

SCIENCE & VIE

AVRIL 2013 N° 1147  MONDADORI FRANCE



SPÉCIAL 100 ANS

EN ROUTE POUR LE XXI^e SIÈCLE
LE MEILLEUR EST À VENIR

NOUVEAUX PROJETS
NOUVELLES DÉCOUVERTES
NOUVEAUX DÉBATS

BEL : 7,45 € - CH : 12 FS - CAN : 10,50 \$ CAN - LUX : 7,45 €

M 03783 - 1147S - F: 6,95 € - RD





La nouvelle Audi A3 Sportback va encore plus loin dans l'innovation au service de la mobilité connectée. Ainsi, un simple glissement du doigt sur le pavé tactile du système multimédia MMI Touch* vous permettra de saisir lettres et chiffres par reconnaissance d'écriture manuscrite pour une commande intuitive des fonctions de navigation tout en restant concentré sur la route.

Audi.fr/A3sportback

*MMI GPS Advanced avec MMI Touch en option à partir de 1 380 € jusqu'à 2 420 € selon finitions. Volkswagen Group France S.A. – RC Soissons B 602 025 538. Audi recommande Castrol EDGE Professional. Vorsprung durch Technik = L'avance par la technologie.

Gamme nouvelle Audi A3 Sportback. Cycle mixte (l/100km) : 3,8 - 5,6. Rejets de CO₂ (g/km) : 99 - 130.

+ Innovante + Intense

Nouvelle Audi A3 Sportback
avec pavé tactile.



Flashez ce code
et découvrez la technologie MMI Touch

Connectez-vous à Audi.fr/myAudi
et découvrez tout l'univers exclusif Audi.



Audi
Vorsprung durch Technik





DU Bio. CHEZ Mc Do™

C'est naturel de faire plaisir à vos enfants !
Depuis avril 2010, le menu enfant propose deux produits issus de l'agriculture biologique, un jus de fruit 100% pur jus et un yaourt à boire aux fruits. Le Happy Meal™ c'est un choix de produits de qualité et toujours plus variés.



100 ANS

SCIENCE & VIE

LE MEILLEUR EST À VENIR

Centenaire ! 1 147 numéros, soigneusement rangés sur environ 6 mètres linéaires. Une bonne centaine de milliers de pages, que nous avons recommencé à lire, par le début, en avril 1913. C'est peu dire que, de cette plongée dans le passé, il nous a sauté aux yeux combien les conditions de vie de nos ancêtres étaient différentes des nôtres. Nous vivons nettement plus confortablement, sensiblement plus longtemps et assurément plus nombreux. Nous sommes aussi globalement plus instruits. Incontestablement, l'essor des sciences et des techniques a plus que contribué à ces évolutions majeures. Il n'a pas été inutile d'en reprendre la mesure.

De même qu'il n'a pas été inutile – et même source d'enseignements ! – de voir comment a évolué au fil des années, tout en la perpétuant, ce qui était l'ambition originelle de notre journal. Un journal *“rédigé et illustré pour être compris par tous”*, selon la volonté de son fondateur, Paul Dupuy. De fait, il n'a cessé d'être ce journal accessible à tous, à tous les esprits curieux et exigeants souhaitant s'informer sur l'évolution des connaissances. Avec ce souci constant de se tenir à l'écoute de ce qui fait le monde d'aujourd'hui comme de ce qui fera le monde de demain, dans les domaines les plus variés. Sur ces points, rien n'a – fort heureusement ! – changé et la lecture de nos archives nous en a offert la solide assurance. Pour avoir si bien su épouser les contours de leur temps, pour le cœur et l'intelligence avec lesquels ils se sont acquittés de cette noble mission de vulgarisation, bref, pour avoir si bien fait vivre ce journal, nous tirons un grand coup de chapeau aux nombreuses équipes de rédaction qui nous ont précédés.

Pour notre part, nous abordons notre deuxième siècle avec enthousiasme et confiance. Les réalisations, les découvertes et les nouveaux débats dont nous aurons à rendre compte s'annoncent déjà passionnants (notre dossier spécial en donne plus qu'un aperçu). Passionnants, essentiels, et difficiles. Car notre monde lui-même a changé. Un peu moins riche des ressources que nous consommons abondamment, un peu plus chargé en pollutions diverses que nous produisons massivement, et pourtant toujours aussi rare... Il nous apparaît plus petit et plus fragile que jadis. Cette situation crée bien sûr d'immenses attentes envers les progrès des sciences et des techniques. Mais ils ne seront considérés comme d'authentiques progrès qu'à la condition qu'ils concourent effectivement à l'amélioration durable des conditions de vie. Cela n'allant plus de soi, de nouvelles formes de dialogue entre tous, scientifiques, institutions et public, devront être inventées pour restaurer et entretenir la confiance de chacun.

