques et finisse par les accepter. Un effet anti-inflammatoire qui pourrait même perdurer une fois le corps débarrassé du parasite, surtout quand l'infection s'est produite durant l'enfance, car

*"le système immunitaire est alors en train d'être programmé en fonction de ce à quoi il est exposé",* explique Joel Weinstock, médecin chercheur à l'université Tufts (Etats-Unis). Les parasites assurent ainsi la régulation du système immunitaire de notre espèce depuis ses origines, il y a plusieurs centaines de milliers d'années. Au point que notre corps n'a jamais eu besoin de le faire lui-même ! Conséquence : quand, en seulement quelques décennies, la longue histoire commune entre parasites et humains a été balayée par l'accès à l'hygiène et aux traitements dans les pays développés, les maladies inflammatoires et auto-immunes se sont, elles, multipliées.

Ce lien de cause à effet a été confirmé au cours des années 2000. Une étude portant sur des enfants gabonais a, par exemple, montré que ceux qui étaient infestés par le ver *Schistosoma haematobium*, à l'origine d'une maladie très fréquente appelée bilharziose,



### *Trichiuris trichiura*

#### **C'est quoi ?**

**Hôtes** Humains  
**Localisation** Côlon, cæcum, appendice  
**Maladie provoquée** Tricocéphalose  
**Taille** 3 à 5 cm

#### **Potentiel thérapeutique**

Sa présence a été corrélée à moins de cholestérol, d'allergies, de sclérose en plaques... Un patient atteint de rectocolite hémorragique, dont le cas a été étudié par des médecins, a observé, après s'être infesté lui-même, une disparition de ses symptômes pendant plusieurs années.



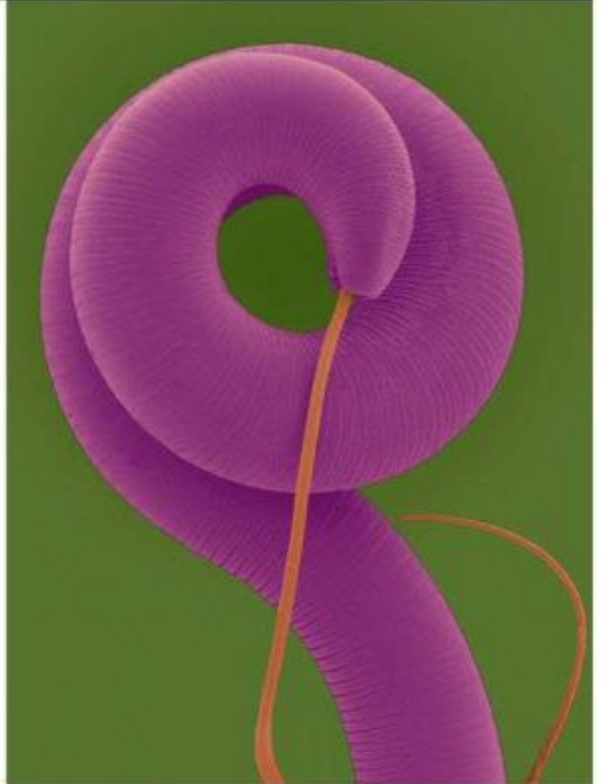
### *Necator americanus*

#### **C'est quoi ?**

**Hôtes** Humains et autres mammifères  
**Localisation** Duodéno-jéjunum  
**Maladie provoquée** Ankylostomose  
**Taille** 5 à 10 mm

#### **Potentiel thérapeutique**

Des infestations par ce ver ont été corrélées à une moindre prévalence de l'asthme. Des essais cliniques ont été menés contre de nombreuses maladies (rhume des foins, sclérose en plaques...) et des bénéfices sont suggérés contre l'intolérance au gluten.



chronique, et influencer des fonctions physiologiques variées. Ainsi, en 2015, une étude portant sur la fécondité de 986 femmes boliviennes a révélé que celles infestées par le ver *Ascaris lumbricoides* étaient plus fertiles, tandis que deux études menées en Chine et en Inde montraient que les personnes infestées par *Wuchereria bancrofti* ou le schistosome étaient beaucoup moins sujettes au diabète de type 2, qui apparaît à l'âge adulte.

Des expériences sur des rongeurs ont rapidement confirmé le potentiel thérapeutique de

étaient trois fois moins touchés par l'allergie aux acariens. C'est ensuite une étude argentine qui a montré que, parmi les personnes atteintes de sclérose en plaques, celles qui étaient

infestées par différents vers parasites présentaient des symptômes moins sévères. Les vers peuvent même prévenir l'apparition des nombreuses maladies favorisées par l'inflammation

## Trichuris suis

### C'est quoi ?

**Hôtes** Cochons

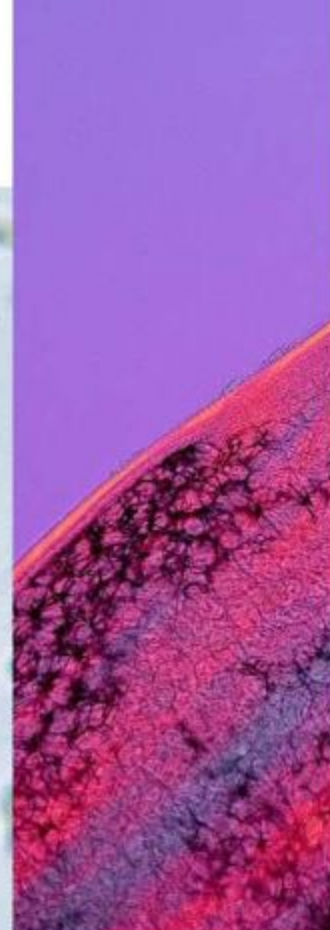
**Localisation** Cæcum, côlon

**Maladie provoquée** Aucune chez l'humain

**Taille** 3 à 8 mm

### Potentiel thérapeutique

Des essais cliniques ont été menés contre la rectocolite hémorragique, le rhume des foins, la sclérose en plaques, la maladie de Crohn, les allergies, la polyarthrite rhumatoïde, le psoriasis, l'autisme... Des effets bénéfiques ont été observés contre les maladies inflammatoires de l'intestin et des résultats préliminaires en suggèrent contre la sclérose en plaques.



cette voie. L'infestation par *Toxoplasma gondii* (responsable de la toxoplasmose) a ainsi diminué la sensibilité de souris allergiques au pollen de bouleau; des rongeurs infestés par le schistosome ont vu diminuer de moitié le dépôt de plaques de graisse sur la paroi de leurs artères (athérosclérose); et d'autres, inoculés avec *Nippostrongylus brasiliensis*, ont bénéficié d'une meilleure tolérance au glucose, et donc d'un risque de développer un diabète de type 2 probablement moindre.

Des médecins ont donc rapidement commencé à infester de véritables patients afin de lutter contre certaines maladies inflammatoires et auto-immunes manquant de traitements efficaces. Ils ont pour cela choisi des parasites qui ne provoquent pas de maladie dans les conditions de l'essai, ne risquent pas d'infester l'environnement, mourront au bout d'un temps limité et pourront être éliminés par traitement. La

prise de risque est donc faible, et d'autant plus justifiée, selon Séverine Navarro, que "*des patients sont tellement désespérés qu'ils se procurent et s'inoculent déjà eux-mêmes des vers vendus sur internet*".

### DES RÉSULTATS PROMETTEURS

Si plusieurs essais ont échoué, comme ceux menés contre le rhume des foins et les allergies alimentaires, quelques autres résultats sont encourageants. Contre la rectocolite hémorragique, par exemple. En 2005, l'équipe de Joel Weinstock, alors à l'université de l'Iowa, a publié les résultats d'un essai sur 54 patients ayant avalé soit un placebo, soit 2 500 œufs de *Trichuris suis* (un ver qui ne provoque de maladie que chez le cochon), toutes les deux semaines pendant trois mois. Près de la moitié des patients traités ont observé une diminution de leurs symptômes, contre seulement un sixième de ceux recevant le placebo. La même

équipe, deux ans plus tard, avec un protocole similaire, a constaté une rémission chez les deux tiers des 29 patients atteints de la maladie de Crohn, mais ces résultats n'ont pas été comparés à ceux d'un placebo.

Un essai contre l'intolérance au gluten, auquel a notamment participé Séverine Navarro, a également obtenu, en 2015, des résultats positifs. Les huit participants avaient dû faire preuve de courage: après avoir été infestés, à travers la peau, par vingt larves de *Necator americanus* (responsable, quand il est présent en grand nombre, de l'ankylostomose), ils ont été exposés, chaque semaine pendant un an, à des doses croissantes de gluten, jusqu'à atteindre des niveaux d'exposition entraînant habituellement des réactions très douloureuses. Or, les trois quarts d'entre eux les ont très bien supportées, au point que Séverine Navarro projette de "*lancer un essai avec plus de patients et un groupe placebo*".

## Faits & chiffres

Les maladies parasitaires ont fait plus de **1 million de morts en 2013**, à commencer par le **paludisme** (854 600 morts), la **leishmaniose** (62 500), la **cryptosporidiose** (41 900), l'**amébose** (11 300), la **maladie de Chagas** (10 600)... **L'Afrique, l'Amérique du Sud et l'Asie du Sud** sont les continents les plus touchés.





## **Enterobius vermicularis**

### **C'est quoi ?**

**Hôtes Humains**

**Localisation** Côlon

**Maladie provoquée** Oxyurose

**Taille** 1 à 13 mm

### **Potentiel thérapeutique**

Une étude a montré, chez des enfants taiwanais, que ceux qui étaient infestés par ce ver étaient également moins touchés par l'asthme et le rhume des foins.

Par ailleurs, une douzaine d'essais cliniques sont actuellement menés pour évaluer les effets du ver *Trichuris suis* sur la sclérose en plaques, mais aussi sur les maladies inflammatoires de l'intestin, le rhume des foins, l'autisme, les allergies alimentaires ou le psoriasis.

Quels que soient les résultats de tous ces tests, les spécialistes n'envisagent pas sérieusement d'amener des vers vivants dans les rayons des pharmacies. Car ces petites bêtes présentent aussi des inconvénients. Non seulement elles provoquent parfois des effets secondaires, tels que des maux de ventre, mais surtout,

*"elles ne peuvent pas être cultivées", regrette Séverine Navarro, qui doit "chaque fois les récupérer dans des excréments de personnes infestées".*

Une production à la chaîne est donc impossible, et le risque d'inoculer accidentellement d'autres agents pathogènes ne peut être exclu. Enfin, *"les parasites produisent des centaines de molécules différentes, dont une partie pourra avoir un effet négatif chez certaines personnes"*, prévient la chercheuse. Pour toutes ces raisons, mais aussi pour susciter l'intérêt de l'industrie pharmaceutique qui ne peut pas breveter des organismes

vivants, les chercheurs tentent à présent d'isoler les molécules anti-inflammatoires produites par les vers, afin d'en faire des médicaments. Plusieurs expériences sur des souris ont ainsi démontré l'an dernier leur potentiel contre les allergies aux acariens et au pollen du bouleau et contre l'asthme.

### **DES TRAITEMENTS PRÉVENTIFS ?**

L'avantage, par rapport aux anti-inflammatoires synthétiques présents sur le marché ? *"Grâce à la sélection naturelle, les parasites ont évolué durant des centaines de milliers d'années pour produire les molécules les plus efficaces et les moins nocives possible pour leur hôte"*, explique Rick Maizels, spécialiste de la question à l'université d'Edimbourg. Et leur action pourrait être plus durable, en particulier s'ils sont transmis durant l'enfance. Un espoir traverse d'ailleurs l'esprit de certains chercheurs : donner ces molécules, préventivement, aux enfants qui risquent de développer des maladies inflammatoires ou auto-immunes, afin de rééduquer leur système immunitaire de manière durable. *"A la manière d'un vaccin"*, résume Joel Weinstock.

Si ces recherches aboutissent, et que les maladies parasitaires sont enfin éradiquées des pays en développement, alors la médecine moderne aura réussi un véritable exploit : celui de transformer nos pires ennemis en puissants alliés.



A consulter : les études citées dans cet article.

science-et-vie.com

EN  
SAVOIR  
PLUS

*Implants neuronaux*

# L'ART DE CONTRÔLER PAR LA PENSÉE





# ER LES MACHINES

Des premières neuroprothèses permettent de piloter des drones ou des exosquelettes par la pensée. **Pierre-Yves Bocquet** y voit le début d'une nouvelle relation homme-machine.

**I**maginez qu'il soit possible de contrôler les objets par la pensée. De mettre en place une sorte de télépathie entre un homme et une machine qui permette aux ondes cérébrales du premier de piloter la seconde.

GETTY Dans un monde toujours plus automatisé, tout deviendrait

alors plus simple, plus rapide, plus intuitif. Fini les interfaces homme-machine préhistoriques telles que les interrupteurs, les télécommandes, le clavier ou la souris. Au panier aussi la reconnaissance vocale et gestuelle ou les manettes de jeu.

Se poser mentalement une question devant son ordinateur permettrait de lancer une requête dans un moteur de recherche. Le besoin de parler à Bob déclencherait aussitôt la composition de son numéro. L'envie de voir un programme changerait immédiatement de chaîne sur la télé. Un simple frisson ajusterait le thermostat

## Chronologie

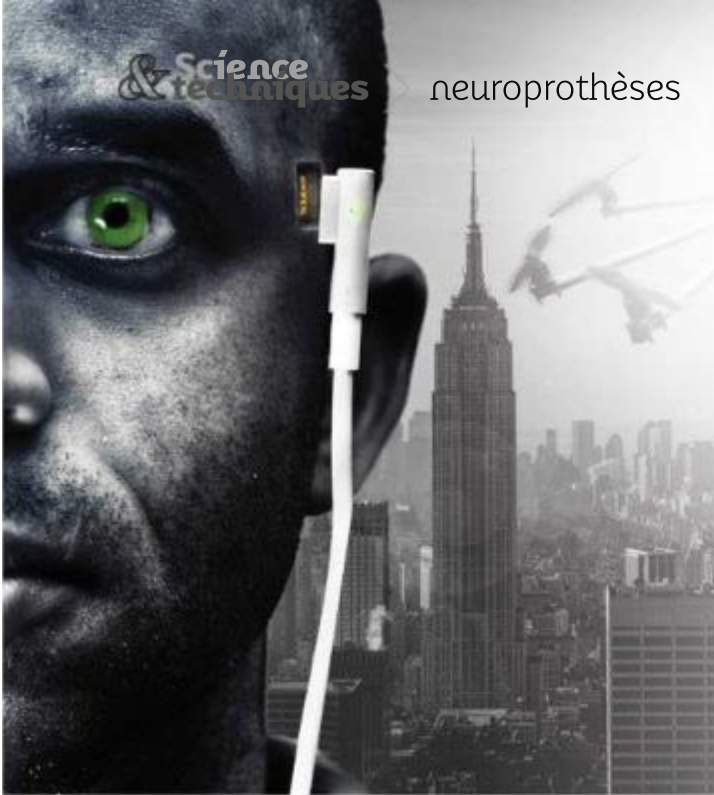
**1970** L'Agence de recherche pour la défense américaine (Darpa) lance un programme sur la communication à base de signaux cérébraux (EEG).

**1976** Le professeur Jacques Vidal (UCLA) traduit l'activité neuronale en mouvements d'un curseur sur un écran.

**1998** Le premier implant invasif permet la mesure de signaux cérébraux de haute qualité.

**2006** Une patiente tétraplégique pilote un bras articulé par la pensée.

**2016** Des singes paralysés retrouvent la marche grâce à un implant cérébral.



des prolongements naturels de votre corps, des appendices indissociables de votre identité.

Pur délire de technophile? Pas seulement. Regardez l'Orbit de Puzzlebox, d'ores et déjà en vente dans le commerce: ce drone-hélicoptère sans télécommande fonctionne avec un serre-tête. Il est doté de capteurs sensibles à l'activité cérébrale qui permettent de piloter l'engin par la pensée. Une fois qu'il a démarré, il suffit de penser "haut" pour qu'il s'élève, et "bas" pour qu'il descende, le tout sans fil et en temps réel. Une technologie également considérée comme "très prometteuse" pour les jeux vidéo, selon les conclusions du projet OpenViBE2, qui a rassemblé sur le sujet des laboratoires de recherche français (Inria, CEA...) et des industriels du jeu (Ubisoft...) durant trois ans.

Plus impressionnant: souvenez-vous du coup d'envoi de la Coupe du monde de football,

au Brésil, en 2014. Dans un stade chauffé à blanc et sous le regard du monde entier, un jeune Brésilien, Juliano Pinto, frappe dans la balle, debout sur la pelouse. Sauf qu'il est paralysé des membres inférieurs et porte un exosquelette qu'il contrôle mentalement.

## UN ESPRIT HUMAIN TRÈS OUVERT

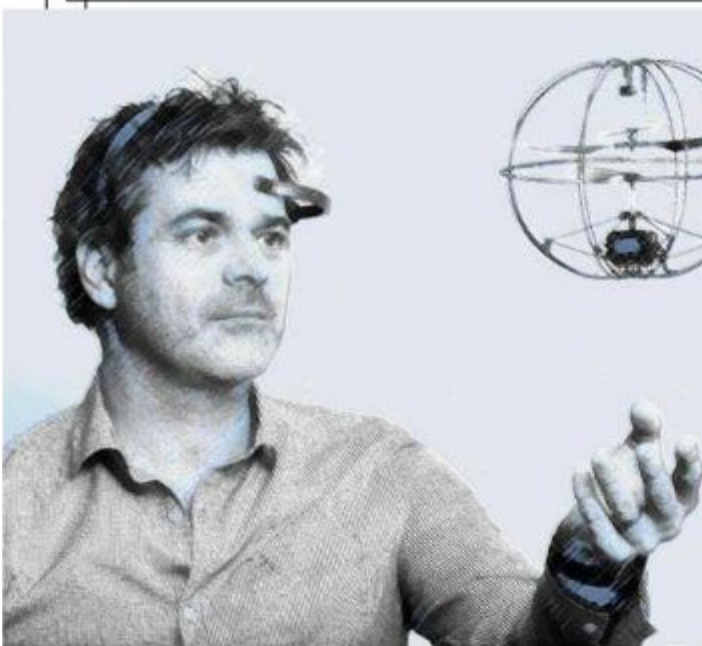
Après plusieurs mois d'entraînement – et plusieurs dizaines d'années de recherches menées par Miguel Nicolelis, professeur en neurosciences à l'université Duke, aux Etats-Unis –, il lui a suffi d'imaginer frapper dans le ballon pour que l'ordre, capté par un casque posé sur sa tête, soit transmis à sa jambe robotisée, et que celle-ci reproduise le geste. Surtout, Juliano Pinto était équipé d'un dispositif de *feedback* tactile sur l'avant-bras, lui permettant de sentir ses mouvements et le contact avec la balle. De quoi fondre, dans sa tête, la machine avec son corps.

Car l'esprit humain est très ouvert à de telles extensions. Une expérience menée en 2011 avait, par exemple, montré avec quelle facilité le cerveau peut "adopter" un troisième bras. Des chercheurs de l'institut Karolinska, en Suède, avaient confronté des cobayes à un bras de latex posé sur une table à côté de leur vrai bras, et avaient patiemment stimulé simultanément les deux appendices. Le cerveau des cobayes avait alors assez rapidement succombé à l'illusion et accepté les deux mains droites comme faisant partie d'eux-mêmes – la menace d'un coup de couteau dans le bras virtuel déclenchant les mêmes réactions physiologiques de panique que sur le bras réel.

→ du radiateur et un plissement des paupières l'intensité des phares de la voiture.

En clair: toutes ces machines connectées par wi-fi aux ondes de votre cerveau obéiraient à la seule force de votre pensée. Doté d'un tel superpouvoir, vous les ressentiriez alors irrésistiblement comme

## LA PISTE DU CASQUE NEURONAL



On le trouve déjà dans le commerce. L'Orbit de Puzzlebox est un drone qui se commande par électroencéphalographie (EEG): un serre-tête doté de capteurs sensibles à l'activité cérébrale permet de le piloter par la pensée. Mais l'EEG sera difficile à adapter à des équipements plus complexes: le signal peinant à traverser le crâne du porteur, cette technique reste en effet peu précise.