Pour toutes ces raisons, nous sommes convaincus que des journaux comme le nôtre seront encore plus indispensables à l'avenir. Et si nous pouvons former un espoir, c'est que dans un siècle, lorsque ceux qui auront pris notre relève fêteront le bicentenaire de *Science & Vie*, ils reçoivent à leur tour des messages leur allant droit au cœur, à l'instar de ceux que vous nous avez envoyés pour constituer notre livre d'or du centenaire (voir pages suivantes).

S&V

LE CENTENAIRE DE "SCIENCE & VIE", C'EST AUSSI...

CHAQUE MOIS... UNE IDÉE NEUVE POUR LE XXI^e SIÈCLE

Le XXI^e siècle ne se comprendra pas avec les idées du XX^e siècle. Dans tous les domaines des connaissances, de nouveaux savoirs émergent et viennent bousculer les anciens dogmes. Pour penser l'avenir, il va falloir enterrer les vérités dépassées et s'ouvrir à de nouvelles évidences. Très précisément à 7 idées neuves, dont *Science & Vie* publiera chaque mois l'une d'entre elles, en lieu et place de son habituelle rubrique "Le point sur".

Ce mois-ci: "*Penser coopération plutôt que compétition*".

À PARTIR DU 11 AVRIL... UNE ÉDITION SPÉCIALE "SCIENCE & VIE TÉMOIN D'UN SIÈCLE OÙ TOUT A CHANGÉ"

Les plus grands événements de ces cent dernières années sont traités dans cette édition spéciale sur des doubles pages illustrées, agrémentées d'extraits des *Science & Vie* de l'époque. On y croise les premières automobiles à traction, les premiers exploits de l'aéronautique, les premières locomotives électriques... On y traverse deux sales guerres affreusement meurtrières, dont *S&V* a abondamment rendu compte. On y rappelle les découvertes des grands hommes de science et la manière

dont elles ont changé nos conditions de vie et la vision que nous avons de l'Univers. On revoit les premiers pas d'Armstrong sur la Lune, le décollage du Concorde (et sa fin tragique), le premier bébé-éprouvette et les progrès vertigineux des sciences du vivant, sans oublier Hiroshima...

Edition spéciale de 140 pages en grand format, disponible à compter du 11 avril 2013.



DÈS À PRÉSENT... SUR INTERNET

Notre site Internet accompagne la publication du numéro que vous tenez entre les mains.

Vous y trouverez l'intégralité des témoignages que nos lecteurs nous ont adressés à l'occasion de notre anniversaire. Ils sont rassemblés dans un livre d'or que nous vous invitons à consulter, et même à compléter.

Par ailleurs, une première partie de nos archives (1989-2013) est désormais accessible. Un moteur de recherches efficace permet d'y consulter les articles publiés selon les sujets recherchés (service accessible sur abonnement uniquement).

Une seule adresse: www.science-et-vie.com

LE 27 AVRIL... CONFÉRENCES À L'UNESCO

"Le meilleur est à venir": tel sera le thème central de l'Université de la Terre, qui se tiendra à l'Unesco le 27 avril. Associée à cet événement, la rédaction de *Science & Vie* y dialoguera avec ses lecteurs autour de ce numéro anniversaire.

Entrée libre. Renseignements et inscriptions: www.universitedelaterre.com

POUR LES FÊTES... UN BEAU LIVRE

En fin d'année, un livre de collection sera publié en 2 volumes. L'un exposera la manière dont *S&V* a rendu compte des évolutions de la science et de la vie durant ces cent dernières années. L'autre proposera la reproduction à l'identique de cent des meilleurs articles publiés depuis 1913.

100 ANS

SCIENCE & VIE

Livre d'or

Cent ans... de lecteurs! Entre souvenirs et témoignages, vous avez été très nombreux à répondre à notre appel d'ouvrir un Livre d'or du centenaire. A preuve ces quelques extraits... Mais toutes vos lettres sont à découvrir sur notre site www.science-et-vie.com.

Jeune adolescent, je rêvais de devenir scientifique. La physique fondamentale me passionnait. Comprendre la matière me semblait peut-être plus aisé que de comprendre les hommes. Des années et quelques études scientifiques et technologiques plus tard, me voici... metteur en scène! Pourtant, point d'abonnement à une quelconque revue littéraire ou théâtrale. Non, ma seule fidélité de lecture c'est à S&V que je l'offre. Pourquoi?

Parce que je trouve dans ses pages toute la poésie du monde. Parce que je tremble

devant le drame qui se joue dans la rencontre entre deux galaxies. Parce que je suis tenu en haleine par le subtil déséquilibre qui régit notre univers. Parce que la quête d'une particule élémentaire est une épopée que ne renieraient pas certains chevaliers autour d'une table. Parce qu'une philosophie de vie peut être changée par un article expliquant que la matière présente dans l'Univers ne suffira pas à en freiner l'expansion.

Parfois je me dis qu'artistes et scientifiques font un peu le même métier. Leur quête

n'est-elle pas la même? Comprendre le monde. Le regarder et le montrer sous un angle différent. En découvrir ce qui est inaccessible à nos sens. Les scénarii que les uns et les autres développent pour expliquer les phénomènes qui nous entourent sont autant d'occasions de s'émerveiller, de réfléchir et nous questionner sur ce que nous pensions acquis.

Que chacun continue à nous faire rêver. Et que chaque chose apprise continue à nous questionner toujours plus.

Jean-Christophe Houin, Agen (47)

"Je suis venue à *Science & Vie* par hasard. Je l'achetais toujours lors de mes voyages en train... J'aimais le balancement du rail lors de la lecture des articles consacrés à l'astrophysique... Lorsqu'on me demandait pourquoi je lisais ces articles difficilement compréhensibles, je répondais que même si je ne comprenais que le titre ou la question qu'un article posait, j'en ressortais grandie. Et puis, j'aime la poésie de certains termes. Par exemple, dans un de vos derniers articles, "*cette limite derrière laquelle la lumière ne peut s'échapper et que les physiciens appellent 'horizon'*". Que c'est beau! Voilà. J'aime ce que je ne comprends pas, j'aime ce que je commence à comprendre, j'aime ce que je comprends.

Et maintenant, je suis abonnée!"

Sabrina Baldassarra, Montreuil (93)

Comme je ne suis pas très instruit, je ne comprends pas tout. J'ai au moins compris que ceux qui ont tout compris ont également compris que le plus gros restait à comprendre. C'est cette honnêteté que j'apprécie dans ce magazine qui n'a pas la prétention d'expliquer les choses d'une façon définitive.

Philippe Lejeune, Internet

Livre d'or

"Je me suis beaucoup intéressée aux religions. Puis, lassée de ressasser des textes immuables, j'ai eu envie de changement et de m'intéresser à ce qui bouge, ce qui vit, ce qui évolue. J'ai renoncé au *Monde des religions* et je suis passée à *Science & Vie*. Ma curiosité naturelle y a trouvé son compte et chaque mois, je m'étonne, m'enthousiasme et me cultive. Beaucoup de réponses (relatives) à beaucoup de petites questions me font beaucoup de bien ! Bon anniversaire, vive la science et vive la vie !"

Monique Hamel, Asnières-sur-Seine (92)

"La lecture de votre revue m'a peut-être sauvé la vie [...]. Dans son numéro 1027 d'avril 2003, *S&V* publiait un dossier sur les médicaments. Le Mediator y était considéré comme dangereux. Ainsi, diabétique de type 2, je n'ai jamais pris ce médicament. Pour mon plus grand bien, en voyant les conclusions de l'Agence du médicament qui s'est réveillée avec dix ans de retard."

Bernard Downs-Smith, Caen (14)

Votre numéro de 1939 ou 1940 traitait des fusées postales en Allemagne. Très inventif, cela m'avait donné des idées, dont celle d'un système de fusée actionnant une hélice qui serait le turboréacteur et dont j'ai fait passer les plans élémentaires en zone libre en 1940 pour être expédiés à l'ambassade américaine.

D'autre part, j'avais moi-même acheté dans une maison spécialisée du Quartier latin, 10 kg de nitrate de potassium qui devaient me servir à des essais de fusées mais qui, par la suite durant l'Occupation, me servirent à créer des bombes incendiaires que je mettais sur les camions de l'armée allemande à Paris.

Je remercie donc *Science & Vie* qui m'a, par cet article opportun, aidé dans mes actes de résistance à cette époque de triste mémoire !

Christian Germak, membre des Résistants du 11 novembre 1940, Céty-en-Bière (77)

Le journal a façonné depuis mon enfance notre esprit scientifique [...]. Cette soif de questionnement représente, pour moi, la qualité intrinsèque de l'Homme. Continuez, ne vous arrêtez pas.