Le cerveau de Juliano Pinto était donc prêt à considérer l'exosquelette qu'il contrôlait comme un organe supplémentaire. Une véritable extension corporelle ouvrant des perspectives vertigineuses. Et pas seulement pour la vie des personnes souffrant d'un handicap moteur. Jeux vidéo, domotique, exosquelettes professionnels ou militaires... De telles interfaces semblent appelées à réinventer nos relations avec les machines.

Nombre de laboratoires travaillent à améliorer ce type d'interface, car tous les experts le reconnaissent : les mouvements de Juliano Pinto restent maladroits, imprécis, saccadés, limités. *"Personne n' imagine sérieusement qu'un tel système puisse faire marcher les paraplégiques"*, lâche Erwan Bezard, chercheur à l'Institut des maladies neurodégénératives de Bordeaux.

### LA BARRIÈRE DE L'OS CRÂNIEN

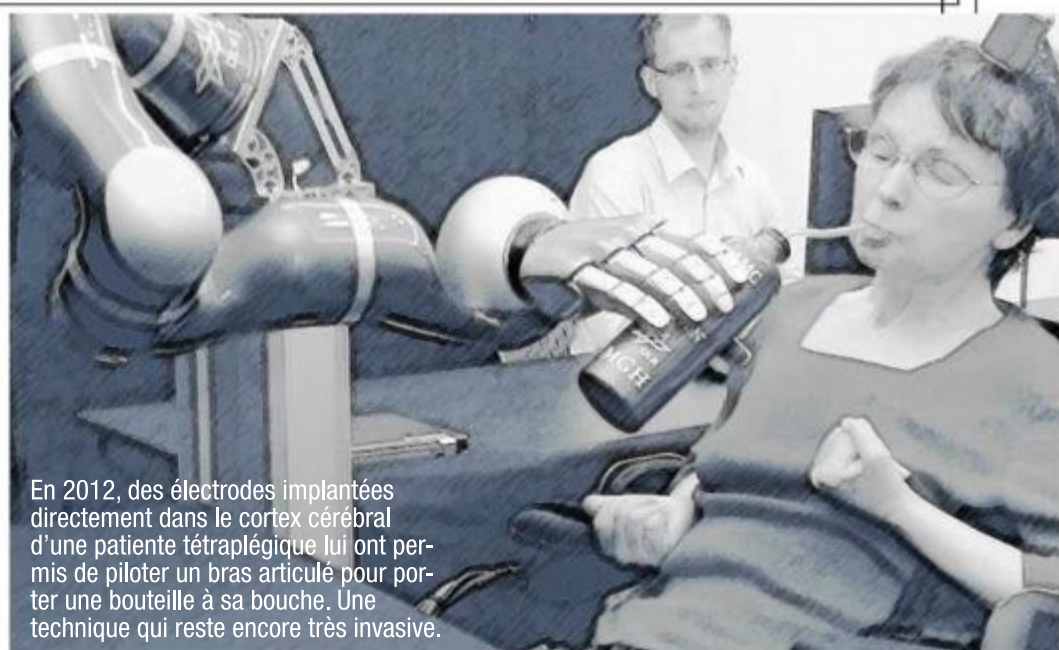
Son point faible ? Un décodage de l'activité cérébrale insuffisamment précis. L'exosquelette brésilien ou le drone de Puzzlebox se basent sur l'électroencéphalographie (EEG) : des électrodes posées sur le crâne permettent de géolocaliser et de mesurer l'activité neuronale, et donc de déduire, en fonction de la zone corticale excitée, l'action que le cerveau souhaite mettre en œuvre.

Les dispositifs basés sur l'EEG permettent de contrôler des équipements simples, comme une souris, un clavier ou un fauteuil roulant, mais ils atteignent vite leurs limites, en particulier pour contrôler une machine dotée de nombreux degrés de liberté. Car ces électrodes, placées trop loin du cerveau, n'ont une résolution que de

quelques milliers de neurones. Et le signal électrique neuronal qu'elles captent doit traverser la dure-mère (la membrane qui enveloppe le cerveau), l'os du crâne et la peau, autant d'obstacles qui l'atténuent et le déforment. *"C'est comme écouter de la musique à travers un mur : le son est affaibli, et on ne capte que certaines fréquences"*, précise Corinne Mestais, coresponsable du projet BCI porté

Pour aller plus loin, il faut donc rapprocher l'interface des neurones. Et la méthode la plus directe consiste à implanter carrément des capteurs sous le crâne. C'est par exemple le principe de l'implant baptisé Braingate qu'a développé l'équipe de John Donoghue, à l'université de Brown, aux États-Unis. Cette broche de 4 mm de côté est dotée de 100 électrodes directement

## LA PISTE DES ÉLECTRODES DANS LE CERVEAU



En 2012, des électrodes implantées directement dans le cortex cérébral d'une patiente tétraplégique lui ont permis de piloter un bras articulé pour porter une bouteille à sa bouche. Une technique qui reste encore très invasive.

par Clinatéc, un centre de recherche biomédicale pluridisciplinaire français. Résultat : *"Avec l'EEG, on n'arrive à faire que du 'on-off'. Ce n'est pas assez précis pour des applications complexes. Sans compter que le port du casque exige l'utilisation d'un gel de contact qui sèche dans le temps, ce qui dégrade le signal. C'est donc une option peu adaptée à des utilisations prolongées"*, estime Guillaume Charvet, qui travaille sur une nouvelle interface cerveau-machine, plus précise.

enfoncées dans le premier millimètre du cortex cérébral, où elles mesurent l'activité de quelques centaines de neurones. Reliée à un ordinateur, la broche traite ensuite le signal pour le transformer en commande robotique en temps réel.

Ce système a été testé une première fois avec succès en 2006 sur Matthew Nagle, un ancien joueur de football américain devenu tétraplégique. Grâce à son implant, il est parvenu à déplacer un curseur sur un écran, à lire ses mails, à

→ allumer sa télévision et à zapper, et même à ouvrir et fermer les doigts d'une prothèse externe de la main. Six ans plus tard, en 2012, c'est une version améliorée de ce même implant qui a permis à une patiente également tétraplégique de piloter un bras articulé placé devant elle, muni d'une main à cinq doigts, pour qu'il saisisse un verre et le porte à sa bouche. Un véritable exploit pour un robot contrôlé non par un algorithme, mais par un cerveau bien vivant

court-circuitant la lésion de leur moelle épinière. *"Cet implant mesure l'activité d'une centaine de neurones qui s'animent simultanément quand le singe veut marcher"*, détaille Erwan Bezard, coauteur de l'étude. Deux patients ont déjà été sélectionnés pour un essai clinique imminent chez l'homme.

Ces implants requièrent toutefois une craniotomie, une opération chirurgicale lourde et contraignante. Et doivent être recalibrés régulièrement pour

Une autre méthode moins invasive est donc à l'étude: poser un implant à la surface du cortex sans y pénétrer. C'est la piste suivie par le projet BCI-Clinathec visant, lui aussi, à contrôler un exosquelette par l'activité cérébrale. *"Nous avons opté pour une broche de 64 électrodes, incluant l'électronique nécessaire à l'amplification du signal, posée directement sur la dure-mère pour être moins invasive"*, détaille Guillaume Charvet, coresponsable du projet BCI-Clinathec.

## LA COURSE EST LANCÉE

Là encore, une craniotomie est nécessaire pour mettre en place deux implants prenant la place de l'os retiré (5 cm environ), à la verticale du cortex moteur, au-dessus des hémisphères gauche et droit pour diriger les mouvements des membres, respectivement, droits et gauches. Les électrodes envoient ensuite le signal via une liaison sans fil à un ordinateur qui le traitera. *"Il faut un minimum de décalage entre l'intention de mouvement et le mouvement qui en résulte. Le temps physiologique est de l'ordre de 200 millisecondes. Et on n'est pas loin d'atteindre ces ordres de grandeur"*, détaille Guillaume Charvet.

Cet implant n'a pour l'instant jamais été testé en conditions réelles: un protocole d'essai clinique chez l'homme a été soumis aux autorités réglementaires et accepté fin 2015. Le recrutement de personnes tétraplégiques est en cours et l'essai devrait débuter prochainement.

Il existe enfin une autre voie, encore moins invasive: des chercheurs de l'université de Melbourne ont annoncé

## Combien d'organes notre cerveau peut-il contrôler?

**Question: peut-on "augmenter" le cerveau d'organes externes à l'envi? L'expérience menée par l'institut Karolinska (Suède) donnant l'illusion que l'on possède un troisième bras démontre que le cerveau est prêt à dédier une place à un organe supplémentaire qu'on lui propose de contrôler. Mais ses capacités ne sont pas extensibles à l'infini: ainsi, l'apprentissage de la lecture passe par le recyclage de neurones initialement dédiés à d'autres activités (comme la reconnaissance faciale), induisant une possible compétition entre des tâches qui sollicitent les mêmes aires cérébrales. Alors, combien d'organes, de prothèses ou d'objets un cerveau humain est-il capable d'appréhender et de contrôler? A ce jour, personne ne peut encore le dire.**

qui n'a pas été programmé pour réaliser une telle tâche.

De tels implants sont même susceptibles de court-circuiter des zones cérébrales lésées. Exemple: une équipe internationale pilotée par l'Ecole polytechnique de Lausanne a implanté une neuroprothèse de 96 électrodes dans le cortex moteur gauche de deux macaques paralysés de la patte arrière droite, et l'a reliée à un implant spinal sur la moelle épinière. Résultat: cette neuroprothèse leur a permis de remarcher en

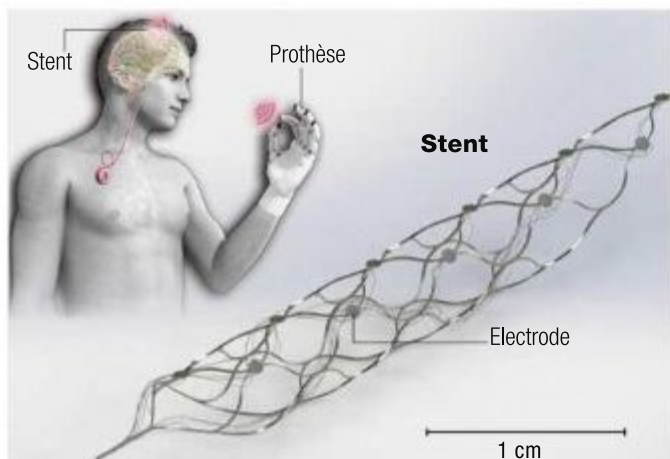
déterminer quelle activité cérébrale correspond à quelle tâche. Le cerveau reconfigure en effet en permanence ses connexions neuronales au fur et à mesure des apprentissages. *"Quand on cible peu de neurones, on mesure l'activité correspondant à des tâches précises, mais on court le risque de perdre le contact avec ces neurones à long terme"*, explique Maureen Clerc, directrice de recherche à l'Institut national de recherche en informatique et en automatique (Inria).





## LA PISTE DU STENT CÉRÉBRAL

Pour éviter une lourde opération chirurgicale, des chercheurs de l'université de Melbourne ont placé les électrodes sur un stent (petit ressort qui renforce la paroi artérielle). Inséré dans le réseau sanguin, il achemine les électrodes vers le cortex où elles mesureront l'activité cérébrale. Premiers essais chez l'homme prévus à la fin de l'année.



l'année dernière avoir fait la démonstration, chez l'animal, qu'une interface cerveau-machine peut être placée près du cortex moteur en passant par les vaisseaux sanguins. Sans craniotomie, donc.

Le principe ? Les électrodes sont disposées sur des stents, ces petits ressorts qui permettent de renforcer de l'intérieur les parois artérielles défaillantes. Il suffit alors de passer par le cou, par exemple, pour les glisser à travers le réseau sanguin jusqu'à l'endroit voulu, où elles effectuent leurs mesures et les envoient ensuite – sans fil – à l'extérieur du crâne. Un essai clinique sur l'homme devrait débuter fin 2017 et pourrait aboutir, selon les chercheurs, à une solution commercialisable dans six ans.

Quelle sera l'interface la plus efficace ? Un implant à l'intérieur du cortex ? Sur le cortex ? Ou un stent dans les vaisseaux sanguins ? La course est lancée. Même si de nom-

breuses améliorations sont encore nécessaires avant que ces interfaces cerveau-machine puissent se diffuser dans la société.

### LE DÉFI DU NEURO-FEEDBACK

D'abord, sur la miniaturisation des électrodes et leur biocompatibilité. *“La sécurité à long terme des implants chez l'humain n'a pas encore été démontrée pour les interfaces en contact direct avec le cerveau”*, reconnaît Alan Rudolph, vice-président à la recherche à l'université d'Etat du Colorado, impliqué dans le Walk Again Project de Miguel Nicolelis.

Il faudra également améliorer le traitement du signal cérébral, son décodage et sa transmission sans fil, qui se doit d'être robuste et sécurisée. Mais il faudra surtout imaginer comment mettre en place le retour vers le cerveau des informations issues de la machine : *“Qu'ils soient invasifs ou pas, ces systèmes posent aussi un*

*défi commun, celui de la façon de générer un feedback durant leur utilisation”*, souligne An Do, chercheur au département de neurologie de l'université de Californie. Sachant qu'il est difficile de présager d'éventuels effets secondaires de ce neuro-feedback. Enfin, quelle que soit l'interface, de longs et laborieux apprentissages seront nécessaires pour que l'utilisateur parvienne à affiner le lien entre sa pensée et l'action qui en résulte. *“On n'apprend pas à jouer un concerto en un jour”*, résume Guillaume Charvet.

L'enjeu pour les personnes souffrant d'un handicap moteur est tel qu'aucun de ces obstacles ne semble véritablement insurmontable – c'est en tout cas la conviction des chercheurs impliqués.

Mais jusqu'où ces interfaces cérébrales permettant de prendre le contrôle des machines se diffuseront-elles ? Serge Grygorowicz, PDG de RB3D, un fabricant français d'exosquelettes d'assistance pour les métiers pénibles, ne s'attend pas à une démocratisation très rapide : *“Ce sera peut-être pour après-après-demain. Pour l'instant, les utilisateurs valides ne sont pas prêts à passer sur le billard pour commander une machine.”* Et comme le souligne Maureen Clerc, *“il serait dommage de solliciter le cerveau pour des tâches simples, facilement réalisables autrement”*.

Pour autant, la technologie avance à grands pas... Sans vraiment présager des réponses aux questions que pose cette intrusion de la machine (l'implant, mais aussi l'objet qu'il pilote) dans la partie la plus intime de notre corps.



A voir : les vidéos des expériences citées dans l'article.

A consulter : les travaux sur le stent et le Walk Again Project.

science-et-vie.com

EN SAVOIR PLUS





Années 1930

PREMIERS PESTICIDES  
DE SYNTHÈSE



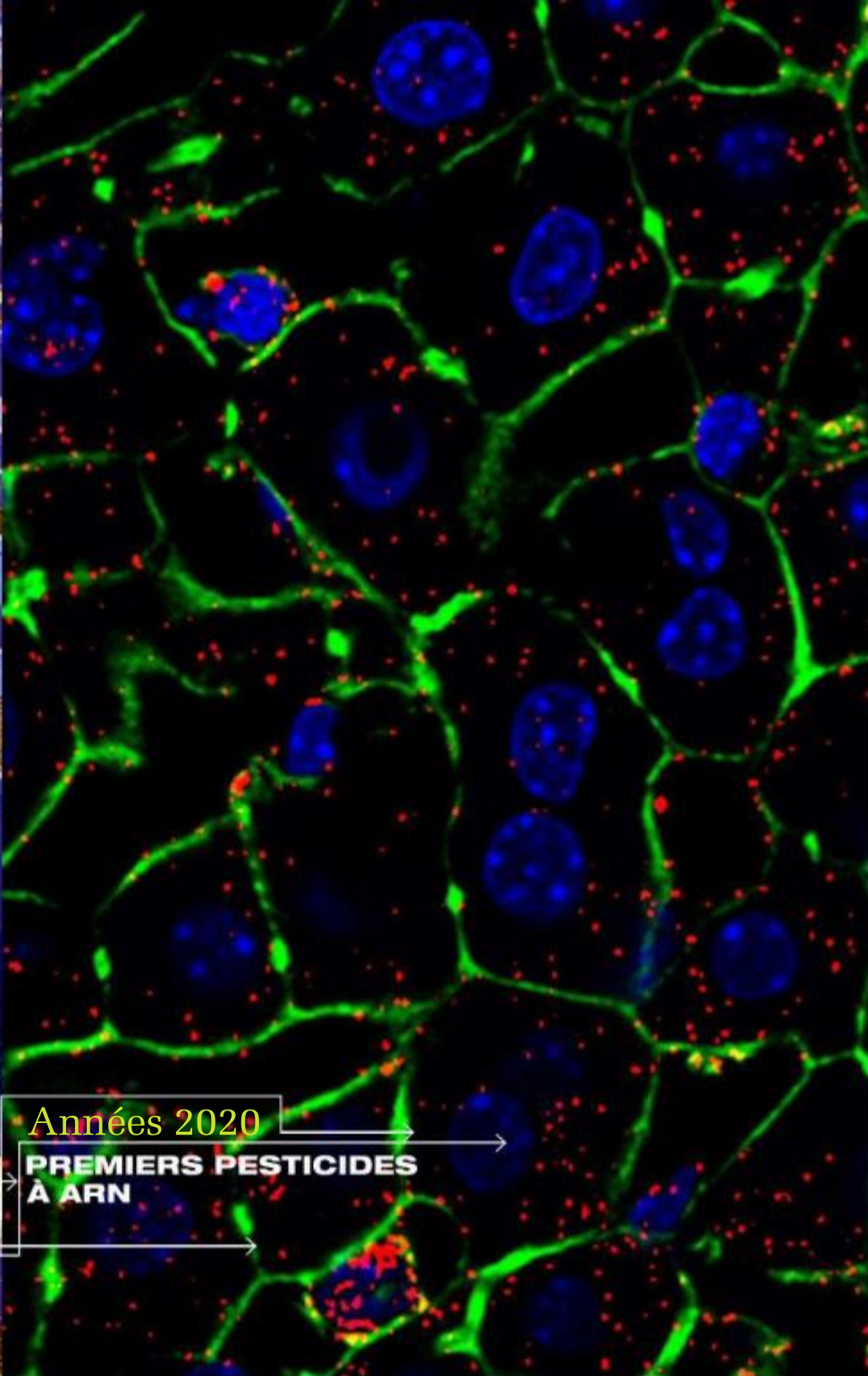
Années 1990

PREMIERS  
ORGANISMES  
GÉNÉTIQUEMENT  
MODIFIÉS

*Pesticides à ARN*

# LA 3<sup>e</sup> GRANDE RÉVOLUTION AGRICOLE ?





Années 2020

PREMIERS PESTICIDES  
À ARN

GETTY - G.STEINMETZ/COSMOS - NATURE  
BIOTECHNOLOGY/J.GILLERON/M.ZERIAL

Contre les bio-agresseurs, les agriculteurs pourraient disposer d'une nouvelle arme, inspirée autant des pesticides que des OGM. Car elle consiste à vaporiser... des fragments d'ARN. **Alexandra Pihen** lève le voile sur les promesses et les risques de cette potentielle révolution.

### Enjeux

Pour répondre à l'augmentation des besoins alimentaires mondiaux estimée à environ 70 % d'ici à 2050, produire mieux et plus s'impose. Face à des pesticides chimiques aux effets sanitaires délétères et à des plantes génétiquement modifiées à l'efficacité relative, les industriels dessinent la future révolution agricole : elle sera généticobiologique.



**C'**est une révolution mais elle est encore confidentielle. Presque cent ans après l'introduction des pesticides de synthèse dans l'agriculture et tout juste trente ans après la création des premières plantes génétiquement modifiées (PGM), une nouvelle arme biotechnologique contre les nuisibles se prépare à déferler sur les terres agricoles.

Pas d'épandage de produits chimiques, ni de transformation du génome des plantes. Plutôt un curieux mélange de ces deux techniques : la vaporisation, directement sur les plantes, de produits qui transforment transitoirement l'expression de l'ADN, le temps d'éliminer les virus et autres bio-agresseurs. Des solutions contenant de petites séquences d'ARN qui allient la facilité d'utilisation des pesticides à la précision des OGM.