Ari Benabou, Internet



"Mes parents m'avaient abonné à *Science & Vie* pour mon quatorzième anniversaire. Le premier numéro que j'ai eu entre les mains était celui d'avril 1972. Je le vois encore : il y avait des motos sur la couverture, on

y découvrait la naissance de l'Airbus, un avion voué à un bel avenir, et mes copains ricanaient devant l'image d'une Anglaise nue sur une balance, dans l'article consacré à l'adoption par le Royaume-Uni du système métrique.

Je me suis marié en 1986 avec la fille d'un des plus grands physiciens théoriciens français. Si j'ai pu soutenir la conversation de mon beau-père, condition nécessaire pour épouser

Félicitations,
je serai toujours fidèle pour
la 200^e... si la
science et la
vie me le permettent...

Patrick Bellanti, Marseille (13)

Des générations se sont succédé, dans cette rédaction, durant ce siècle d'existence, mettant chacune un point d'honneur à poursuivre le combat contre l'ignorance. Et alors que l'on vit maintenant dans une société où l'information est devenue omniprésente, à l'heure d'Internet et des médias nous inondant sans cesse de flots de données, savoir que l'on peut compter sur votre magazine pour séparer mensonges et vérités est pour moi un énorme soulagement qui, je l'espère, continuera à m'éclairer l'esprit pendant encore de très nombreuses années.

Science & Vie a 100 ans... Longue vie à *Science & Vie*.

Eric Wieckowicz, Annequin (62)

[...] Je me souviens des grandes signatures d'autrefois, je pense au Pr Léon Binet, de l'Institut, à Camille Rougeron, qui me fit aimer l'astronomie, à Georges d'Aguilar, qui me passionnait avec ses articles sur le règne animal, je pense aussi à Junior Gauzit qui m'ouvrit d'insoupçonnables horizons [...]. Je pense aussi à Pierre Latil qui me parla des déserts, et des profondeurs marines [...]. Je souhaite lire encore longtemps *Science & Vie*...

Gilbert Lhubac, Fabrègues (34)

Tout comme *Science & Vie* j'ai vu le jour en 1913. Grâce à mon père qui le lisait régulièrement, j'ai, depuis mon plus jeune âge, eu sous les yeux votre magazine et j'en suis resté un fidèle lecteur. En dépit d'une baisse sensible de mon activité visuelle, j'ai conservé mon abonnement, me filles me faisant régulièrement lecture de votre ouvrage [...]. L'accélération des connaissances dans tous les domaines scientifiques, notamment en astronomie, a augmenté d'autant le plaisir que j'ai à vous lire. Longue vie à *Science & Vie*!

Louis Bouvier, Aspremont (06)

sa fille, c'est évidemment grâce à la lecture assidue de *Science & Vie*, qui m'avait familiarisé avec le chat de Schrödinger, la réfutabilité des théories scientifiques et l'énergie nucléaire.

Mais à mon grand étonnement, ce grand physicien, encore dans la force de l'âge et en pleine activité, n'avait que mépris pour mon magazine fétiche: trop sensationnaliste, trop approximatif, disait-il. Désireux de bien faire, je lui ai demandé ce qu'il

convenait de lire pour être scientifiquement correct. Les revues spécialisées qu'il m'a passées me sont tombées des mains: bourrées d'équations et d'allusions que je ne savais pas décrypter, elles étaient réservées à des gens qui connaissaient déjà le sujet dont elles traitaient.

Et ce n'est sûrement pas dans leurs colonnes que j'allais apprendre à quoi pouvait servir un ordinateur personnel, grand sujet de préoccupation de

ces années-là. C'est donc *Science & Vie* qui a continué à me guider dans la science et la technique.

Pendant ce temps, mon cher beau-père est devenu retraité, académicien, chevalier de la Légion d'honneur, et il a commencé à apparaître ici et là au détour des pages de *Science & Vie* dont, peu à peu, il sut reconnaître les vertus, la notoriété lui donnant une responsabilité nouvelle, celle de la vulgarisation.

Vulgarisation que justement *S&V* assume avec brio depuis maintenant cent ans. Cette exceptionnelle longévité intrigue; je pense avoir découvert son secret: lorsque la presse traite d'un sujet que l'on connaît bien, on est affligé des inexactitudes de ce qu'on lit, et de la suffisance prétentieuse des journalistes. Cette règle ne souffre aucune exception, sauf une: *Science & Vie*."