Absorbés par la plante ou par le ravageur, ces petits ARN – ou siARN, pour Small Interfering ARN – synthétisés expérimentalement s'avèrent être de puissants outils d'inactivation des gènes capables de détruire spécifiquement les nuisibles sans modifier la plante.

Ce mécanisme a un nom : l'interférence ARN. Pour le

**Pulvérisé sur la plante, le pesticide à ARN est ingéré par l'insecte nuisible.**



## Comment le pesticide à base d'ARN protège la plante des insectes

Dans cet exemple, la technique du pesticide à ARN vise à protéger les champs de maïs contre la chrysomèle, un insecte nuisible.

En se liant à un ARN messager flottant dans ses cellules, il va inhiber la fabrication d'une protéine indispensable à la survie de l'animal.

comprendre, un petit rappel des rouages cellulaires s'impose. Les cellules des plantes – et des animaux – portent leurs instructions dans l'ADN au niveau des gènes. Pour fabriquer une protéine, la séquence de chaque gène est copiée sous forme de brins d'ARN – les ARN messagers – qui flottent hors du noyau afin de guider le mécanisme de production de protéines de la cellule. Et c'est à ce niveau que les petits ARN peuvent bloquer le processus. En se liant à un ARN messager flottant, ils déclenchent sa dégradation ou son inhibition, empêchant

la traduction et la synthèse de la protéine correspondante. Il suffit donc de connaître la longue séquence – plus de 200 nucléotides – de l'ARN messager que l'on souhaite réduire au silence, de synthétiser des petits ARN – inférieurs à 30 nucléotides – ayant une petite séquence complémentaire commune à l'ARN messager ciblé, puis de les vaporiser sur la plante. Ils se chargeront de couper les messages jusqu'à l'inhibition totale du gène.

A partir de là, tous les scénarios sont théoriquement possibles. Dans le cas d'une mauvaise herbe ou d'un parasite fongique – rouille, mildiou –, il s'agira de cibler un ARN messager vital de l'herbe indésirable ou de l'agent pathogène pour le détruire. De la

D.R. - BRUNO BOURGEOIS

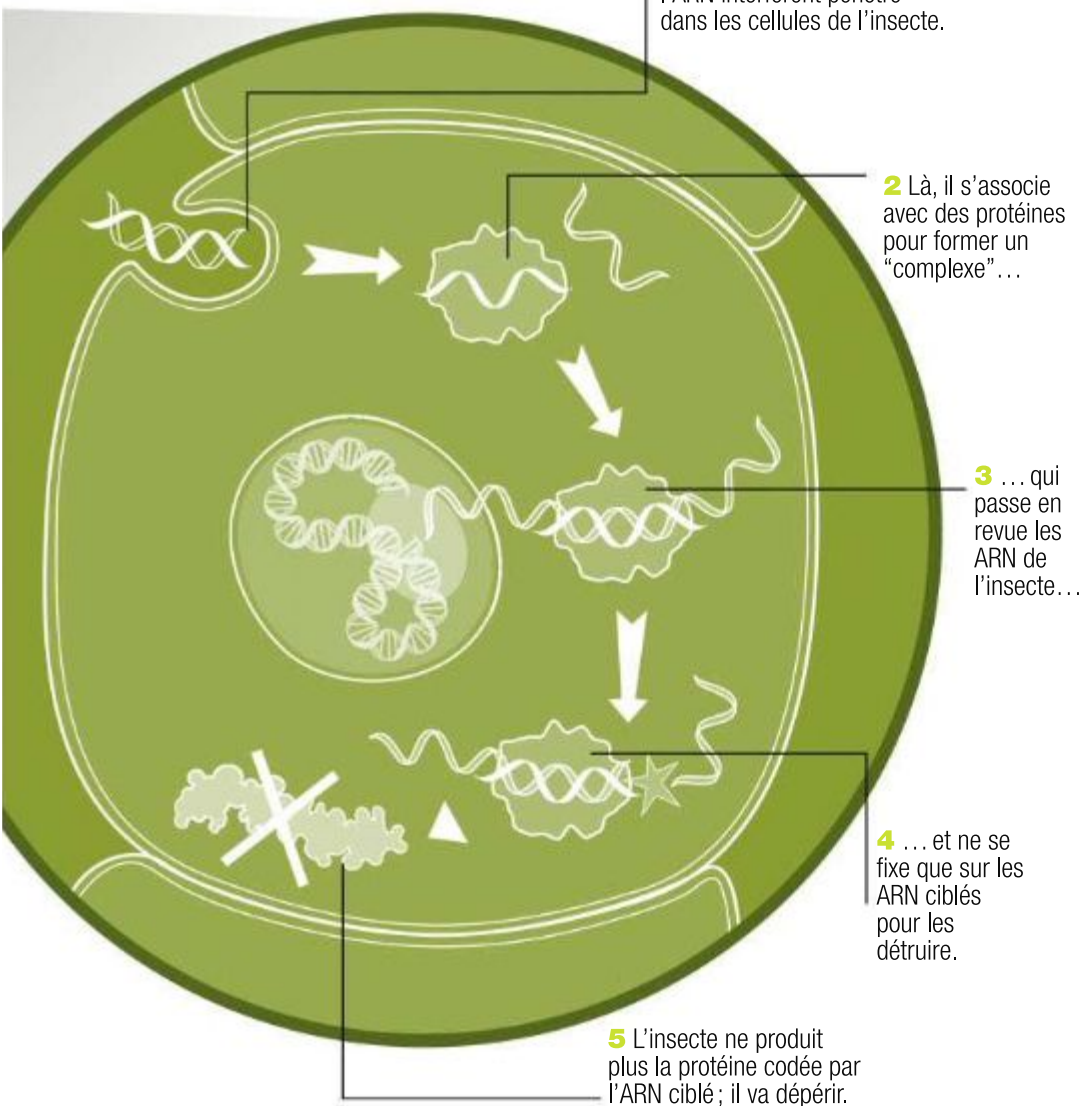


**ROBERT FRALEY**  
Directeur de recherche  
chez Monsanto

*C'est l'un des progrès pour l'agriculture les plus excitants de toute ma carrière*



## ... provoquant le dépérissement cellulaire de l'insecte



**HERVÉ VAUCHERET**

Directeur de recherche à l'Inra

*Sur le papier, tout semble aller, mais on ne sait pas s'il y aura des effets secondaires*

même façon, un virus à ARN sera détruit par un petit ARN de séquence complémentaire. Quant à un insecte ou un nématode venant se nourrir de la plante, l'action du petit ARN aura par exemple pour rôle d'inhiber un gène nécessaire à la digestion: incapable de se nourrir, le ravageur mourra.

*"La technologie d'interférence ARN est l'un des progrès pour l'agriculture les plus excitants de toute ma carrière: c'est mieux pour les cultivateurs, plus durable*

*et conforme à notre vision, à savoir: créer des produits qui permettent aux agriculteurs de produire plus dans de meilleures conditions", s'enthousiasme Robert Fraley, directeur de recherche chez Monsanto.*

### LES OGM EN DISGRÂCE

Un enthousiasme qui s'explique en partie par la "douche froide" qui s'est abattue sur les OGM ces dernières années. Défendus bec et ongles par les géants de la biotechnologie, ils sont de plus en plus sévère-

ment jugés, voire rejetés, par les consommateurs et les Etats. En réaction à ces controverses, ces petits ARN – baptisés Processus temporaires d'interférence ARN ou Post Transcriptional Gene Silencing (PTGS) – sont donc présentés par ces mêmes entreprises comme une solution biologique. Ce qui est vrai... à l'origine. Car la technique s'inspire du mécanisme naturel mis en œuvre par les plantes pour se protéger des virus.

Dénuées de système immunitaire, ces dernières ne peuvent se débarrasser d'un virus qu'en le détruisant via de petits ARN. Mais comment faire pour détruire spécifiquement l'ARN du virus? *"C'est ici que la cellule est 'intelligente'. Elle utilise l'ARN du virus lui-même, le découpe*



## Les sprays à ARN Une avalanche d'applications

Ci-contre, des exemples potentiels d'utilisation (à l'essai ou simplement envisagés) de ces nouveaux pesticides, allant de la destruction d'une mauvaise herbe, d'un parasite... à l'amélioration des plantes.

### Contre les champignons

Contre la rouille de la tige qui s'attaque au blé, à l'orge...

Contre le mildiou qui s'attaque au blé...

### Contre les virus

Contre le virus de la tache annulaire qui s'attaque à la papaye

Contre le virus de la sharka qui s'attaque au prunier

Contre le virus de la mosaïque qui s'attaque au haricot...



→ *en petits morceaux, et utilise ces derniers comme des armes pour détruire les grands ARN. Ce mécanisme s'est certainement mis en place au cours de l'évolution, puisqu'on le retrouve chez tous les eucaryotes, chez les champignons, les mammifères...*", explique le spécialiste Hervé Vaucheret, directeur de recherche à l'Inra.

### INVESTISSEMENTS MASSIFS

La découverte de l'interférence ARN a valu le prix Nobel en 2006 à deux généticiens américains, Fire et Mello. Depuis, les laboratoires pharmaceutiques se livrent à une course aux médicaments bloquant les gènes pathogènes. Même s'ils se font discrets, les géants de l'agroalimentaire se sont, eux, lancés dans les "médicaments"

pour plantes. Depuis six ans déjà, ils investissent massivement dans la recherche et le développement. Syngenta, par exemple, a investi plus de 500 millions de dollars pour acquérir la société de biotechnologie belge DevGen, précurseur de la technique d'interférence ARN dès 1996. De son côté, Monsanto (racheté depuis par Bayer) a investi des millions depuis 2010 dans ces solutions et mentionne sur son site la mise au point imminente de plusieurs "sprays à ARN". Certains produits ambitionnent même d'améliorer les

qualités nutritionnelles et organoleptiques des cultures, voire de permettre à des plantes devenues résistantes au Roundup d'y être sensibles à nouveau.

Atteindre ces objectifs en se passant d'OGM présente deux énormes avantages pour les industriels : des coûts et des contraintes allégés. D'après Monsanto, 1 g de petits ARN coûte 50 \$, et un dixième de cette quantité suffirait à exterminer 100 % des dory-





### Contre les nématodes

Contre le varroa qui s'attaque à l'abeille...

### Contre les insectes

Contre les doryphores qui s'attaquent à la pomme de terre...

### Et aussi pour doper les plantes

Pour réduire la teneur en lignine de la luzerne et la rendre plus facile à digérer

Pour améliorer l'huile de soja

Pour empêcher la pomme Arctic de "brunir" une fois pelée

Pour produire des graines de café décaféinées

Pour produire des cacahuètes non allergisantes...



phores sur un demi-hectare de pommes de terre. De plus, cette solution présentée comme biologique pourrait échapper aux réglementations et controverses liées aux PGM (lire encadré, page suivante).

Mais pour l'instant, la course au brevet et à la mise au point des méthodes d'application de cette nouvelle révolution agricole concentrent toutes les énergies. "Notre principale recherche sur ce point porte sur la vaporisation foliaire", précise John Combest, porte-parole de Monsanto. En effet, leur premier spray –aux résultats positifs, d'après leurs dires– consiste à répandre, à l'image d'un pesticide classique, une solution saline de petits ARN synthétiques di-

rectement sur les feuilles des pommes de terre en espérant que les doryphores en ingèrent suffisamment. "Ça fonctionne avec le petit ver transparent *C. elegans*, alors pourquoi pas?", estime Ivan Le Masson, ingénieur de recherche à l'Inra, avant de relativiser: "Mais il faudra en vaporiser une quantité énorme afin que l'insecte puisse en ingérer un maximum."

Pour les virus, larves et champignons, le défi est tout autre. Car les petits ARN, pour être efficaces, doivent pénétrer dans le cytoplasme de la plante. Difficile d'imaginer que ce soit possible par simple épandage... La vaporisation serait la solution. Car si Monsanto l'affirme sans dévoil-

VUE JIN - S.GSCHNEISSNER/SPL/COSMOS - H.SCHWARTZ/AGSTOCKUSA/SPL - T.ANDRIEUX/NATURIMAGES

ler ses secrets de fabrication, une équipe de chercheurs supervisée par l'institut des sciences des plantes AlPlanta de Neustadt (Allemagne) a démontré, en août 2016, la faisabilité de cette technique. Seule condition: vaporiser la solution d'ARN de synthèse à haute pression.

Les chercheurs ont utilisé une plante de tabac transgénique incorporant le gène de la GFP (Green Fluorescent Protein) capable de synthétiser une protéine fluorescente verte. Pour vérifier l'effet des petits ARN interférents sur le ciblage et la destruction de l'ARN messager de la GFP, il leur a suffi d'observer l'extinction de la fluorescence, signe de la réduction au silence du gène codant pour cette protéine. Or, parmi plusieurs modes d'application –injection, infiltration et vaporisation– testés à divers endroits de la plante, seule une grosse goutte envoyée à haute pression sur une feuille a engendré une action locale et systémique – l'extinction de la GFP affecte toute la plante. Reste à adapter la technique afin qu'elle soit rentable pour les agriculteurs sur un champ entier, sans abîmer les plantations.

→ Mais que sait-on des risques ? “Sur le papier, tout semble aller, estime Hervé Vaucheret, mais quand on produit des petits ARN artificiels dans une plante, on ne sait pas exactement quelles vont être les cibles potentielles. C’est ce que nous appelons les side effects : on va éteindre tel gène en exprimant des petits ARN, mais n’y aura-t-il pas un effet sur autre chose ?” On peut vou-

l’infini ! Et ils sont très variés : ils peuvent commencer à un endroit, s’arrêter à un autre, être plus ou moins longs, plus ou moins modifiés... Si le petit ARN doit être ingéré par un nématode ou un insecte, il faut ensuite connaître le génome de l’organisme cible pour évaluer les effets secondaires.”

Quant à la stabilité du phénomène, la question reste ouverte : quelle sera la durée de

rents réduisent son expression au silence. Lorsqu’il disparaît, il n’y a plus de mémoire de son action. Mais un certain nombre de petits ARN vont rester flottants dans la cellule : combien de temps ? Je ne sais pas...”, avoue Ivan Le Masson.

### MANQUE DE DONNÉES

Sur l’implication d’éventuels résidus de petits ARN interférents dans l’environnement ou dans la plante consommée, le porte-parole de Monsanto se veut rassurant : “L’ARN fait partie des êtres vivants, il est déjà dans de nombreux aliments que nous mangeons et se décompose rapidement dans l’environnement.” Mais pour Hervé Vaucheret, la question reste ouverte : “Que se passe-t-il si on lâche un truc comme ça dans la nature ? Il va falloir beaucoup d’investigations... Et c’est très difficile à évaluer : nous ne connaissons pas le génome de tous les organismes des êtres vivants de la planète ! Il faut, par précaution, évaluer les risques avec précision.”

Oui, sur le papier, l’idée semble bonne. Mais à mesure que cette technique sortira de la confidentialité des laboratoires, les débats pourraient s’enflammer. Alors, imaginer une commercialisation dans trois ans paraît bien ambitieux.

## La loi saura-t-elle gérer cette nouvelle révolution génétique ?

Que faire de ces produits biotechnologiques ? En 2014, un groupe d’experts de l’Agence de protection de l’environnement des Etats-Unis a estimé que les risques liés à l’absorption d’ARN n’étaient pas prouvés. “La mise en œuvre de telles vaporisations à grande échelle demeure hypothétique. Mais elle permettrait d’être hors catégorie OGM puisque la technique est censée ne pas transformer la plante”, estime Marcel Kuntz, directeur de recherche CNRS au Laboratoire de physiologie cellulaire et végétale. Pour Hervé Vaucheret, ce n’est pas si simple : “En France, la réglementation impose que toutes les expériences se fassent en zone confinée, dans des laboratoires. Et même si certaines applications sont potentiellement réalisables, il y a des risques et des bénéfices.”

loir détruire le tube digestif du doryphore, mais pas celui de la coccinelle... Reste donc à cibler le plus précisément possible l’ARN messager à neutraliser dans la plante et à choisir le siARN le plus spécifique qui soit. “Dans des contextes très particuliers, cinq à six nucléotides d’un ARN messager peuvent suffire pour constituer une cible pour les siARN, précise Hervé Vaucheret. Si on multiplie le nombre d’ARN messagers d’une plante par le nombre de combinaisons chimiques qui peuvent les modifier, on n’est pas loin de

vie du siARN dans la plante ? Une équipe chinoise a démontré la présence de petits ARN dans des cellules humaines issues de cellules végétales et donc de l’alimentation. Ils seraient donc capables de traverser la barrière intestinale (voir S&V n° 1134, mars 2012)... Ces petits ARN seront-ils encore présents dans la plante lorsque nous la consommerons ? “Le génome de la plante n’est pas modifié. Elle contient des petits ARN dans son cytoplasme mais le processus n’est pas stable. Tant que l’ARN cible existe, les petits ARN interfé-



A voir : plusieurs vidéos expliquant l’interférence ARN.  
A lire : une publication scientifique qui évalue les risques liés à l’utilisation de l’interférence ARN chez les plantes.



**EN SAVOIR PLUS**

science-et-vie.com



### LA CROISIÈRE GROENLAND & ISLANDE

DU 14 AU 27 AOÛT 2017

14 JOURS / 13 NUITS



Le M/S Astoria  
250 cabines seulement !

ILULISSAT REYKJAVIK ÎLES FÉROÉ ÎLES SHETLAND

### Si vous ne devez faire qu'une seule croisière Grand Nord dans votre vie, C'EST CELLE-CI !

- **UN ITINÉRAIRE EXCLUSIF ET DE TOUTE BEAUTÉ** Les espaces immaculés du Groenland, les fjords majestueux et les glaciers du Grand Nord, les volcans et sources chaudes islandaises et les fameuses îles Shetland... Des moments exceptionnels en perspective !
- **LA CULTURE À L'HONNEUR** Afin d'éclairer vos découvertes durant les escales, de passionnantes conférences vous seront proposées à bord. L'histoire, l'art et la culture des contrées abordées n'auront plus de secrets pour vous !

Et la présence de la rédaction de Science&Vie\*

= **UN PROGRAMME RICHE DE MOMENTS EXCEPTIONNELS ET DE TOUTE BEAUTÉ !**

À PARTIR DE

## 2955€

Prix par personne  
en cabine double (Cat. 1)  
forfait séjour inclus

\* Sauf en cas de force majeure.

Téléchargez la brochure complète sur

[www.croisieres-lecteurs.com/sv](http://www.croisieres-lecteurs.com/sv)

ou écrivez-nous en renvoyant le coupon ci-dessous.

INFORMATIONS & RÉSERVATIONS

**01 41 33 59 59** EN PRÉCISANT SCIENCE&VIE

Du lundi au vendredi de 9 à 18h

Complétez, découpez et envoyez ce coupon à SCIENCE&VIE CROISIÈRE GROENLAND ET ISLANDE - CS 90125 - 27091 EVREUX CEDEX 9

☐ OUI, je souhaite recevoir GRATUITEMENT et SANS ENGAGEMENT la documentation complète de cette croisière proposée par Science&Vie.

Nom : ..... Prénom : .....

Adresse : .....

Code postal : ..... Ville : .....

Tél. : ..... Email : .....

☐ Oui, je souhaite bénéficier des offres de Science&Vie et de ses partenaires. Avez-vous déjà effectué une croisière (maritime ou fluviale) ☐ OUI ☐ NON

Conformément à la loi "Informatique et Liberté" du 6 janvier 1978, nous vous informons que les renseignements ci-dessus sont indispensables au traitement de votre commande et que vous disposez d'un droit d'accès, de modification, de rectification et de suppression de ces données par simple courrier. Crédits photos : Rivages du Monde, IStock. Cette croisière est organisée en partenariat avec Rivages du Monde. Science & Vie est une publication du groupe Mondadori France, siège social : 8 rue François Ory - 92543 Montrouge Cedex.





> Une flotte d'une centaine de quadrimarans pourrait nettoyer les côtes polluées par le plastique grâce à d'immenses hermes (en orange) plongeant à 1,50 m de profondeur.



FRANCE

# Un projet d'armada pour nettoyer les océans

Le chiffre est connu : 8 millions de tonnes de plastique sont déversées chaque année dans les océans. Il a poussé le navigateur Yvan Bourgnon à imaginer une force d'intervention rapide pour récupérer ces plastiques avant qu'ils ne se désagrègent. *"L'idée est de développer une flotte d'une centaine de bateaux le long des côtes"*, explique-t-il. A la base du concept : le Manta, un quadrimaran de 60 m de longueur et 49 m de largeur, doté de deux mâts de 50 m ! *"Les suivants pourront même être plus gros"*, révèle le navigateur. Ils seront équipés à l'arrière d'un grand peigne rétractable inspiré des fanons de baleine. D'une largeur de 72 m, une fois déployé dans l'eau, il agira comme un véritable filtre nettoyeur : *"Quelque chose entre la moissonneuse-*

*batteuse et le chasse-neige, avec des herbes descendant jusqu'à 1,50 m de profondeur récupérer tous les objets flottants ou entre deux eaux."* Et des tapis roulants pour remonter la moisson à bord. Sa capacité de stockage sera de 600 m<sup>3</sup> de plastique. Pendant les campagnes de ramassage, le Manta évoluera à une vitesse lente de deux nœuds pour ne pas capturer de mammifères marins. En ligne depuis mi-octobre, une campagne de financement participatif vise à réunir 150 000 € pour lancer la construction d'un prototype au 1/10. Ensuite ? *"Deux années d'études et de tests en bassin de carène, puis deux ans de construction sont prévues"*, précise Yvan Bourgnon. *"Notre objectif étant de mettre à l'eau le premier Manta en 2021."* **E.T.-A.**



DENVER (ÉTATS-UNIS)

## Un nouvel avion de ligne supersonique à l'essai

Treize ans après le dernier vol du Concorde, l'idée d'un avion de ligne supersonique redécolle. L'américain Boom Technology vient de présenter une maquette au 1/3 du XB-1 (40 places, 20 m de longueur et 5 m d'envergure). Ses trois turbo-réacteurs le propulseraient à Mach 2,2, mettant Londres à seulement 3 h 15 de New York!

Le fuselage en fibre de carbone, plus léger que l'aluminium du Concorde, et ses ailes plus fines devraient lui permettre d'atténuer le bruit produit lors du passage du mur du son. Premiers essais en vol fin 2017. Commercialisation au mieux en 2020 **E.T.A.**



BARCELONE

## De simples ballons à l'hélium pourraient lancer des satellites

Tracter un lanceur jusqu'à une quarantaine de kilomètres d'altitude à l'aide d'un ballon gonflé à l'hélium afin de larguer dans l'espace jusqu'à 75 kg de charge utile : voici le principe du projet BlooStar, de la société espagnole Zero 2 Infinity. Une fois à destination, le lanceur est largué, mis à feu et séparé de ses trois étages avant de guider ses satellites jusqu'à leur orbite. *"Il existe une forte demande pour ce type de petits satellites pesant moins de 200 kg"*, expliquent les promoteurs du projet. Principal intérêt de ce système : son coût et sa simplicité. Une trentaine de tests du ballon ont déjà été réalisés depuis 2009, pour une mise en service prévue au mieux d'ici à 2018. Dans un second temps, ce dispositif devrait également être capable d'emmener des touristes en orbite!

**E.T.-A.**



# Plus esthétiques, des tuiles solaires vont renouveler le photovoltaïque

L'idée proposée par Elon Musk (Tesla, SpaceX...) est élégante. Ces tuiles seraient composées de trois couches: la première, colorée, qui se décline en quatre styles (ardoise, toscan...), permet, depuis la rue, d'avoir l'impression que le toit est en vraies tuiles; la seconde est une couche de verre extrêmement résistante aux impacts; et la troisième une cellule solaire qui emmagasine l'énergie. Ces tuiles peuvent également être équipées d'éléments chauffants pour faire fondre la neige en hiver. Elles devraient être disponibles d'ici un an aux Etats-Unis, où 5 millions de toits sont renouvelés chaque année.

S.F.

## ***Idee neuve***



### **“FAIRE DES MAMMOGRAPHIES SANS RAYONS X EST POSSIBLE”**

*Liberto Demi, spécialiste de l'imagerie médicale par ultrasons à l'université d'Eindhoven, aux Pays-Bas*

La fin de la compression des seins, des rayons X et peut-être des faux positifs, promet Liberto Demi! Sa technique s'appuie sur la détection et l'analyse des ondes émises en réponse à une onde ultrasonore. Comme l'échographie, mais avec une analyse encore plus fine des ondes. Le principe: si on injecte dans le sang un produit de contraste (des molécules fréquentes en imagerie médicale, qui répondent plus fort que les tissus biologiques), on peut, après traitement par un algorithme, reconstruire une image 3D des vaisseaux sanguins dans le sein. *“En théorie, notre technique peut capturer les changements microvasculaires”*, précise Liberto Demi. Or, pour alimenter sa croissance, une tumeur produit un réseau de vaisseaux très dense et chaotique. C'est ce phénomène, caractéristique des cancers, qui sera mis en évidence. Et contrairement aux rayons X, les ultrasons sont sans danger. *“Nous espérons commencer les tests cliniques dans quelques années”*, conclut le chercheur.

A.V.



BOOM TECHNOLOGY - ZEROINFINITY





## PAYS-BAS

### Un aspirateur géant promet de filtrer les particules fines

La start-up hollandaise Envinity propose d'utiliser des aspirateurs géants pour filtrer 100 % des particules fines (inférieures à 10 micromètres, elles seraient responsables d'environ 350 000 décès prématurés par an en Europe) et 95 % des particules ultrafines. Posé sur les toits des bâtiments dans des zones polluées (industrielles, aéroports...), cet engin en acier de 8 m de longueur traiterait 80 000 m<sup>3</sup> d'air/heure dans un rayon de 300 m et sur une hauteur de 7 km, selon des tests réalisés avec un prototype. Le principe : ses filtres ionisent l'air pour attirer les particules fines, sans produire l'ozone habituellement généré par ce type de système.

S.F.

## LA PAZ (MEXIQUE)

### L'aquaculture écologique s'installe en haute mer

Développer l'aquaculture pour lutter contre la surpêche ? Oui, mais elle est souvent pratiquée de manière intensive dans des fermes proches des côtes, sources de pollution (déchets, médicaments...). A moins, comme le teste déjà l'américain InnovaSea au Mexique, d'élever les poissons en pleine mer ! Ses Aquapods sont de grandes cages sphériques de 15 à 20 m de diamètre, immergées ou dérivantes, qui offrent aux poissons un environnement plus proche de leur milieu naturel tout en disposant d'un système pour les nourrir à distance et surveiller leur croissance.

L.B.



ROYAUME-UNI

# Le premier **stade de foot** **100 % en bois** va voir le jour

Après les immeubles, voici le premier stade de football tout en bois ! Il devrait sortir de terre en 2020 près de la ville de Stroud, au Royaume-Uni. Imaginé par la célèbre agence Zaha Hadid Architects (à laquelle on doit déjà le Centre aquatique des derniers Jeux Olympiques de Londres), il a été commandé par le club local des Forest Green Rovers, qui souhaitait que son nouveau terrain soit aussi vert que la couleur de son maillot ! Résultat : toute la structure (murs, planchers...) de ce stade de 5 000 places sera intégralement réalisée en bois. Un matériau naturel – issu de forêts durablement gérées – doté d'une faible empreinte carbone comparé au béton et à l'acier. Seule entorse : le toit sera composé d'une membrane transparente pour laisser passer la lumière. **L.B.**



ZAHA HADID ARCHITECTS - INNOVASEA

*Rendez-vous en...*  
**2030**

## **LES CENTRALES À CHARBON SERONT DÉFINITIVEMENT FERMÉES AU CANADA ET EN FINLANDE**

Mettre fin aux émissions de gaz à effet de serre liées à la production d'électricité dans des centrales à charbon... c'est ce que promet Catherine McKenna, la ministre canadienne de l'Environnement. Dans le cadre de la COP 21, le Canada s'engage en effet à réduire ses émissions de gaz à effet de serre de 80 % d'ici à 2050, par rapport au niveau de 2005. Ce qui passera, entre autres, par la fermeture de ses centrales à charbon d'ici à 2030. Des unités qui rejettent chaque année quelque 10 % des émissions totales du Canada, soit l'équivalent de 1,3 million de voitures en circulation ! La Finlande se fixe également le même objectif : le pays, par la voix de son ministre de l'Economie Olli Rehn, a ainsi annoncé vouloir fermer l'ensemble de ses centrales à charbon dans le même délai. Seul moyen, selon lui, d'atteindre ses objectifs internationaux sur le climat. Pendant ce temps, aux Etats-Unis, Donald Trump a, lui, promis durant sa campagne victorieuse de remettre en cause les accords de Paris et de relancer l'industrie du charbon... **E.T.-A.**



ALLEMAGNE

## Stocker l'énergie verte sous l'eau est à l'étude

Gérer les fluctuations de production d'électricité éolienne ou solaire en stockant les surplus dans des champs de sphères immergées pour les redistribuer plus tard... C'est le principe de Storing Energy at Sea (StEnSea), testé depuis novembre 2016 dans le lac de Constance avec un prototype de 3 m de diamètre immergé à 100 m. Le principe : en période de surproduction, l'eau est pompée hors de la sphère. Le différentiel de pression engendré par cette opération – d'autant plus important que la sphère est immergée profondément – permet ensuite, quand on a besoin d'électricité, de laisser l'eau s'engouffrer à nouveau à l'intérieur à travers une turbine. *"Plusieurs cycles de tests nous permettent d'affirmer que ça marche!"*, se réjouit Matthias Puchta, chef du projet. Prochaine étape : une sphère de 30 m de diamètre à 700 m de profondeur capable de stocker 20 MWh... de quoi alimenter environ 20000 habitants pendant une heure. **A.P.**



# LA SCIENCE & LA VIE

106

Maths à l'école

**Com  
relev  
le ni**

119

Technofolies

**Le bracelet qui rend  
toutes les montres  
intelligentes**

124

Questions/Réponses

**Est-il vrai que le  
chocolat contient  
beaucoup de magnésium ?**



**Science  
& société**

106

**Maths à l'école**

Comment relever le niveau ?

**Pics de pollution**

6 choses à savoir sur la situation  
en France

**On tenait à vous dire**

Il sera difficile de faire rentrer le  
génie génétique dans sa lampe...

**Urgences hospitalières**

On sait qui y va et pourquoi

**Science  
& vie pratique**

114

**Bon à savoir**

Dix conseils pratiques en direct des  
publications scientifiques

**Technofolies**

Le bracelet qui rend toutes les  
montres intelligentes ; la première  
draisienne électrique ; une ampoule  
doublée d'une caméra de surveil-  
lance ; l'assiette 100 % compostable  
à la fin du pique-nique...

**Science  
& culture**

120

**Questions/Réponses**

Est-il vrai que le chocolat contient  
beaucoup de magnésium ? Pourquoi  
le tonnerre dure plus que l'éclair ?  
Tous les animaux transparents-ils ?...

**A voir/A lire**

Néandertal, la vérité en BD

**Il y a... 40 ans**

La découverte d'une vie incroyable  
au fond des mers

J.GYARMATY/VSUM-REA - D.R. - SHUTTERSTOCK

Maths à l'école

# Comment relever le niveau ?

C'est un paradoxe connu : la France compte presque autant de médaillés Fields (l'équivalent du prix Nobel pour les mathématiques) que les Etats-Unis... malgré une population cinq fois moins importante et 140 000 élèves, en moyenne, qui décrochent chaque année. Deux études internationales parues fin 2016 montrent que les choses évoluent... en s'empirant ! Si elles confirment le décrochage massif, en soulignant sa forte corrélation au niveau socio-économique, elles remettent en cause la capacité

du système éducatif français à produire une élite.

La première étude, menée par l'OCDE, est une référence en matière de politiques éducatives. Baptisée Pisa (Programme international pour le suivi des acquis), elle évalue tous les trois ans les compétences en mathématiques, en sciences et en lecture des élèves de 15 ans dans 65 pays. Son cru 2015, dont les résultats ont été dévoilés en décembre 2016, confirme la chute observée en France lors des classements précédents. Alors que 11 % des élèves y sont évalués comme "très performants" en mathématiques, 24 % se révèlent en difficulté, c'est-à-dire à peine capables de comprendre et résoudre un problème simple. Conséquence : la France se classe tout juste au niveau de la moyenne (490 points) des pays de l'OCDE, avec 493 points.



Mais les résultats d'une autre étude internationale, publiés en novembre, sont encore plus inquiétants. Moins connue en France, l'étude Timss (Trends in International Mathematics and Science Studies) évalue les élèves de niveau CM1 sur leurs acquis en mathématiques et en sciences. La France, qui y participait pour la première fois, se retrouve carrément au dernier rang des 22 pays de l'OCDE présents ! Très loin derrière l'Angleterre ou la Norvège. Même nos meilleurs mathématiciens font pâle figure : seuls

11 % des élèves français, au lieu des 25 % attendus, se hissent au niveau du quartile européen d'élèves les plus performants.

## NUMÉRATION OU CALCUL

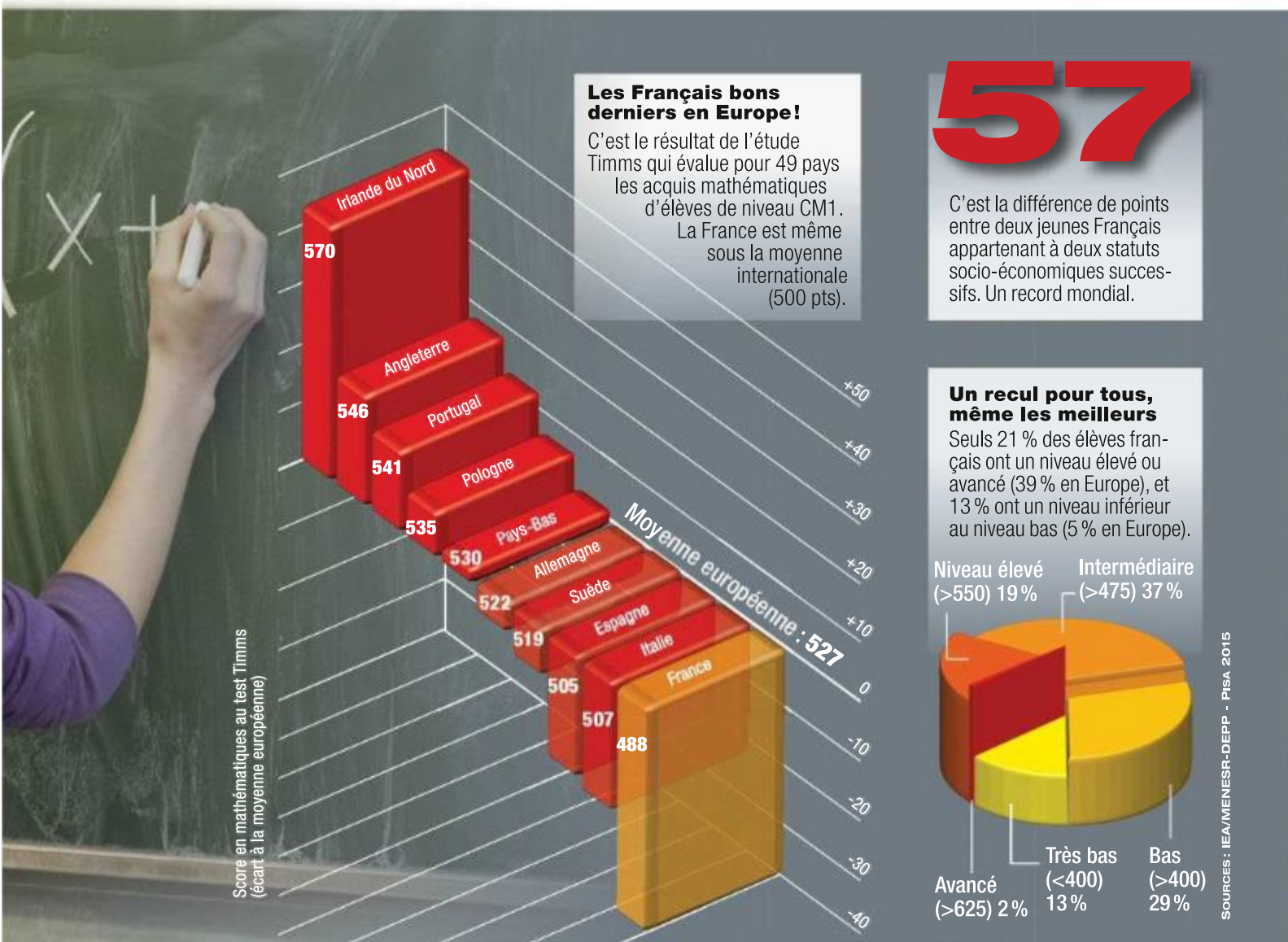
Or, ce n'est pas qu'une affaire de moyens. La France consacre bien plus d'heures à l'enseignement des mathématiques que ses voisins : 193 en CM1, contre 158 en moyenne en Europe... Autant d'indices suggérant que c'est bien la manière dont on enseigne les mathématiques qu'il faudrait revoir.

## LE RAPPEL DES FAITS

Deux études internationales récentes, **Timss**, et **Pisa**, révèlent le niveau inquiétant des élèves français en mathématiques. Si l'on savait déjà le système éducatif français inégalitaire, sa capacité à produire une élite est désormais remise en cause.

J.GYARMATY/VISUM/REA - D.R. - M.KONTENTE





Pour beaucoup de spécialistes, l'essentiel se joue au plus jeune âge, en primaire, voire à la maternelle, quand s'acquièrent à la fois la numération et le goût des maths. "Nous voulons en France que les enfants rentrent trop précocement et trop loin dans les approches formelles, en tenant moins compte de la compréhension profonde", déplore Rémi Brissiaud, chercheur en psychologie cognitive et en didactique des maths. Qui pointe la responsabilité des programmes scolaires de

1986 à 2015 privilégiant le comptage par numération au détriment du calcul.

Jusqu'en 2015, en effet, les programmes fixaient pour objectif de savoir compter jusqu'à 30 en fin de maternelle. "Cela donne des enfants qui comptent

comme des automates, mais sans toujours comprendre les relations entre les chiffres. Pour eux, les nombres sont morts", observe le spécialiste... D'où la difficulté de passer à des niveaux d'abstraction supérieurs ensuite.

Rémi Brissiaud mène un programme de recherche sur des classes françaises et norvégiennes: "L'école norvégienne enseigne les chiffres plus lentement au départ: les apprentissages automatiques ne débutent qu'au CE1... Les élèves ont



RÉMI BRISSIAUD

Chercheur en psychologie cognitive et en didactique des mathématiques

**Nos programmes donnent des enfants qui comptent comme des automates. Pour eux, les nombres sont morts**

## 7 pays, 7 pratiques pédagogiques qui marchent : avec quelles priorités ?



### IRLANDE

#### LUTTER CONTRE LE DÉCROCHAGE SCOLAIRE

Le programme d'achèvement des études cible spécifiquement plus de 36 000 jeunes, avec pour objectif d'empêcher ces élèves de décrocher. En fonction des circonstances propres à chaque établissement et des besoins des élèves, les activités peuvent inclure des cours de soutien scolaire, des groupes d'aide aux devoirs, des programmes extra-scolaires, des tutorats, des programmes d'épanouissement social...

### SINGAPOUR

#### RENDRE L'ENSEIGNEMENT LUDIQUE

Ce pays écrase les classements internationaux (Timss comme Pisa). Si une partie est difficilement comparable à la France (Singapour est un petit pays riche), sa méthode d'enseignement des mathématiques a de quoi inspirer tant elle diffère de l'approche académique française. Les enseignants y ont interdiction d'introduire un concept sans l'avoir "matérialisé" au préalable, certaines notions n'étant formalisées que bien plus tard, au niveau équivalent au CE2.



### ROYAUME-UNI

#### CIBLER LES ÉLÈVES DÉFAVORISÉS

En 2011, le ministère de l'Éducation a mis en place un système de primes pour les écoles en milieu défavorisé. Ces écoles gèrent de façon autonome leurs dépenses, mais elles sont tenues de cibler les élèves défavorisés dans les stratégies mises en œuvre, de publier des informations en ligne sur la façon dont ces ressources supplémentaires ont été utilisées, et de rendre compte de la performance de tous les élèves.