Olivier Delalande, Paris 16^e

Livre d'or

[...] Vous ne vous laissez pas traumatiser par les dangers de la science. Au contraire, le ton généralement optimiste nous donne espoir que la science et la technologie vont nous apporter beaucoup plus de bienfaits que de problème, comme en atteste l'Histoire [...].

André Brunel, Internet

Science & Vie, je le reçois avec le même enthousiasme gourmand que celui avec lequel, enfant, j'accueillais mon journal de Mickey ! [...] Quelle joie et quel soulagement de découvrir, par votre intermédiaire, que la science n'est plus une religion révélée mais une révolution permanente de l'esprit qui, avec une humilité insoupçonnée, un sens aigu de la relativité de sa quête, s'enfonce dans un horizon d'une complexité toujours plus ébouriffante [...].

Dominique Cros-Pophillat, Monceaux-au-Perche (61)

J'ai dû commencer à lire cette revue en 1940, alors élève au lycée Longchamps, à Bordeaux [...].

Des articles analysaient l'industrie de guerre, navale et aérienne des Anglais et Américains. Articles qui échappaient à la censure de l'occupant et nous redonnaient espoir [...]. Sur la couverture de septembre 1941, ce sont bien des marins anglais qui tirent sur des stukas allemands ! Quelle joie ! J'aurais voulu vous dire merci.

Cérard Chatelier, Mont-de-Marsan (40)

[...] Fidèle abonné depuis mes 15 ans (j'en ai 74 maintenant), j'ai conservé tous mes journaux en piles dans mon grenier. Ancien agrégé de maths, je n'ai pas eu le courage de calculer leur nombre, ni surtout leur poids et la quantité de cartons nécessaires pour les déplacer [...]. Merci pour tout ce que vos articles m'ont apporté. Amitiés à toute l'équipe de Science & Vie et bon Centenaire !

J. Ravaine, Internet

Cher *Science & Vie* [...],
je me suis rappelé ton invitation de décembre : parler de toi, de ce que l'on aime et de ce qu'on aime moins. Crois-moi, c'est bien difficile, parce que tu fais un peu partie de la famille, et c'est toujours difficile de parler de sa famille.

J'ai bien un peu flirté avec tes cousins *Sciences et Avenir*, *La Recherche* et *Pour la science*, mais tu as ton truc, ce truc qu'on ne peut pas vraiment définir, ce truc qui fait que finalement tu

restes sur ma table de chevet la revue de choix. Je ne suis ni docteur ni scientifique, donc l'accessibilité de tes articles me permet de garder un pied dans ce monde de techniques et de sciences toujours en progression. Ils me permettent de juger des progrès et aussi des erreurs de notre monde.

Avec un peu plus de quatre décennies pour ma part, c'est maintenant mes loulous qui commencent à te feuilleter...D'ici un ou deux ans

Science & Vie participe
à s'ouvrir au rêve, à
l'imagination et à la
curiosité, des valeurs
indispensables à la vie.

Patrick Dumortier, Wasquehal (59)

Bon,
Sciences & Vie a à peine 38 ans de plus que moi.
Pas la peine d'en faire un fromage...
Juste dire que la revue est jeune depuis plus longtemps,
c'est tout!

Jacques Trillot, Internet

[...] La première de couverture est souvent un peu trop
accrocheuse et vire au sensationnalisme. Je suppose qu'il
faut attirer le chaland... Mais j'attends toujours avec autant
d'impatience le prochain numéro [...]. A l'heure de l'Internet
et de l'information gratuite et immédiate, *Science & Vie* reste
le compagnon indispensable de mes fringales de connais-
sance et d'exploration. Je vous souhaite une très, très longue
continuation.

Didier Guillion, Toulouse (31)

ils s'intéresseront peut-être
à ton petit frère *S&V Junior*.
Je passe toujours de bon mo-
ment en ta compagnie, tes
différentes cures de jeunesse
t'ont bien profité. Tu es beau
et fringant pour quelqu'un
qui a bientôt 100 ans. Tou-
tefois, n'oublie pas qu'avec
l'âge, les yeux de tes lecteurs
n'apprécient pas toujours tes
encarts avec des contrastes
bizarres (gris sur noir, jaune
sur blanc), mais bon, ces
petites fautes de goût sont
généralement vite oubliées.

Continue de nous dispenser
ton savoir, il nous est cher.

Voilà, nous te souhaitons
un excellent anniversaire,
n'abuse pas du champagne,
il faut rester clair et impartial.
Il y a peu de chances que je
sois là pour tes 200 ans (bien
qu'avec un cerveau artificiel,
on ne sait jamais), mais je te
souhaite encore longue vie,
et peut-être que mes petits-
enfants seront alors là pour
te souhaiter la même chose.