→ alors eu le temps de bien conceptualiser, et très peu sont laissés de côté." Les nouveaux programmes de 2015, qui rétablissent l'enseignement par le calcul et abaissent l'objectif de comptage en maternelle de 30 à 10 vont, selon lui, dans le bon sens.

"Mais il ne faut pas se reposer seulement sur les programmes", avertit Michel Fayol, professeur émérite et membre du Laboratoire de psychologie sociale et cognitive de l'université Blaise-Pascal de Clermont-Ferrand. "Encore faut-il s'assurer que les résultats

sont au rendez-vous sur le terrain !" Et de plaider pour une formation pédagogique plus ambitieuse des instituteurs, "en mettant moins l'accent sur la matière maths que sur la manière de transmettre les maths".

C'est ce qui fait, par exemple, la force des

pédagogues finlandais. "Ce pays, dans la même situation que nous il y a trente ans, a remonté la pente en misant sur la valorisation du rôle de l'enseignant : sur le plan du salaire, mais aussi de la formation." Une question d'autant plus importante en France que 70 % des instituteurs ont suivi un cursus littéraire et s'estiment moins à l'aise pour "donner du sens aux mathématiques" que leurs homologues de l'OCDE.

La bonne nouvelle, c'est que toutes ces pistes d'amélioration sont compatibles avec la réduction des inégalités qui minent notre

## En sciences, ce n'est guère mieux

Outre les maths, les études internationales Timss et Pisa évaluent également les sciences naturelles, physiques et chimiques. Dans ces matières, malheureusement, les petits Français se révèlent à peine meilleurs qu'en maths. Selon Pisa 2015, ils prennent ainsi moins de plaisir dans l'apprentissage des sciences que la moyenne des élèves des pays de l'OCDE... Ce qui résonne avec "l'angoisse des maths" exprimée dans l'enquête Pisa 2012, qui révélait que les jeunes Français étaient parmi les Européens les plus anxieux au sujet de leurs cours de maths.





### CORÉE DU SUD VALORISER LES PROFESSEURS

En Corée du Sud, tous les enseignants doivent se conformer à des exigences de haut niveau. En contrepartie, le métier est très valorisé : statut très respecté, stabilité de l'emploi, salaire élevé et conditions de travail favorables. Par ailleurs, de nombreux avantages les incitent à travailler en milieu défavorisé.

### ALLEMAGNE MISER SUR LES FILIÈRES PROFESSIONNELLES

L'Allemagne est dotée d'un très solide système : l'Education et la formation professionnelle (EFP). La législation en vigueur permet également aux jeunes avec une qualification professionnelle d'accéder à l'enseignement supérieur.



### CANADA ACCOMPAGNER LES PROFESSEURS

Le programme Ontario Teacher Leadership and Learning (2007-2015) avait pour but de soutenir le développement professionnel des enseignants en leur permettant de partager leurs expériences avec d'autres collègues. Il s'est appuyé sur l'élaboration et l'évaluation de leurs propres innovations. Bilan : 70 % des personnes interrogées affirment avoir acquis de nouveaux savoir-faire.



### FINLANDE DIFFÉRENCIER L'ENSEIGNEMENT

L'apprentissage individualisé et l'enseignement différencié sont fondamentaux dans l'organisation de la scolarité. Les particularités de chaque élève (personnalité, aptitudes...) sont prises en compte dans le choix des méthodes pédagogiques. Par ailleurs, le métier d'enseignant est très sélectif et la formation met l'accent sur le savoir-faire et l'adaptation aux différents types d'élèves.

système éducatif. *"C'est un problème trop souvent considéré comme une fatalité en France. Pourtant, s'il n'y avait qu'une leçon à retenir de Pisa, c'est qu'un enseignement alliant qualité et équité est possible"*, martèle Eric Charbonnier, analyste à l'OCDE. La preuve ? Canada, Angleterre, Corée, Estonie, Finlande... ces pays très différents sont parvenus à truster le haut des classements tout en assurant une égalité des chances acceptable, en grande partie grâce à leurs politiques éducatives. Des politiques variables, mais avec des

ingrédients récurrents (redirection des investissements éducatifs vers l'école primaire et les établissements en zones défavorisées ; autonomie des chefs d'établissement ; valorisation du rôle de l'enseignant et formation continue).

### POLITIQUE DE LONG TERME

Chose rare pour une organisation revendiquée "neutre", l'OCDE plébiscite ainsi certains volets de la Loi de refondation de l'école engagée par le gouvernement français en juillet 2013, et dont les effets n'étaient pas encore mesurables dans Pisa et Timss

2015. Ces mesures incluent notamment la scolarisation précoce des enfants de moins de 3 ans, des moyens accrus pour le primaire, ou le rétablissement de l'année de formation en alternance des enseignants stagiaires après sa suppression en 2010. *"Ces changements vont dans le sens des préconisations du programme Pisa depuis vingt ans"*, confirme Eric Charbonnier. D'un autre côté, l'Organisation pousse la France à aller plus loin sur des aspects moins prégnants de la culture française : plus grande autonomie des établissements,

évaluations des résultats de l'enseignement...

Reste que toute politique éducative vertueuse s'inscrit dans le temps – Angleterre et Estonie sont remontées dans les classements en... quinze ans. A cet égard, les virages à 180° que connaît régulièrement l'Education nationale ne peuvent qu'être dommageables. Et ce, dans un contexte électoral français où les coupes budgétaires et les querelles politiques sont susceptibles d'affecter l'éducation. **Hugo Leroux**

*Pour aller plus loin :* [www.science-et-vie.com](http://www.science-et-vie.com)

## Pics de pollution

## 6 choses à savoir sur la situation en France

**1 LA VOITURE N'EST PAS LA SEULE COUPABLE**

Durant les premiers jours du pic de pollution aux particules fines observé en Ile-de-France début décembre, le principal coupable n'était pas le trafic routier comme on pourrait le croire, mais le chauffage au bois – la tendance s'est inversée la deuxième semaine. De manière générale, selon l'organisme de surveillance de la qualité de l'air Airparif, le trafic routier pèse pour 28 % des émissions annuelles,

devant le secteur résidentiel et tertiaire (chauffage, etc. : 26 %), l'agriculture (18 %) et les chantiers et carrières (18 %). En Rhône-Alpes, le résidentiel (40 %) devance les transports.

**2 ON EST PLUS EXPOSÉ DANS SA VOITURE OU DANS LE MÉTRO QUE DEHORS**

C'est ce qu'a montré une étude menée en 2008 par Atmo Midi-Pyrénées dans l'agglomération de Toulouse. En voiture, la pollution résulte de l'accumulation des polluants issus du trafic routier dans l'habitacle lorsque les vitres sont fermées; sous terre, elle est due au roulement et au freinage des rames.

**3 LA POLLUTION CHRONIQUE TUE PLUS QUE LES PICS**

Plus de 48 000 décès pourraient être évités chaque année au niveau national si l'air était exempt de particules fines, estime une étude de Santé publique

France. Entre 2007 et 2010, les dix dépassements du seuil d'alerte observés à Paris ont affecté la mortalité et les hospitalisations cardiaques à hauteur de 7 %, les 93 % restants étant dus à la pollution chronique; la nuisance des pics fut de 1 % à Bordeaux et de 15 % à Nancy. *"Il n'y a pas de seuil en dessous duquel on est à l'abri"*, rappelle Bruno Housset, président de la Fondation du Souffle.

**4 LA QUALITÉ DE L'AIR S'EST AMÉLIORÉE EN FRANCE**

D'après le dernier bilan national du ministère de l'Environnement, on a observé entre 2000 et 2015 une baisse d'environ 30 % des concentrations moyennes annuelles pour le dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>), les particules de diamètre inférieur à 10 µm (PM10) et celles de moins de 2,5 µm (PM2,5), et de près de 80 % pour le dioxyde

**LE RAPPEL DES FAITS**

Paris, Grenoble, Lyon, Chambéry... De nombreuses villes ont subi **début décembre** des pics de pollution particulièrement longs et intenses. Ce qui a incité les autorités à instaurer des limitations de vitesse, voire une circulation alternée.

**EN CHIFFRES****3,8 %**

C'est le plafond que veut fixer Bruxelles pour la part des biocarburants de première génération dans les transports d'ici à 2030 (7 % en 2020). Prenant ainsi acte de leurs mauvais chiffres en termes d'émissions de gaz à effet de serre (voir S&V n° 1188, p. 90).

**+ 10 %**

C'est la progression, en France, du nombre d'infections sexuellement transmissibles à *Chlamydia* entre 2013 et 2015. Une hausse plus importante chez les hommes (+ 19 %) que chez les femmes (+ 8 %).



de soufre (SO<sub>2</sub>). Les taux d'ozone ont, en revanche, augmenté de plus de 10 %.

## 5 LA CIRCULATION ALTERNÉE N'EST PAS UNE SOLUTION MIRACLE

*“C'est l'une des seules mesures ayant une efficacité immédiate sur la qualité de l'air”, défend Amélie Fritz, chez Airparif. Certes, mais cette efficacité est limitée. Le 17 mars 2014, la circulation alternée appliquée à Paris et à une vingtaine de communes limitrophes y a respectivement entraîné une réduction du trafic de 18 %*

et 13 %. Mais avec peu d'impact pour les poumons des habitants: le taux de PM10 n'a baissé ce jour-là que de 6 % au bord du boulevard périphérique et de 2 % loin des axes routiers; celui de NO<sub>2</sub> de 10 % et 7 %. Sachant que d'autres mesures, comme la réduction de la vitesse et le détournement des poids lourds, ont contribué à cette amélioration. Par ailleurs, la circulation alternée n'est pas toujours bien suivie: deux fois moins de véhicules l'ont respectée le 6 décembre 2016 (l'impact n'était pas encore connu lors du bouclage de ce numéro). Pour autant, rappelle Amélie Fritz, d'un point de vue sanitaire, *“chaque microgramme compte”*.

## 6 DÉFENSE DU CLIMAT ET LUTTE ANTIPOLLUTION NE COÏNCIDENT PAS TOUJOURS

Sur le papier, la lutte contre le réchauffement climatique et celle contre la pollution de l'air semblent converger. Sauf que le bois destiné au chauffage, ressource naturelle renouvelable – et qui émet moins de gaz à effet de serre que le fioul et le gaz – est aussi un puissant émetteur de particules. Même chose pour le diesel, qui réchauffe moins, mais pollue plus... **Gabriel Siméon**



BRUNO HOUSSET

Président de la Fondation du Souffle

*Il n'y a pas de seuil de pollution en dessous duquel on est à l'abri*

## 15 km

C'est la distance de la première ligne commerciale de livraison par drone ouverte par la Poste, entre Saint-Maximin-La-Sainte-Baume et Pourrières (Var). Une ligne appelée à se multiplier, en particulier pour les zones difficiles d'accès.



## Il sera difficile de faire rentrer le génie génétique dans sa lampe...

Elles sont 150 ONG, toutes signataires d'une pétition appelant à un moratoire sur le “forçage génétique” (*gene drives*, en anglais). Une toute récente technique, qui permet d'imposer un caractère nouveau à la totalité d'une espèce sauvage. Au point, potentiellement, de la détruire – comme le proposent certains projets de lutte contre les moustiques ou les souris. Pour ces ONG, les conséquences d'une modification du patrimoine génétique d'une espèce entière sont imprévisibles. Ne risque-t-elle pas d'être transmise à d'autres espèces au gré d'hybridations incontrôlables? Par quoi seraient remplacées les espèces éliminées? Comment gérer une espèce nuisible ici, mais bénéfique ailleurs? Qui serait responsable juridiquement en cas de dégâts?

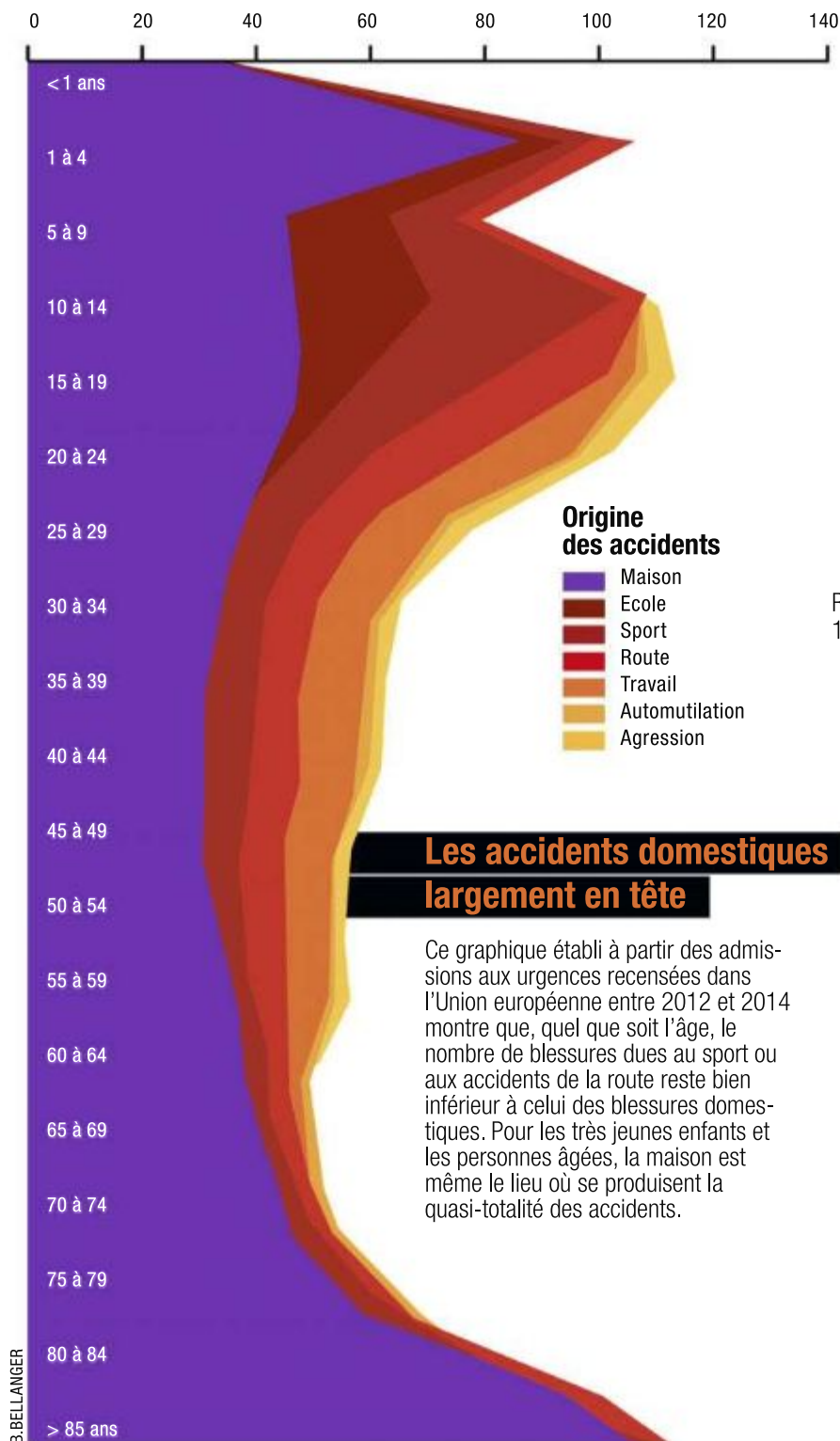
Autant de questions auxquelles il est urgent de répondre. Pourtant, le moratoire demandé a peu de chances de voir le jour. Le génie génétique sera bien difficile à faire rentrer dans sa lampe! D'abord parce que la mise en œuvre du forçage génétique n'a plus rien d'un secret bien gardé: elle a déjà été dévoilée en détail dans la littérature scientifique publique. De plus, elle est largement facilitée par la technologie de “réécriture” du génome CRISPR-Cas9, dont beaucoup d'équipes profitent déjà. Enfin, certaines recherches travaillent désormais à la fabrication d'antidotes génétiques au forçage... ce qui suppose justement de manipuler ces technologies. Une nouvelle illustration que la biologie devient de plus en plus difficile à réguler, alors même que ses pouvoirs inédits nécessiteraient davantage de contrôle.

**Yves Sciamma**

## Urgences hospitalières

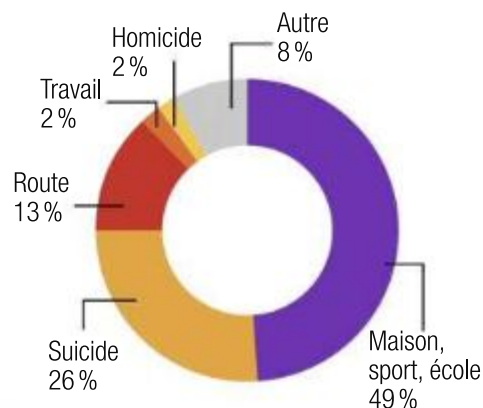
## On sait qui y va et pourquoi

Taux d'admissions aux urgences hospitalières pour blessures en une année  
(pour 1 000 personnes d'une même tranche d'âge)

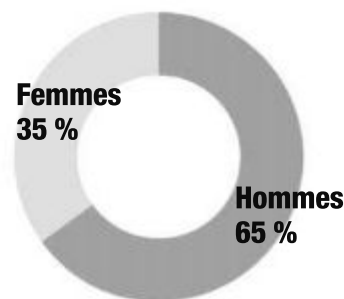


# 38

millions d'Européens sont admis  
aux urgences chaque année :  
5,3 millions sont finalement hospita-  
lisés et 232 000 décèdent.



Parmi les décès recensés, les accidents liés à la maison, à l'école ou aux loisirs arrivent largement en tête devant les suicides et les accidents de la route.



Les hommes ont un risque plus important de mourir des suites d'une blessure que les femmes. Ils sont aussi 3 fois plus sujets aux accidents de la route et aux suicides.

SOURCE : EUROSAFE, 2016



# SCIENCE & VIE

**Vous avez beaucoup à nous apprendre !**

**Vous lisez Science & Vie et vous souhaitez nous faire partager vos idées,  
vos opinions ou commentaires ?**

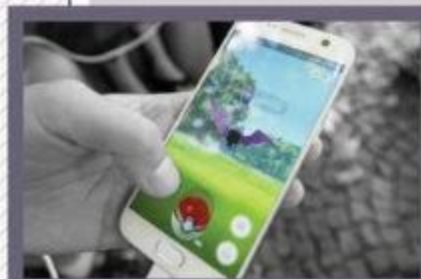
**DEVENEZ LECTEUR CONSEIL**



Inscrivez-vous dès à présent sur [www.science-et-vie.com/enquetes-lecteurs](http://www.science-et-vie.com/enquetes-lecteurs)  
Nous ne manquerons pas de vous solliciter et de vous questionner sur les thèmes  
que vous aimeriez lire, sur des choix de couvertures et bien plus encore.  
Merci d'avance pour votre participation !

## LE LAIT ENTIER NE NUIT PAS AU POIDS DES ENFANTS

Les enfants qui boivent du lait entier sont plus minces que ceux qui boivent du lait écrémé. Résultat paradoxal, à l'inverse des recommandations contre l'obésité ! C'est pourtant ce qu'ont observé des chercheurs de Toronto (Canada), chez des enfants âgés de 1 à 6 ans. "Am. J. Clin. Nutr.", déc. 2016



## "POKEMON GO" NE FAIT PAS MARCHER TANT QUE ÇA

Des chercheurs américains ont constaté sur plus de 1 000 utilisateurs du jeu qu'ils faisaient 995 pas de plus par jour la première semaine de son téléchargement. Un surplus d'activité qui décroît très vite et devient nul après 6 semaines ! "Brit. Med. J.", déc. 2016

## LA NUIT DES PARENTS INFLUENCE CELLE DE LEURS ENFANTS

Si les parents dorment longtemps, les petits aussi. C'est le constat de chercheurs américains ayant interrogé 790 parents d'enfants de 6 à 12 ans. En outre, les parents persuadés d'aider leurs enfants à s'endormir... le font effectivement. "J. Clin. Sleep Med.", nov. 2016

# UNE CIGARETTE PAR JOUR MULTIPLIE PAR 9 LE RISQUE DE CANCER DU POUMON

Une étude américaine révèle que fumer peu reste, sur le long terme, très nocif. D'après l'analyse de 290 000 dossiers médicaux, les individus qui ont fumé moins d'une cigarette par jour pendant toute leur vie ont un taux de mortalité, sur sept années, 64 % plus élevé que les non-fumeurs. Et cela indépendamment de leurs différences sur d'autres comportements (sport, consommation d'alcool...). Une augmentation surtout due au cancer du poumon : les petits fumeurs en meurent 9 fois plus souvent que les abstinents. "JAMA Inter. Med.", déc. 2016

## LES ÉPILATIONS PUBIENNES FONT LE LIT DES MST

Méfiez-vous de l'épilation pubienne ! Au rasoir, à la cire ou aux ciseaux, elle favorise, selon une étude portant sur 7 500 Américains, chez l'homme comme chez la femme, les infections sexuellement transmissibles (herpès, chlamydia, VIH...). Plus la fréquence et l'intensité de l'épilation étaient importantes, plus les risques d'avoir contracté une MST l'étaient aussi : 11 épilations du maillot par an ou plus multipliaient par 2,4 les risques de MST et une taille par semaine des poils pubiens augmentait ce risque de 90 %. Les adeptes du rasoir augmentaient aussi leurs chances d'attraper des poux du pubis... sauf en cas d'épilage massif et fréquent. En cause : les lésions occasionnées par les rasoirs et autres outils d'épilation, qui faciliteraient l'entrée dans l'organisme des agents infectieux. "BMJ", déc. 2016



P. SEGER/DPA/MAXPPP - AGE FOTOSTOCK - SHUTTERSTOCK





## CONSULTER UNE FEMME MÉDECIN LIMITE LE RISQUE DE DÉCÈS !

A choisir, mieux vaut consulter régulièrement une femme médecin plutôt qu'un homme ! Selon une étude américaine, les patients hospitalisés de plus de 65 ans ont moins de risque de décéder après leur admission si leur généraliste habituel est une femme. A partir des dossiers médicaux de 1,5 million de malades, les chercheurs ont évalué que les patients suivis entre 2011 et 2014 par un médecin femme ont 4 % de risque de moins de décéder prématurément dans les 30 jours qui suivent leur entrée à l'hôpital que ceux traités par un médecin homme. Leur risque de revenir à l'hôpital dans le mois qui suit leur sortie diminue aussi : 5 % de moins que les personnes traitées par un homme. Une des hypothèses proposées pour expliquer ces différences : les femmes médecins connaîtraient et appliqueraient mieux les recommandations. "JAMA Internal Medicine", déc. 2016

### DES COMPLÉMENTS ALIMENTAIRES PAS SI SAINS

Faire fondre les graisses et développer les muscles... les compléments alimentaires font beaucoup de promesses mais éludent leurs effets indésirables, potentiellement graves : tachycardie, arythmies, AVC, anxiété, troubles de l'humeur. "Anses", nov. 2016

### LA GROSSESSE MODIFIE LE CERVEAU DE LA MÈRE

Une équipe espagnole a observé la matière grise de 25 femmes, avant et après leur premier accouchement. Comparée à celle de 19 pères et 17 adultes sans enfant, son volume était réduit dans les régions liées aux aptitudes sociales. "Nat. Neuro.", déc. 2016

### FUMER DU CANNABIS EST MAUVAIS POUR LA RÉTINE

Pour la première fois, des chercheurs français ont montré que les yeux d'un consommateur régulier de cannabis ont un important retard dans leur réponse à un signal lumineux. De quoi confirmer les craintes en situation de conduite automobile. "JAMA Ophta.", déc. 2016

## LES BÉBÉS MÂCHENT ENCORE DU BISPHÉNOL

Si le bisphénol A a été banni des contenants alimentaires pour jeunes enfants, et les parabènes de leur alimentation, une étude américaine montre que les bébés continuent aujourd'hui encore à être exposés aux perturbateurs endocriniens via les anneaux de dentition en plastique. Sur 59 anneaux présents sur le marché mondial tous contiennent du bisphénol A et d'autres molécules suspectées d'être des perturbateurs endocriniens (parabènes, triclosan...). Certes, l'exposition d'un bébé mâchouillant ces objets une heure par jour reste dans les limites acceptables fixées par les agences sanitaires. Mais ces seuils sont très débattus. "Environ. Sci. Techno.", déc. 2016



# Voici la première draisienne électrique

Sous son allure de minivélo pliant (99 x 87 x 59 cm), la draisienne électrique Urban eScooter d'Archos est conçue pour effectuer sans pédaler les petits trajets quotidiens. Il suffit simplement, au départ, de mettre un pied à terre pour assurer sa stabilité (comme sur un scooter). Ensuite, assis dessus, les pieds calés sur les repose-pieds, on est propulsé par un moteur de 350 W à la vitesse maximale de 20 km/h sur une distance pouvant aller jusqu'à 30 km! Mais l'originalité de cet engin réside aussi dans sa connexion

Bluetooth. Fixé par un aimant sur le guidon, votre smartphone affiche vitesse et niveau de batterie pendant le trajet (mais pas d'itinéraire), et l'application permet de brider la vitesse à 6 km/h, le maximum autorisé sur les trottoirs. Arrivé à destination, l'Urban eScooter se plie de manière compacte (95 x 46 x 16 cm) et sa batterie lithium-ion, placée sous la selle, se détache pour se recharger en trois heures sur n'importe quelle prise électrique. **L.B.**

Prix : env. 600 €  
Rens. : [www.archos.com](http://www.archos.com)



^> Ce vélo, sans pédale se recharge en 3 h et peut parcourir jusqu'à 30 km. Pliée, elle ne mesure plus que 95 x 46 x 16 cm.

## Une ampoule doublée d'une caméra de surveillance



^ Snap se visse comme une ampoule normale... mais sa caméra grand angle HD détecte le moindre mouvement.

Conçue par la société chinoise Sengled, Snap n'est pas une simple ampoule à LED : elle contient en effet une caméra de surveillance sans fil grand angle (140°) et HD (1080p) fonctionnant jour et nuit. Elle se visse comme une ampoule et se connecte en wi-fi à votre box. Une application sur smartphone donne ensuite accès à ses images en direct ou sur le cloud. On peut aussi configurer les moments auxquels Snap fonctionne et régler son intensité lumineuse. Enfin, un abonnement permet de recevoir un message d'alerte sur son smartphone en cas de détection de mouvement. **S.F.**

Prix : env. 200 € + 3,50 à 18,50 € d'abonnement mensuel  
Rens. : [www.sengled.com/product/sengled-snap](http://www.sengled.com/product/sengled-snap)



## LE COIN DES PROTOTYPES

## Un casque de vélo à vision tête haute

Un casque de vélo pourvu d'une visière transparente rétractable capable d'afficher des informations... Voici le prototype présenté par le cabinet de design britannique DCA. Son nom : Optic Helmet. Grâce à la réalité augmentée, ce casque du futur bardé d'électronique (capteurs de proximité infrarouges, caméras avant et arrière...) guidera au mieux le cycliste en affichant sur sa visière les kilomètres parcourus, sa vitesse, son rythme cardiaque... Mais également son chemin sous la forme d'un itinéraire virtuel qui s'adapte au parcours emprunté. Enfin, à la manière d'un rétroviseur, les images captées par la caméra à 180 degrés fixée à l'arrière du casque permettront d'éliminer presque tous les angles morts.

E.T.-A.

Rens. : [www.dca-design.com/work/dca-optic](http://www.dca-design.com/work/dca-optic)

DF



## L'aspirateur qui s'arrête et redémarre tout seul

Après les voitures, voici l'aspirateur traîneau qui s'éteint automatiquement dès qu'il s'immobilise plus de cinq secondes. Pour ce faire, le manche du Performer Ultimate de Philips intègre des capteurs qui, quand ils détectent l'arrêt des va-et-vient, stoppent net l'appareil. Puis le moteur se remet instantanément en marche dès qu'on le reprend en main. Pratique quand le téléphone sonne ou que l'on

doit déplacer des objets sur son passage ! En revanche, selon Philips, cette fonction n'a qu'un impact limité sur la consommation électrique de l'appareil (de classe énergétique A). Autre fonction astucieuse : sa brosse aspirante est pourvue de quatre LED qui éclairent le sol pour révéler toutes les petites poussières qui se cachent sous les meubles.

L.B.

Prix : env. 380 €  
Rens. : [www.philips.com](http://www.philips.com)

> Il s'arrête dès qu'il reste immobile plus de 5 secondes, et redémarre sitôt qu'on le reprend en main.



# Une lampe pour s'éclairer, se réveiller et s'endormir

Fabriqué par Terraillon, Omni ajuste sa luminosité au fil de la journée: très blanche le matin afin de mimer l'aurore et faciliter le réveil, elle tire de plus en plus vers le rouge orangé quand l'heure du coucher approche, favorisant ainsi la production de mélatonine, hormone cruciale du sommeil. Ses capteurs enregistrent également température, luminosité, humidité et bruit de la pièce pour vous conseiller, via la connexion Bluetooth et l'application mobile, sur les éventuels changements à apporter. Enfin, équipée d'une enceinte, Omni peut diffuser de la musique ou des ambiances sonores adaptées à l'endormissement ou au réveil. **A. V.**

Prix : de 250 à 300 € environ. Rens. : [www.terraillon.com/fr](http://www.terraillon.com/fr)



« Un système permet de convertir les ondes acoustiques en vibrations qui font résonner la caisse... pour un son digne d'une vraie guitare amplifiée ! »

# La guitare qui cache son propre ampli intégré

Fini les amplificateurs encombrants. La Trans-acoustic, dernière-née des guitares Yamaha, s'en passe allègrement. Comment? Grâce à un simple capteur piézoélectrique capable de convertir les ondes acoustiques en signaux électriques. Transmis à un transducteur fixé sur la face intérieure du dos de la caisse, ces signaux sont ensuite transformés en vibrations... qui font résonner l'instrument comme

une membrane. Résultat: on obtient une réverbération, autrement dit une persistance du son, ou un chorus, c'est-à-dire un son plus épais et ample, dignes d'une vraie guitare amplifiée! Pour les très grandes salles, une sortie classique vers un ampli traditionnel reste néanmoins disponible. **A.P.**

Prix : env. 1 000 €

Rens. : <http://fr.yamaha.com/fr>





# Ce bracelet rend toutes les montres intelligentes

Le CT Band peut rendre "smart" n'importe quelle montre classique (pour peu que le cadran se détache et que son entre-corne soit compris entre 19 et 22 mm). Conçu par le français Riffit, il affiche les notifications des appareils iOS et Android, suit votre activité physique, sert de réveil, de boussole, de thermomètre, et pourrait même un jour ouvrir votre voiture et payer sans contact ! En cuir ou en silicone, il craint l'humidité et se limite à 48 h d'utilisation. **C.S.**

Prix : à partir de 150 € (en précommande, premières livraisons en juin)  
Rens. : [www.ct-band.com](http://www.ct-band.com)



## L'assiette 100% compostable à la fin du pique-nique

L'entreprise périgourdine Natur'Concept propose une alternative écologique à la vaisselle en plastique jetable – qui sera interdite dès 2020 : une assiette en son de blé compostable. Le son utilisé est un simple déchet des minoteries qui, pressé sous de la vapeur à haute température, se rigidifie (sous forme d'assiette) grâce à l'amidon qu'il contient naturellement, en lieu et place de la colle. Une fois utilisée, l'assiette pourra donc être jetée dans un composteur



domestique, où elle se dégradera en trente jours... ou même être mangée ! Après, c'est une question de goût. **L.B.**

Prix : env. 0,40 € l'assiette  
Rens. : [www.natur-concept.com](http://www.natur-concept.com)

## En marche, sa porte devient transparente

Un four à micro-ondes sans plateau tournant, permettant de charger plusieurs plats sans se soucier de leur forme ou de leur taille, on connaissait déjà... mais associé à une porte qui devient totalement transparente lorsque le four s'allume, pour permettre un suivi optimal de la cuisson, voilà qui est nouveau. L'ExtraSpace est le dernier-né du fabricant Whirlpool. En mode AutoClean, il se nettoie aussi facilement qu'un four à pyrolyse. Sa capacité totale de chargement est de 25 litres. Il existe en version avec ou sans grill. **E.T.-A.**

Prix : à partir de 180 €  
Rens. : [www.whirlpool.fr](http://www.whirlpool.fr)



# Pourquoi le tonnerre dure plus que l'éclair?

Question de Michel Genin, Trévoux (01)

Tout simplement parce que le son parcourt seulement 0,34 km par seconde, alors que la lumière file à 300 000 km/s. Or, un éclair peut mesurer plusieurs kilomètres de long; aussi, le "bang" émis par son extrémité la plus éloignée arrive-t-il aux oreilles d'un observateur plusieurs secondes après celui émis par l'extrémité la plus proche.

Voilà donc pourquoi, plutôt que de détonner sèchement, le tonnerre gronde, plus ou moins longtemps selon les cas. Car 80 % de l'énergie acoustique est émise perpendiculairement à l'arc électrique. Un coup de tonnerre semblera donc court et tonitruant à un observateur qui le voit

de profil, et long et sourd à un observateur qui se trouve dans la direction vers laquelle pointe l'éclair.

## SIGNAL SONORE RÉFRACTÉ

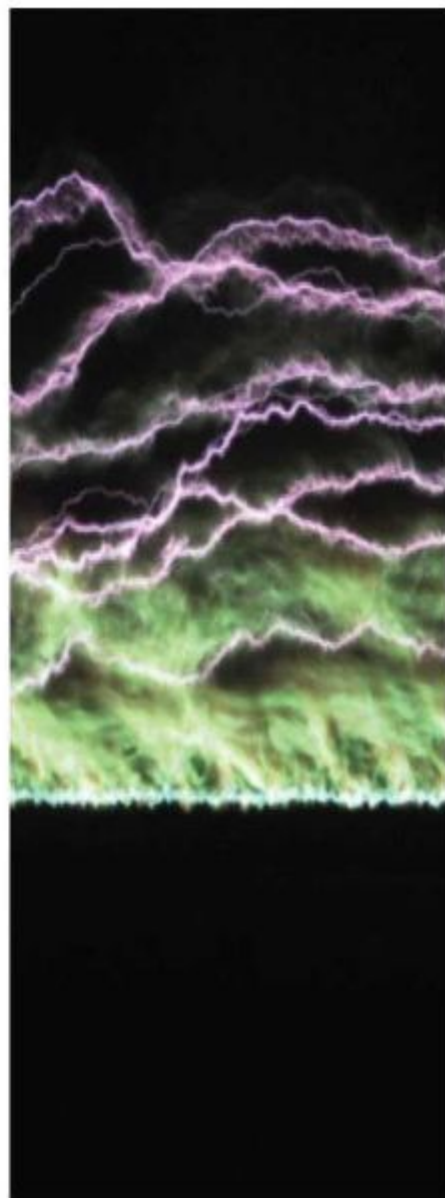
Entre ces deux cas simplistes, il existe toute une gamme de coups de tonnerre, puisqu'un éclair est toujours morcelé en plusieurs embranchements d'orientation différente.

*"Et c'est sans compter que le son ne se propage jamais dans une atmosphère homogène," précise Serge Soula, du Laboratoire d'aérodynamique de Toulouse. Par exemple, il fait souvent plus chaud près du sol qu'au niveau des nuages, et les vents sont plus intenses en altitude. Cela réfracte le signal*

*sonore et le dévie vers le haut : au-delà de 25 km de distance, le tonnerre n'est plus audible pour un observateur au sol."*

Ainsi, même s'il existe des éclairs de plus de 100 km de long, le tonnerre associé ne sera pas audible dans sa totalité et ne dépassera pas 70 secondes environ. Enfin, si vous êtes de ceux qui, lors d'un orage, s'amusent à multiplier par trois les secondes qui séparent l'éclair du tonnerre pour en déterminer la distance en kilomètres, vous pouvez désormais affiner votre calcul : en comptant les secondes qui séparent l'éclair et la fin du gronde-ment, vous pouvez déduire la largeur de la zone où il a eu lieu.

B.R.



## Peut-on attraper plusieurs rhumes à la fois ?

Question de Marc Bisson, Mellac (29)

Oui ! Et ce n'est pas étonnant : il existe près de 300 rhinovirus (les virus responsables du rhume) ! Or les défenses immunitaires développées contre l'un ne sont pas efficaces contre tous.

*"Si, très souvent, le rhume n'implique qu'un seul virus, dans 1 à 5 % des cas il peut y avoir coïnfection par deux pathogènes," précise le virologue lyonnais Bruno Lina. Par exemple, chez les*

*enfants, on peut trouver le virus respiratoire syncytial, agent principal de la bronchiolite, en même temps qu'un rhinovirus. Exceptionnellement, on peut même déceler trois, voire quatre agents différents."* Cependant, ces coïnfections n'induisent pas forcément un rhume plus grave ou plus long. Car *"certains virus peuvent être présents sans être pour autant pathogènes".* K.B.





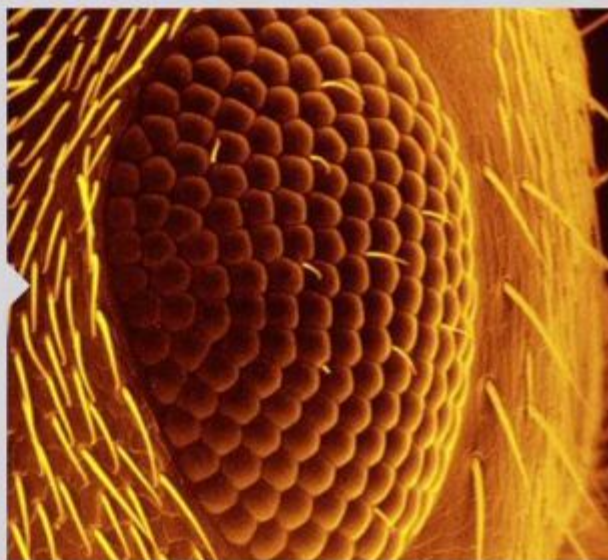


^ Le tonnerre gronde plus longtemps que l'éclair n'éclate car le son file beaucoup moins vite que la lumière.

## Les fourmis voient-elles à l'échelle moléculaire ?

Question de Paul van Oordt, Montreuil (93)

Soyons clairs, la réponse est non. Malgré leur taille minuscule, les fourmis ne distinguent pas l'infiniment petit. Bien au contraire ! L'archaïsme de leur système de vision leur permet, au mieux, de distinguer les variations lumineuses. En revanche, comme nombre d'insectes, elles sont championnes de l'olfaction : *"Elles détectent un changement de 5 à 10 % dans la composition d'un mélange, ce qui est très fin"*, explique Guy Theraulaz, au Centre de recherches sur la cognition animale, à Toulouse. Impossible de savoir pour autant à quelle perception du monde cela renvoie... **M.G.**



UF/FT/SRI - SPL/COSMOS - A. DAGAN

# Comment le corps des mamans produit-il le lait ?

Question de Sandrine Hovaguimian, Chassieu (69)

Grâce à quatre hormones. Toujours présentes dans le corps des femmes (et de toutes les femelles mammi-fères), elles s'accroissent au moment de devenir mère. Ce qui restructure le sein (voir infographie). "Dès le début de la grossesse, les quantités d'œstradiol et de progestérone augmentent, explique Patrick Haffner, mammalogiste au Muséum national d'histoire naturelle. Le premier induit la proli-

*fération des cellules constituant les canaux excréant le lait, les galactophores; la seconde permet aux alvéoles, qui contiennent les cellules productrices de lait, de se différencier et de s'associer aux galactophores."*

## CHEZ LES MÂLES AUSSI !

Puis, poursuit le chercheur, "lors de l'accouchement, l'œstradiol est remplacé par la prolactine, qui stimule la production de lait".

Pour ce faire, les glandes mammaires puisent dans les substances circulant dans le sang: d'abord beaucoup d'eau (d'où la déshydratation qui peut accompagner l'allaitement), ensuite des substances nutritives (lipides, protéines, glucides, vitamines, sels minéraux), enfin des anticorps, qui protègent le nouveau-né contre les infections. Une fois le lait produit, il est éjecté du sein grâce à l'action d'une

dernière hormone, l'ocytocine, dont le taux augmente sous l'effet de la succion par le nouveau-né.