Régis Le Bretevillois,
Thouaré-sur-Loire (44)

**[...] Alors que tu fêtes ton premier
siècle d'existence, j'aurai trois
fois l'âge que j'avais lorsque
j'ai commencé à te lire.
Bon vent pour ton deuxième siècle.**

F. Moraud, Internet

**2 ans de plaisir incondi-
tionnel à vous lire [...] et
suis heureux de me réa-
bonner aujourd'hui même.**

Théo Beaudeau, Internet

[...] *Science & Vie*, ici, c'est une culture familiale, une
collection, de père en fils, un lien entre les générations,
c'est des souvenirs d'enfance, un soutien aux rêves de
gosse, et surtout, beaucoup de respect. Malgré ma
profession qui me laisse peu de loisirs, je m'astreins,
avec mes autres passions, dans cette vie de fou
où le temps est rare, à lire encore et entièrement
vos sujets qui souvent me dépassent, et cela me
fait du bien.

Hervé Maucière, Saint-Rémy-lès-Chevreuse (78)

Après lecture, j'ai
l'impression de me
coucher un peu
moins bête.
[...]. Continuez,
j'ai besoin de cette
revue.

Georges Houssaye, Internet

LE POINT SUR...



EN AVRIL 1913, LE PREMIER EXEMPLAIRE VOYAIT LE JOUR...

UN SIÈCLE DE "SCIENCE & VIE"



AVRIL 2013 N° 1147

MINISTÈRE FRANCE

1^{er} AVRIL 1913

"VOICI LE
MAGAZINE DONT
JE RÉVAIS"

P.14

PRESSE

UN JOURNAL
TÉMOIN DE SON
TEMPS

P.16

FAMILLE

À LA CONQUÊTE DE
NOUVEAUX
TERRITOIRES

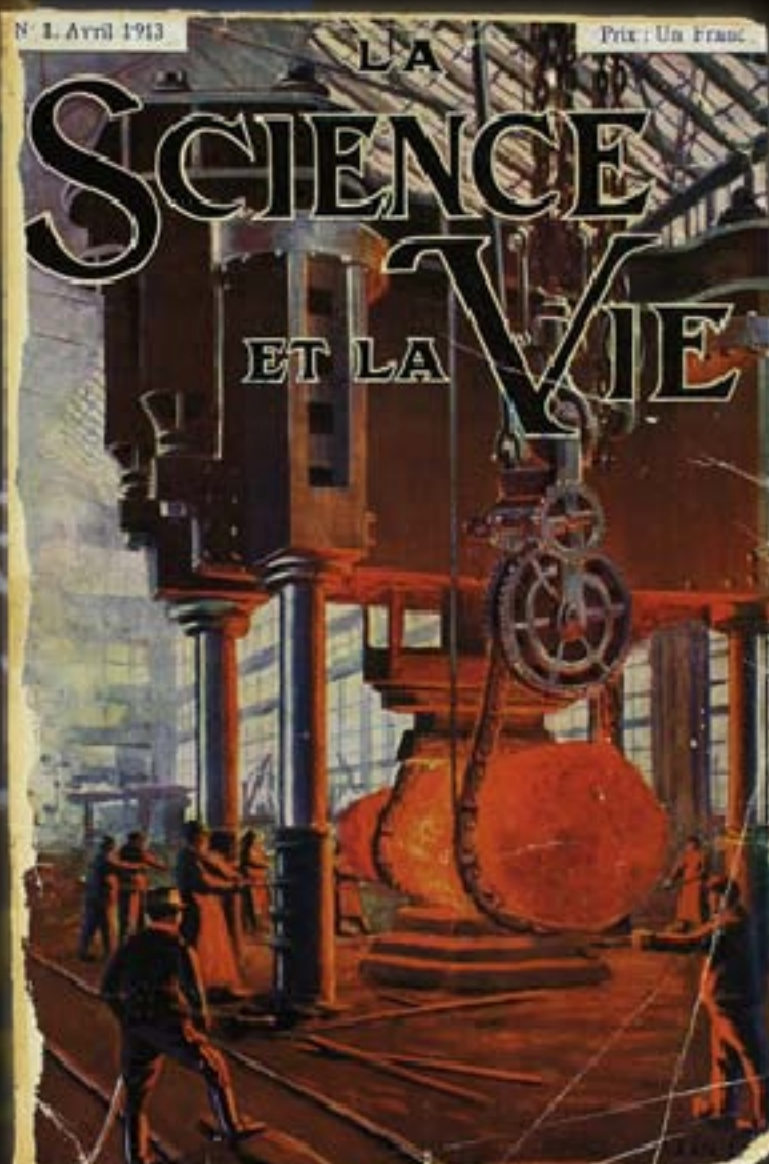
P.22

JOUR J

HISTOIRE

PERSPECTIVES

*Ce n'est pas tous les jours que l'on a cent ans !
Ainsi, une fois n'est pas coutume, ce "Point
sur" est-il dédié à votre magazine. A ses ori-
gines, liées à la volonté d'un homme. A son
histoire, en prise directe avec son temps, dont il
fut témoin des drames comme des succès. A
son évolution, avec de nouvelles aventures édi-
toriales. Cap sur les cent prochaines années...*



Voici la couverture du premier numéro, qui illustre la fabrication du canon de marine de 305 mm.

1^{er} AVRIL 1913 "VOICI LE MAGAZINE DONT JE RÉVAIS"

Ce jour-là, Paul Dupuy dévoile à son père, grand patron de presse, le numéro 1 de La Science et la Vie, qu'il a créé par "passion pour le progrès".

Paul Dupuy dépose un exemplaire du nouveau magazine sur la table de son père, dans leur grand bureau de la rue d'Enghien, à Paris. Petit format, 144 pages, vendu pour 1 franc, tiré à 60 000 exemplaires, ce premier numéro sort des grands locaux de l'entreprise, sur le trottoir d'en face, où sont imprimés quotidiennement presque deux millions de *Petit Parisien*, "le plus fort tirage des journaux du monde entier", comme le rappelle chaque jour le sous-titre de la une. Il s'assoit à sa table de travail et regarde la grande fonderie peinte en couverture. Il rêvait de fonder un tel magazine.

"Sans être scientifique, j'aime à me tenir au courant de tout ce qui se découvre, s'invente, se construit ou se projette, expliquera-t-il plus tard. Mais pour suivre les péripéties passionnantes du progrès, il fallait jusqu'alors, ou se contenter de notes par trop cursives des quotidiens, ou pâlir sur des traités volumineux et rébarbatifs, ou encore s'astreindre à dépouiller une masse de revues françaises et étrangères dont les unes sont trop techniques tandis que les autres ravalent la science par une vulgarisation enfantine et maladroite, véritablement indigne d'esprits intelligents ayant reçu une bonne culture moyenne. J'ai

vainement cherché le juste milieu. Alors, persuadé que je n'étais pas le seul dans mon cas, et qu'une publication comme celle dont je rêvais aurait d'autres lecteurs encore que moi-même, j'ai fait *La Science et la Vie*."

POURQUOI PAS EN FRANCE ?

Un "magazine mensuel des sciences et de leurs applications à la vie moderne" ? Il a su convaincre son père, Jean, propriétaire du *Petit Parisien*, sénateur des Hautes-Pyrénées, plusieurs fois ministre, et proche de Raymond Poincaré, fraîchement élu président de la République. A 34 ans,

Paul est lui-même député des Hautes-Pyrénées et codirecteur du quotidien. De ses voyages d'études sur le fonctionnement de la presse aux États-Unis, ce républicain modéré est revenu admiratif d'une nation portée par le progrès scientifique – il s'est même marié avec une Américaine, Helen, avec qui il a trois enfants. Alors, pourquoi *La Science et la Vie* ne pourrait-elle pas trouver en France le succès que *Popular Science* ou *Popular Mechanics Magazine* rencontrent outre-Atlantique ?

Il feuillette ce premier numéro, qui décrit "La naissance, la vie et la mort d'un canon", se demande si l'on peut "retarder la vieillesse", donne "L'explication de l'arc-en-ciel". Il y a lui-même signé un article sur les dangers que font courir "Les petits agents de la mort", ces "germes de la fièvre typhoïde, de la dysenterie, de la tuberculose et bien d'autres encore" transportés par les moustiques, les rats et les mouches – il considère que les progrès sanitaires doivent être un des grands combats de son journal.

Le succès sera rapidement au rendez-vous – le tirage doublera en dix mois. Paul Dupuy, lui, mourra en 1927 de la fièvre typhoïde – celle-là même dont il alerte ce 1^{er} avril 1913 des dangers. Il faudra encore plusieurs décennies avant que son magazine n'annonce la découverte des antibiotiques.

< Dès le premier numéro, Paul Dupuy engage en personne le combat en faveur du progrès sanitaire.





^ Codirecteur du très populaire *Petit Parisien*, Paul Dupuy conçoit d'emblée *La Science et la Vie* comme le magazine de tout "ce qui se découvre, s'invente, se construit et se projette".