Notez que les glandes mammaires et les hormones impliquées étant aussi présentes chez les mâles, un dysfonctionnement hormonal peut leur faire produire du lait. Une anomalie... sauf chez le mâle de la chauve-souris *Dyacopterus spadiceus*, qui est capable d'allaiter ses petits! **C.H.**

## La Lune passe-t-elle parfois à la verticale de la France ?

Question de Guillaume Gobenzeaux, Lyon (69)

"Pas en France métropolitaine, ni en Corse", répond Florent Deleflie, astronome à l'Institut de mécanique céleste et de calcul des éphémérides (IMCCE). La position d'un astre par rapport à la Terre dépend en effet de l'angle entre son orbite et l'inclinaison terrestre. "Il est d'environ 28°, explique le chercheur. La Lune peut donc apparaître au zénith entre les latitudes +28° et -28°." De Bonifacio (41°) à Dunkerque (51°), la Métropole est bien trop au nord. Mais les habitants de Nouvelle-Calédonie (-22° à Nouméa) ou de Guadeloupe (16° à Pointe-à-Pitre) peuvent, eux, voir la Lune au zénith "deux fois par mois lunaire sous les latitudes 18° Nord et Sud, calcule Daniel Hestroffer, directeur de l'IMCCE. Et une fois tous les 6 ans aux latitudes 28° Nord et Sud, lors des solstices lunaires". **T.C.-F.**

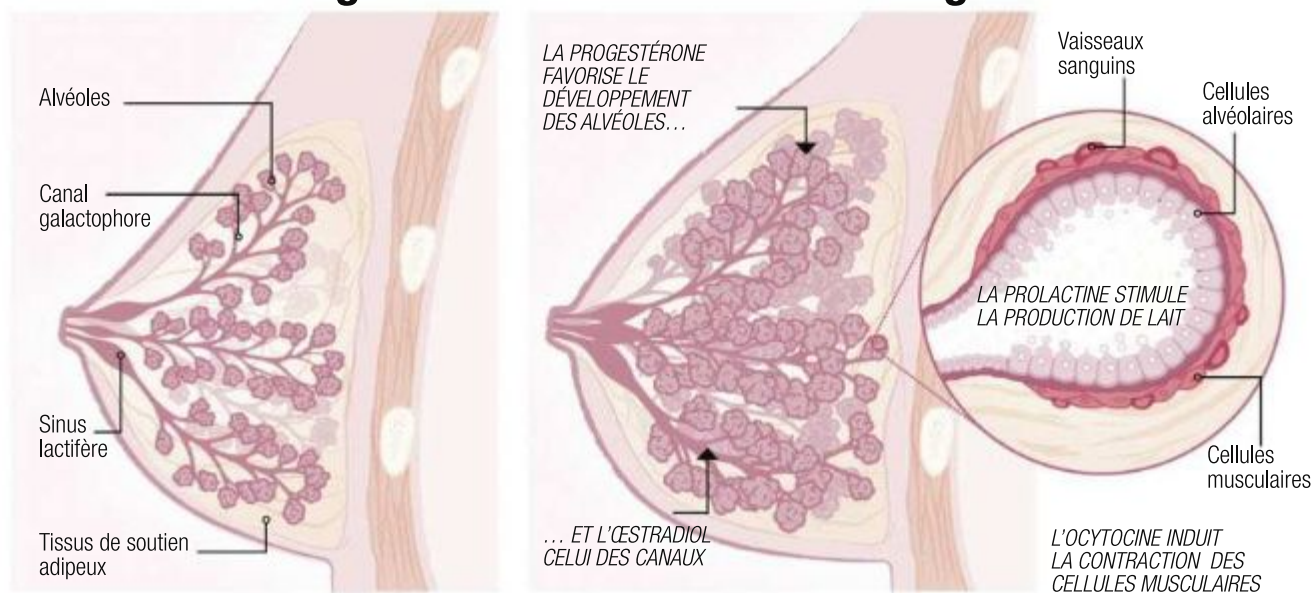
## L'acte de

Question d'Hélène Letudais,

Difficile question ! A ce jour, seule une poignée d'expériences d'imagerie cérébrale a été menée sur ce sujet. La première a donné un résultat spectaculaire: entre 2001 et 2006, Andrew Newberg et Eugene d'Aquili (université de Pennsylvanie) ont observé le cerveau de huit bouddhistes, cinq pentecôtistes et trois franciscaines en prière, par tomographie d'émission monophotonique. En voyant que le flux sanguin diminuait dans le cortex pariétal supérieur arrière, au fond en haut de la boîte crânienne, ils ont conclu que cette zone, d'or-



## En modifiant les glandes mammaires lors de la grossesse



### Avant la grossesse

Le développement des glandes mammaires est inachevé. La production de lait est inexistante.

### Après la grossesse

Sous l'effet d'un cocktail d'hormones, les cellules alvéolaires, qui produisent le lait, se sont différenciées, et les canaux assurant son transfert se sont multipliés.

# prier se lit-il dans le cerveau ?

Kanfen (57)

dinaire associée à la perception des frontières de soi, se désactivait lors de la prière!

Autre test, en 2008 : Mario Beauregard et son équipe (université de Montréal) ont fait appel à quinze carmélites qui avaient déjà vécu un épisode de communion avec Dieu. Il leur a demandé de se replonger dans le souvenir de cette expérience mystique, tandis qu'il mesurait l'activité de leur cerveau grâce à l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf). Et, surprise : le cortex orbito-frontal s'est activé, ainsi que le noyau caudé, le tronc

cérébral... et bien d'autres zones, un peu partout dans le cerveau. Il n'existerait donc pas, contrairement à ce qu'indiquait l'étude de Newberg et d'Aquili, une unique "zone de la prière", mais plusieurs.

### DIEU ET LE PÈRE NOËL

Ce que confirme la troisième étude remarquable sur le sujet, menée par Uffe Schoedt (université d'Aarhus, au Danemark) en 2009. Le chercheur a scanné par IRMf le cerveau de vingt jeunes chrétiens qui devaient prier Dieu puis... le père Noël ! La différence entre les deux lui a permis d'isoler deux zones qui ne s'activent

que lorsque les croyants s'adressent à Dieu : le carrefour temporo-pariétal et le cortex préfrontal médian. Or, ces zones s'activent habituellement lorsqu'on interagit avec l'un de nos semblables ! "En somme, le cerveau des croyants voit Dieu comme une autre personne humaine, non comme une entité abstraite, conclut Uffe Schoedt. Non seulement la prière ne sollicite pas un point unique de notre cerveau, mais elle met en jeu des mécanismes cognitifs qui ne lui sont pas spécifiques."

Reste qu'il ne s'agit là que de trois études, dont les résultats sont à prendre avec

précaution : toutes posent un problème statistique, à cause d'un nombre insuffisant de participants. Sans compter qu'une salle de scanner n'est pas vraiment idéale pour prier... "La prière est particulièrement difficile à étudier, bien plus que l'attention, la mémoire, le langage ou l'émotion, estime Michael Spezio, neuroscientifique au Scripps College à Claremont (Etats-Unis). La filière n'en est qu'à ses balbutiements, mais elle devrait se développer dans les prochaines années, et c'est important car la prière rythme et oriente la vie de nombreuses personnes dans le monde."

B.R.

# Est-il vrai que le chocolat contient beaucoup de magnésium ?

Question de Jonas Burckhardt, Rocles (07)

C'est même l'un des aliments les plus riches en magnésium ! Selon l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, 100 g de chocolat noir à 70 % apportent en moyenne 206 mg de ce composant essentiel des os et dont toute carence induit fatigue, stress et anxiété... Ce qui représente 55 % de l'apport journalier de référence (AR) pour un adulte et place le chocolat à la 21<sup>e</sup> place des aliments contenant du magnésium (sur près de 1400), après le meloukhia (609 mg/100 g), le sel marin gris (503), la

sardine (437)... Cela dit, si l'on considère la quantité raisonnable de chocolat consommable par jour, environ 20 g, l'apport en magnésium s'avère assez faible : 40 mg (11 % de l'AR). Cela explique pourquoi la teneur en magnésium n'apparaît pas sur les emballages : *"La réglementation autorise la mention d'un minéral si la quantité raisonnablement consommée du produit apporte au moins 15 % de l'AR, précise un porte-parole de Nestlé. Or, ce n'est pas le cas pour le chocolat..."*, si l'on reste raisonnable ! **K.B.**



## Tous les animaux transpirent-ils ?

Guillaume Petitjean, Parentis-en-Born (40)

C'est le cas pour le cheval, les bovins et l'homme, mais cela reste une rareté. D'abord, tous les animaux dits à sang froid (reptiles, insectes, poissons) ne suent pas... puisqu'ils ne régulent pas leur température. Tout au plus jugulent-ils les conditions extérieures en adaptant leur comportement (en se mettant à l'ombre, par exemple). Et même parmi les animaux à sang chaud, aucun ne trans-

pire autant que l'homme, sans doute parce que la présence d'une fourrure rend la technique moins efficace.

### PAR LA RESPIRATION

Pour se refroidir, la plupart des mammifères et des oiseaux préfèrent en effet pratiquer la polypnée thermique, une accélération de la respiration. *"Ils ouvrent largement le bec ou la gueule, ce qui provoque un passage d'air extrême-*

*ment rapide,* précise Yvon Le Maho, écophysiologiste CNRS à l'université de Strasbourg et membre de l'Académie des sciences. *L'eau s'évapore ainsi par la cavité buccale et les poumons"* et refroidit le corps.

C'est le fameux halètement du chien, une technique d'autant plus efficace que l'animal est petit, car elle se cale sur la fréquence de résonance de la cage thoracique, qui est plus basse chez les grands animaux. Ainsi, ces derniers ont dû trouver des solutions alternatives : par exemple, les éléphants et les porcs pratiquent les bains de boue. **F.C.**

GAGNEZ UN  
ABONNEMENT  
D'UN AN À

SCIENCE & VIE

Cette rubrique est la  
vôtre, écrivez-nous !

Nous ne pourrions répondre à tous, mais les auteurs des questions sélectionnées se verront offrir un abonnement d'un an à la version numérique de *Science & Vie* (pour eux-mêmes ou une personne de leur choix).

Envoyez vos questions, en indiquant clairement votre adresse postale, à :  
sev.gr@mondadori.fr  
ou bien par courrier à :

SCIENCE & VIE  
QUESTIONS/RÉPONSES  
8, rue François-Orly  
92543 MONTROUGE CEDEX



***avec l'offre liberté***



## SANS ENGAGEMENT

**3 €65**  
**/mois**  
**SEULEMENT**

**-50%**

pendant 6 mois au lieu de 7,90 €  
puis 5,90 € par mois.

**Vous recevrez chaque mois votre magazine  
et 6 hors-séries par an.**

## SIMPLE & PRATIQUE

- ✓ Je règle en douceur
- ✓ Je stoppe quand je veux
- ✓ Je n'ai plus rien à faire

# BULLETIN D'ABONNEMENT

À compléter et à retourner accompagné de votre règlement dans une enveloppe affranchie à :  
SCIENCE & VIE - SERVICE ABONNEMENTS - CS 90125 - 27091 EVREUX CEDEX 9

- ☒ **Je choisis l'offre Liberté : 3,65 €/mois pendant 6 mois** au lieu de ~~7,33 €\*~~ puis 5.90 € par mois.

Ce tarif préférentiel est garanti pendant 1 an minimum. Vous avez la possibilité de suspendre votre abonnement à tout moment. 894188

**Je remplis le mandat de prélèvement SEPA ci-dessous auquel je joins un RIB et communique mes coordonnées en bas à droite.**

**Mandat de prélèvement SEPA** Je complète l'IBAN et le BIC présent sur mon RIB. Je n'oublie pas de joindre un RIB.

Numéro d'identification international du compte bancaire - IBAN

Code international d'identification de votre banque - BIC

A:

Date :

Signature obligatoire :

[illegible]

▼ Référence unique du mandat (zone réservée à nos services ) ▼

En signant ce formulaire de mandat, vous autorisez Mondadori Magazines France à envoyer des instructions à votre banque pour débiter votre compte, et votre banque à débiter votre compte conformément aux instructions de Mondadori Magazines France. Vous bénéficiez du droit d'être remboursé par votre banque selon les conditions décrites dans la convention que vous avez passée avec elle. Toute demande de remboursement doit être présentée dans les 8 semaines suivant la date de débit de votre compte. Vos droits concernant ce mandat sont expliqués dans un document que vous pouvez obtenir auprès de votre banque.

CRÉANCIER : MONDADORI MAGAZINES FRANCE - 8, rue François Ory  
92543 Montrouge Cedex 09 - FRANCE  
IDENTIFIANT DU CRÉANCIER : FR 05 ZZZ 489479

- ☐ Je préfère m'abonner à **Science & Vie** pour  
**1 an (12 n°) + 6 hors-séries pour 57,90 €**  
au lieu de ~~87,90 €~~.\*

894196

- ☐ Je m'abonne uniquement à Science & Vie pour 1 an (12 n°) pour **37,90 €** au lieu de 54 €\*.

894204

➤ **Voici mes coordonnées : (obligatoire)**

Nom : \_\_\_\_\_ Prénom : \_\_\_\_\_

Adresse : \_\_\_\_\_

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

Code Postal :  Ville :

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

E-mail : \_\_\_\_\_

Votre email est indispensable pour créer votre accès à l'abonnement numérique sur notre site [kiosquemag.com](http://kiosquemag.com)

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

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


 Date et signature obligatoires

Expire à fin	<div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> </div>	Code Crypto	<div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> </div>
--------------	--	-------------	--

Les 3 chiffres au dos de votre CB

\*Prix public et prix de vente en kiosque. Offre valable pour un premier abonnement livré en France métropolitaine jusqu'au 30/06/2017 et dans la limite des stocks disponibles. Je peux acquérir chacun des numéros mensuels de Science & Vie au prix de 4,50€, chacun des 4 hors-séries au prix de 5,00€ et chacune des deux éditions spéciales au prix de 5,95€. Votre abonnement vous sera adressé dans un délai de 4 semaines après réception de votre règlement.

Vous disposez d'un droit de rétractation de 14 jours à compter de la réception du magazine en notifiant clairement votre décision à notre service abonnements ou via le formulaire de rétractation accessible dans nos CVS sur le site [www.kiosquemag.com](http://www.kiosquemag.com). Le coût de renouvel des produits est à votre charge. Les informations recueillies à partir de ce formulaire font l'objet d'un traitement informatique destiné à Mondadori Magazines France pour la gestion de son fichier clients par le service abonnements. Conformément à la loi « informatique et libertés » du 6 janvier 1978 modifiée, vous disposez d'un droit d'accès et de rectification aux informations qui vous concernent en écrivant à l'adresse d'envoi du bulletin. J'accepte que mes données soient cédées à des tiers en cochant la case ci-contre.

L'art de la bande dessinée au service de la rigueur scientifique

# Néandertal, la vérité en BD

Qui était Néandertal, ce cousin de notre espèce qui a vécu entre 300 000 et 35 000 ans avant notre ère, et que l'Homme moderne a côtoyé ? Dans un ouvrage illustré, Antoine Balzeau, paléanthropologue au CNRS et au musée de l'Homme, et Emmanuel Roudier, auteur de bandes dessinées "préhistoriques", enquêtent sur cette autre humanité, s'appuyant sur les dernières études scientifiques afin de représenter graphiquement la vie quotidienne des Néandertaliens, au plus proche de la réalité.

Car il y a encore dix à vingt ans, Néandertal était perçu comme une bête hirsute et poilue, privée de cette intelligence créative, spirituelle et sociale propre à *Homo sapiens*, celle-là même qui fut à l'origine de notre succès. Rien ne paraissait étonnant, dès lors, dans la disparition de cette espèce : elle était trop bête, trop "sauvage", trop inadaptée. Et pourtant...

Aujourd'hui, la recherche a prouvé que Néandertal était doté d'un cerveau plus volumineux que le nôtre. Qu'il enterrait ses morts, fabriquait des outils, parlait sûrement – en témoigne son os

hyoïde indispensable au langage articulé. Aussi que nos deux espèces se sont croisées, et même qu'elles se sont aimées.

Mais les préjugés restent tenaces. D'où l'effort réalisé dans ce livre : organisé par thématiques, chaque chapitre s'appuie sur les récentes découvertes et techniques scientifiques pointues, commentées avec rigueur, tout en offrant des représentations visuelles de la vie des Néandertaliens à travers des codes qui nous sont familiers, ceux de la bande dessinée. Ainsi, l'ouvrage nourrit autant l'intellect que l'imaginaire.

## DANS SON ENVIRONNEMENT

Avec la modélisation numérique des ossements de Néandertal, utilisée pour la reconstitution hyper-réaliste et grandeur nature de l'Homme de Spy, l'un des squelettes les plus complets retrouvés, les corps et les traits de l'homme et de la femme de Néandertal apparaissent. Leur forte musculature, leur cage thoracique en forme de tonneau et leur crâne sans menton, aux arcades sourcilières marquées, se dessinent.

Grâce à l'analyse chimique de leurs dents, c'est leur



### ► Qui était Néandertal ?

- D'Antoine Balzeau et Emmanuel Roudier
- Editions Belin
- 96 pp., 19,90 €

régime alimentaire, composé d'une grande diversité d'animaux, du lièvre au mammouth en passant par les coquillages, mais aussi de légumes, qui est retranscrit. Avec l'étude du climat qui régnait en ces temps anciens sur l'Europe, le Proche-Orient et jusqu'en Asie, lieux où vivaient les Néandertaliens, la faune et la flore de l'époque reprennent vie. Ainsi l'Homme de Néandertal peut être représenté dans ce qu'était son environnement.

Cette autre humanité n'en devient que plus touchante. Comment ne pas se sentir proche de ce père déposant une corne de bison près du corps de son enfant, dans



< ^ Antoine Balzeau s'attache à montrer la diversité des humanités et notre proximité avec Néandertal.

cette illustration très précisément réalisée du site de La Ferrassie en Dordogne, où ces mêmes restes ont été découverts ? Ou face à ce couple Néandertal-*Sapiens* s'occupant de leur bébé, tandis que les deux peuples semblent communiquer pacifiquement ?

Bien sûr, l'enquête finit avec les différentes hypothèses émises sur la disparition de ces Néandertaliens. Et si *Sapiens* est souvent accusé d'en être le principal responsable, l'histoire semble plus compliquée.

Toujours est-il que notre espèce se souvient encore de cette autre humanité si proche, plus de 30 000 ans après son extinction, avec une émotion et un respect renforcés par chaque découverte, et par chaque ouvrage qui lui est dédié.

Thomas Cavaillé-Fol

B.FENOUIL/REA





“

ANTOINE **BALZEAU**

Paléoanthropologue au CNRS  
et au musée de l'Homme

*Il y a 100 000 ans, au moins 4 ou 5 humanités différentes cohabitaient*

**S&V :** Vous tordez ici le cou à de nombreux clichés sur Néandertal. Pourquoi persistent-ils autant ?

**Antoine Balzeau :** La paléoanthropologie est une science jeune, d'à peine 200 ans ! Les découvertes n'offrant qu'une vision fragmentée de la réalité, nous avons tendance à les surinterpréter. D'où des raisonnements trop simplistes : pendant longtemps on a cru que Néandertal vivait dans le froid et ne mangeait que de la viande, il était donc

représenté dans de la neige, au côté d'un mammouth...

**S&V :** Comment a pu se passer la rencontre entre Néandertal et l'Homme moderne ?

**A.B. :** Les échanges ont dû s'effectuer entre plusieurs petites populations différentes, ils devaient donc être très variés : belliqueux, pacifiques, commerciaux... Aucun fossile de *Sapiens* et de Néandertal provenant d'un même endroit n'a été retrouvé, mais certaines régions possèdent d'énormes

potentiels : la péninsule arabe, l'Irak, la Syrie.

**S&V :** Néandertal, Flores, Denisova... plusieurs espèces ont cohabité avec l'Homme moderne. Quelle leçon en tirer aujourd'hui ?

**A.B. :** Il est étrange de penser que sur plus de 7 millions d'années d'évolution, cela fait seulement 50 000 ans que la famille humaine n'a qu'un seul représentant. Il y a 100 000 ans, au moins 4 ou 5 humanités différentes cohabitaient. Elles avaient des capacités semblables, et se sont même reproduites. Cela paraît insensé aujourd'hui, dans une société qui se demande si l'on devrait accueillir gratuitement les enfants étrangers à l'école.

Propos recueillis par T.C.-F.

## LIVRE

► **L'Autre Monde, une histoire illustrée de l'au-delà**

► De Guillaume Duprat

► Ed. du Seuil

► 176 pp., 39 €



Guillaume Duprat nous avait déjà raconté comment les grandes civilisations imaginaient la création du monde... Il nous emmène cette fois dans leurs au-delà. En s'appuyant sur les mythes égyptiens, chrétiens, hindous, mongols..., il dévoile par ses textes et ses beaux dessins très documentés les nombreux "mondes invisibles" possibles. Si l'on connaît (plus ou moins) le Paradis ou l'Elysée grec, on découvre ici, entre autres, que chez les Indiens Hopi (Arizona) la mort est un retour à la Terre-Mère ; ou que l'âme se transforme chez les Aborigènes (Australie) à travers les étoiles. En résulte un fascinant voyage dans le temps et les cultures, qui raconte les infinies variations de la conception de l'âme et des territoires surnaturels qu'elle parcourt.

E.R.

## FESTIVAL

► **La science se livre**

► Dans les villes des Hauts-de-Seine (92)

► Du 14 janvier au 4 février 2017

► Rens. : <http://sssl.hauts-de-seine.fr/>



Déclinée dans une trentaine de villes, la 21<sup>e</sup> édition du festival "La science se livre" aura pour thème la santé. Des projections de documentaires, des débats, des expositions donneront l'occasion aux chercheurs d'échanger avec le public sur une sélection de thèmes très divers, tels que les problèmes de sommeil ou les conséquences sanitaires du changement climatique.

17 février 1977

# La découverte d'une vie incroyable au fond des mers

Lentement, le submersible américain *Alvin* s'enfonce dans l'océan. La mer est calme, ce matin du 17 février 1977, au large des îles Galápagos. A bord, les géologues Jack Corliss et Tjeerd van Andel prennent leur mal en patience tandis que Jack Donnelly, le pilote, les mène, après une heure et demie de descente, à 2700 m de profondeur. Là, sur le sol larvaire baigné d'une nuit glaciale, une découverte géologique majeure les attend. Les capteurs de l'*Alvin* confirment en effet ce qu'ils avaient mesuré depuis la surface: la température de l'eau, jusque-là figée à environ 2°C, grimpe d'un coup à 8°C. A quelques mètres, s'échappant des fissures qui lézardent la lave figée, une eau chargée

de manganèse bleu insufflé dans ces profondeurs désolées une chaleur providentielle. L'expédition vient de découvrir une source hydrothermale... Mais la plus grande surprise reste à venir.

## UN VRAI "JARDIN D'EDEN"

*"Est-ce que l'océan profond n'est pas supposé être comme un désert? Eh bien, il y a plein d'animaux par ici..."* annonce, stupéfait, Corliss au téléphone acoustique. Des mollusques blancs, des crabes, des poulpes mauves... Sur un rayon de 50 m autour du geyser, la vie foisonne. Plus loin, un autre site révèle des animaux orange aux allures de pissenlits. Ailleurs, où le thermomètre affiche un agréable 17°C, ce sont des tubes blancs de 50 cm couverts

d'un chapeau rouge qui ondulent comme un champ de fleurs. Les chercheurs nommeront cette prairie le "jardin d'Eden".

L'idée que ces sources puissent être entourées d'une vie grouillante n'avait effleuré personne. L'expédition ne comprend aucun biologiste et rien n'est prévu pour conserver les échantillons animaux. Certains seront stockés dans de la vodka russe achetée au Panama!

Qu'il y ait des sources chaudes dans les grands fonds, les océanographes s'en doutaient depuis des années. Le long des 60000 km de dorsales qui sillonnent les océans, ces grandes balafres que crée l'écartement progressif des plaques tectoniques, de la lave remonte, fabriquant

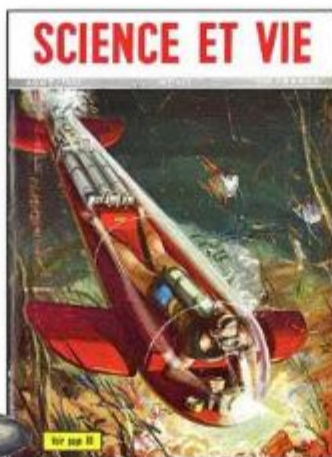
de la croûte océanique. Il était donc logique d'imaginer que devaient aussi s'y manifester des remontées locales d'eau chaude.

Six ans plus tôt, l'idée d'une exploration humaine des fonds marins est lancée. Le Français Xavier Le Pichon, du Centre national pour l'exploration des océans, propose d'organiser avec l'Américain Robert Ballard une première expédition autour d'une dorsale. La France dispose d'un bathyscaphe de 200 tonnes, l'*Archimède*, et construit un plus petit submersible baptisé *Cyana*. Les Etats-Unis, de leur côté, ont déjà un sous-marin de la Navy de 15 tonnes, l'*Alvin*. Sa sphère d'acier est remplacée en 1973 par du titane, qui supporte une pression deux fois

## SCIENCE & VIE en parlait déjà... PAR FIORENZA GRACCI

### 1952 À LA CONQUÊTE DES GRANDS FONDS

S&V s'enthousiasme devant les nouveaux moyens d'exploration: porte-scaphandriers, "torpilles montées" et surtout, bathyscaphe, dont le célèbre Pr Piccard est le pionnier. D'autant que "la vraie mission du sous-marin est pacifique: c'est l'exploration du champ d'action infini que nous offrent les océans". S&V n°419

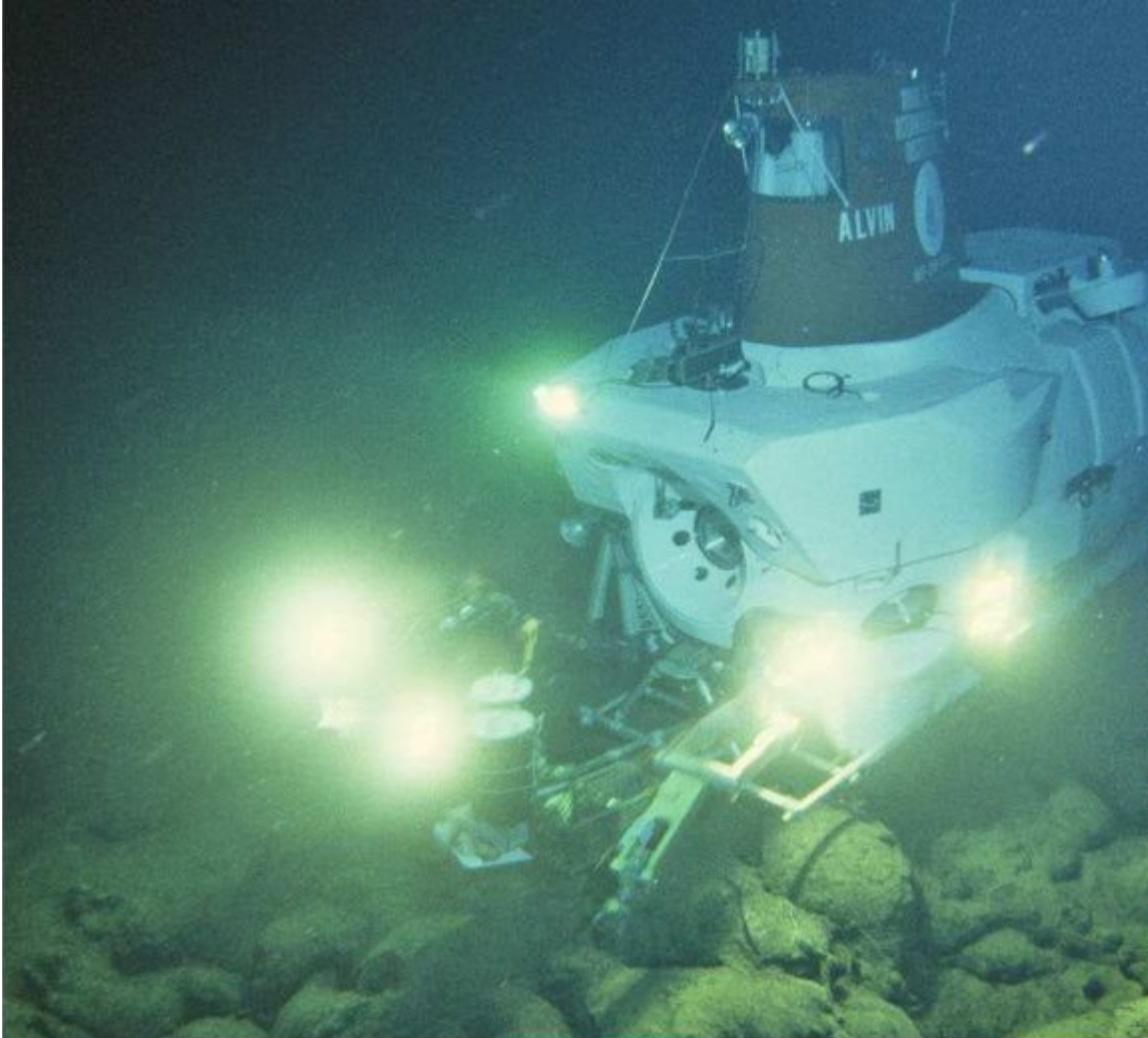


### 1966 TOUJOURS PLUS LOIN...

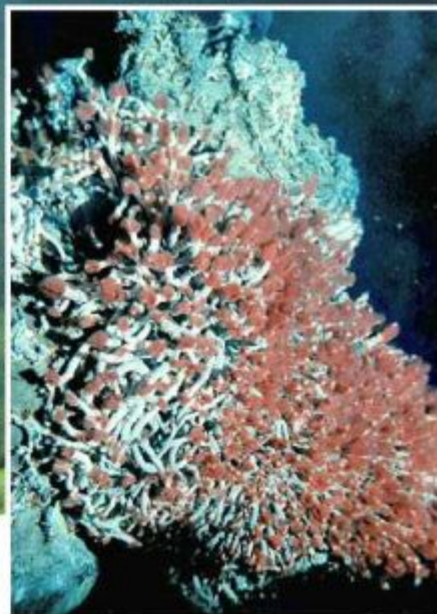
L'"étrange flottille de sous-marins, pionniers de la ruée vers les abîmes fertiles", compte désormais une cinquantaine de bathyscaphe scientifiques. Dont l'*Alvin*, qui a récupéré une bombe atomique par 750 m de fond en Espagne, et le *Trieste II*, qui détient le record de plongée avec 11521 m dans la fosse de Guam! S&V n°547







◀ Ce 17 février 1977, au large des Galápagos, le sous-marin *Alvin* (photo) découvre, à 2700 m de profondeur, une source hydrothermale hébergeant une vie insoupçonnée.



plus forte, portant sa capacité à 3600 m de profondeur.

Une première zone à explorer est choisie au sud-ouest des Açores, où un sonar militaire est utilisé pour la première fois par des civils pour cartographier le fond. Une caméra Angus (Acoustic

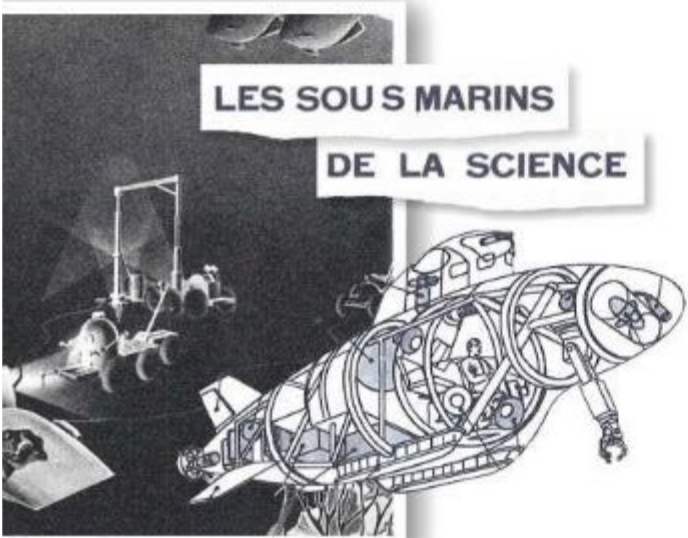
Navigated Geological Under-sea Surveyor) est également mise au point. En 1974, l'*Archimède*, le *Cyana* et l'*Alvin* se faufilent dans des vallées marines aussi profondes que le Grand Canyon. Cinq ans après que Neil Armstrong eut posé le pied sur la Lune,

l'homme conquiert un nouvel univers. Mais ne trouve aucune source hydrothermale. Où sont-elles?

Les océanographes américains se tournent alors vers le rift des Galápagos où, en 1972, de légères anomalies de température ont été repé-

rées: des clichés y révèlent des monticules grossièrement circulaires, de la taille d'un chapiteau de cirque, qui paraissent bien avoir été formés par des →

## LES SOUS MARINS DE LA SCIENCE



## 1983 ET SI LE BOUILLON PRIMORDIAL ÉTAIT OCÉANIQUE?

L'hypothèse est renversante: "Jusqu'à présent, on admettait que la vie était née, sous l'action de la lumière solaire, dans des lagunes peu profondes. La découverte récente, autour des failles du Pacifique, d'étranges bactéries vivant dans un milieu rappelant l'environnement primitif de la planète, remet en cause ce tableau. Les premiers êtres vivants auraient été créés grâce à l'énergie du volcanisme sous-marin." **S&V n°793**



CRÉATION DE LA VIE  
**LA VIE TERRESTRE  
EST NÉE  
AU FOND DES OCÉANS**



→ fluides chauds. Et des microtremblements de terre, parfois jusqu'à 80 par heure, y résonnent.

### FABULEUX "FUMEURS NOIRS"

En 1976, équipée de nouveaux instruments, la mission Pléiades confirme les anomalies thermiques à environ 40 m du sol. Les clichés esquissent des fissures et des dépôts jaune et blanc. Des minéraux précipités par l'eau chaude? Pour en avoir le cœur net, une nouvelle expédition s'élance le 8 février 1977. Après quatre jours de traversée, le *Knorr* arrive sur le site. Le 15 février, il traîne les deux tonnes de la caméra Angus qui, à quelques mètres du fond, prend un cliché toutes les 10 secondes, tandis que les scientifiques suivent fébrilement les relevés de température.

Vers minuit, un pic est détecté: le signal dure trois minutes, puis la température retombe à 2°C. Sur les clichés: des laves couvertes d'un nuage bleuâtre. L'*Alvin*, porté par le catama-



△ Des "cheminées" laissent échapper les métaux de la croûte océanique qui, en précipitant dans l'eau, donnent l'illusion de fumées noires.

ran *Lulu*, est arrivé entre-temps. Le 17 février, Jack Corliss et Tjeerd van Andel embarquent et plongent à 2700 m, où ils découvrent la présence de vie autour de grands geysers d'eau chaude.

Comment ces animaux se nourrissent-ils sans lumière? L'odeur d'œuf pourri fournit un indice: les micro-organismes utilisent en effet le sulfure d'hydrogène présent ici dans l'eau comme source d'énergie chimique pour fixer le carbone du gaz carbonique dissout. Avant de servir eux-mêmes de pâture aux organismes supérieurs.

Deux ans plus tard, une

nouvelle expédition permettra aux biologistes d'étudier une faune exotique unique: anémones, moules, bulots, homards, escargots, étoiles de mer, crabes... et même un ver en forme de tube de près de 2,50 m, sans bouche ni intestin.

Mais le 21 avril 1979, c'est un paysage encore plus surprenant que révèle l'*Alvin*: une aiguille rocheuse de 2 m de hauteur déverse des fluides noirâtres comme une cheminée de locomotive à vapeur; cassée, c'est un épais nuage de fumée noire qui s'en échappe. Et impossible de mesurer sa

température: le plastique de la sonde a fondu! Des instruments adaptés grimperont plus tard jusqu'à 350°C. A cette température, les métaux de la croûte océanique se dissolvent dans les fluides hydrothermaux et précipitent ensuite au contact de l'eau froide riche en oxygène, donnant ainsi l'illusion d'une fumée noire qui donnera leur nom à ces cheminées des profondeurs: fumeurs noirs.

Plus de 200 champs hydrothermaux ont été recensés depuis, jusqu'à 5000 m de profondeur. Ils intéressent les industriels, qui espèrent les utiliser pour produire de l'énergie ou exploiter leurs minéraux. Mais pour les biologistes, leur vraie richesse est ailleurs: certains estiment que ces sources chaudes, et en particulier les sources diffuses, dont la température n'excède que de quelques degrés celle des fonds marins, pourraient bien avoir été à l'origine de la vie sur Terre. La conquête des abysses ne fait que commencer.

E. Monnier

## SCIENCE & VIE en parlait encore

### 2004 LA VIE PULLULE DANS LES ABYSES...

S&V dresse le panorama de cette "autre vie" dont les secrets commencent à être percés. "Qui aurait imaginé que la vie soit possible à 5000 m sous les mers? Une vie foisonnante même, là où l'obscurité est totale, l'oxygène rarissime, les températures extrêmes. Et pourtant... plus de 500 espèces ont été recensées autour des sources" hydrothermales. Dès lors, c'est "la vie sur d'autres planètes qui prend soudain une autre dimension". S&V n° 1037 @



### 2013 ... MAIS AUSSI SOUS LA CROÛTE TERRESTRE

Et si l'origine de la vie sur Terre était encore plus profonde? "Un incroyable scénario se dessine: la vie a pu se constituer dans les profondeurs de la Terre! Des géobiologistes n'en finissent plus de découvrir, nichés dans le manteau terrestre, des organismes vivants: bactéries, virus..." Des "intraterrestres" nés de la roche même, au terme de réactions chimiques souterraines. S&V n° 1151 @



à lire en intégralité dans **Les grandes archives** [www.science-et-vie.com](http://www.science-et-vie.com)





SAVOIR  
OÙ ON MET  
LES PIEDS.

**BLEUFORET®**  
FABRICATION FRANÇAISE

toute la collection est sur  
[www.bleuforet.fr](http://www.bleuforet.fr)



## **XC60 SIGNATURE EDITION CITER CE QU'IL N'A PAS SERAIT BIEN PLUS RAPIDE.**

TOIT OUVRANT PANORAMIQUE / SYSTÈME DE NAVIGATION GPS / OUVERTURE SANS CLÉ / SIÈGES AVANT ÉLECTRIQUES ET CHAUFFANTS / CAMÉRA DE REcul / SYSTÈME AUDIO HARMAN KARDON® / ASSISTANCE ET APPLICATION VOLVO ON CALL / CONNEXION INTERNET AVEC HOTSPOT WIFI / ASSISE ET DOSSIER DES SIÈGES EN CUIR / JANTES ALLIAGE FINITION DIAMANT / VITRES ARRIÈRE SURTEINTÉES  
SOIT UN AVANTAGE CLIENT DE 9 800 €<sup>(1)</sup>

**À PARTIR DE 460 €/MOIS.**  
**LLD\*\* 36 MOIS ET 45 000 KM JUSQU'AU 31/03/17<sup>(2)</sup>**

RÉSERVEZ VOTRE ESSAI SUR [VOLVOCARS.FR](http://VOLVOCARS.FR)

(1) Par rapport au prix public conseillé d'un Volvo XC60 Summum D3 BM6 type 46-16 et des options individuelles au 02/11/2016. \* Avec un premier loyer majoré de 4 500 €. (2) Exemple de \*\*Location Longue Durée sur 36 mois et 45 000 km pour la location d'un Volvo XC60 Signature Edition D3 BM6 aux conditions suivantes : apport de 4 500 € TTC, suivi de 35 loyers mensuels de 460 € TTC. Cette offre est réservée aux particuliers dans le réseau participant. Sous réserve d'acceptation du dossier jusqu'au 31/03/17 par le loueur Cetelem Renting, 414 707 141 RCS Nanterre, N° ORIAS : 07 026 602 ([www.Orias.fr](http://www.Orias.fr)). Voir conditions sur [volvocars.fr](http://volvocars.fr)

**Modèle présenté : Volvo XC60 Signature Edition D3 BM6 150 ch. 1er loyer de 4 500 €, suivi de 35 loyers de 460 €.**

**Volvo XC60 Signature Edition : Consommation Euromix (L/100 km) : 4.5-5.7 - CO<sub>2</sub> rejeté (g/km) : 117-149.** Volvo Car France SAS, RCS Nanterre n° 479 807 141.