> Les exemplaires sont imprimés rue d'Enghien, comme le *Petit Parisien*, qui annonce sa sortie le 1^{er} avril 1913. Il atteindra vite des tirages importants (ici, livraison de papier vers 1930).



La Science et la Vie
PARAIT AUJOURD'HUI

ABONNEMENTS: 100 FR. PAR AN
RUE D'ENGHIEN, 100
PARIS (17)
Blaug

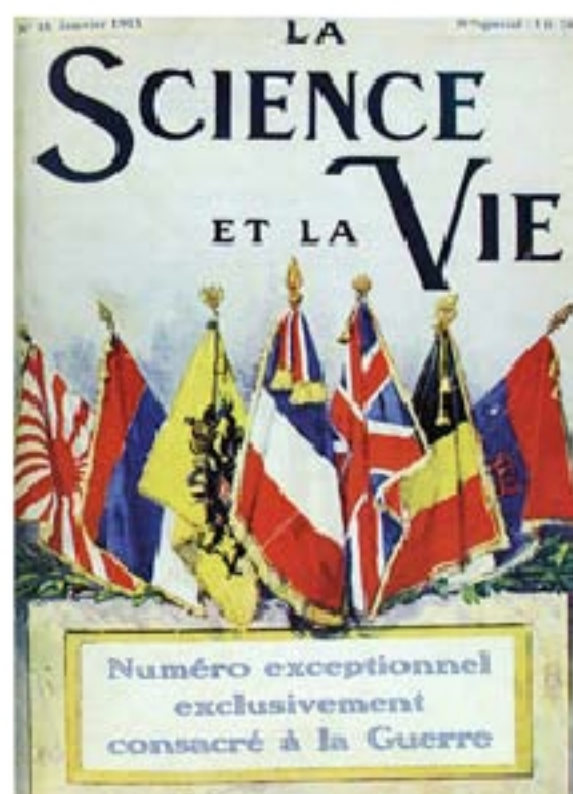
PRESSE UN JOURNAL TÉMOIN DE SON TEMPS

Depuis 1913, Science & Vie a connu deux guerres mondiales, vu l'homme marcher sur la Lune, des technologies révolutionner les modes de vie... Retour sur un "témoin de son siècle", en cinquante "Une" et six périodes.

1913 à 1918

EN TEMPS DE GUERRE

La Science et la Vie est, dès sa naissance, témoin d'un monde qui se prépare à la guerre, puis qui y entre. Ainsi sont particulièrement évoquées les nouvelles armes (fusils-mitrailleurs, gaz asphyxiants, chars d'assaut, zeppelins, avions...). Les enjeux de la production industrielle ne le sont pas moins. Et déjà, le magazine s'engage en faveur de l'hygiène et suit de près la découverte de la radioactivité.



JANVIER 1915



SEPTEMBRE 1915



NOVEMBRE 1916



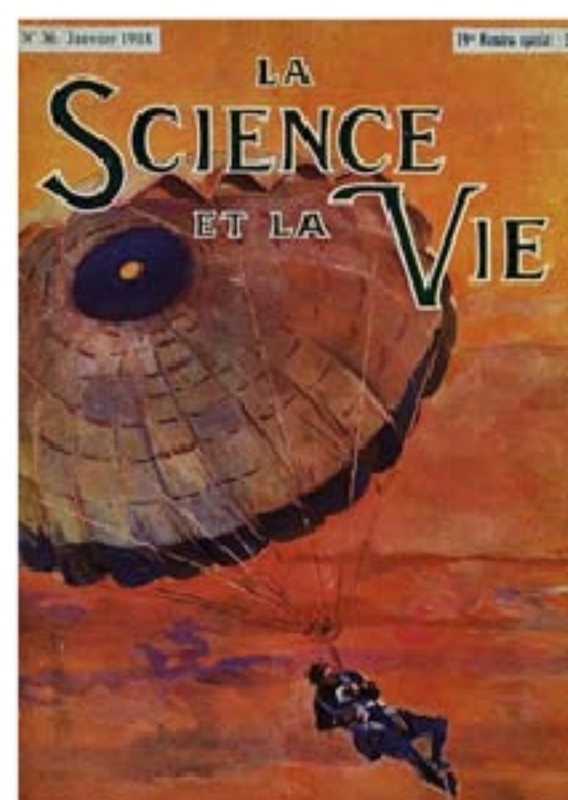
NOVEMBRE 1915



JANVIER 1916



JANVIER 1917



JANVIER 1918

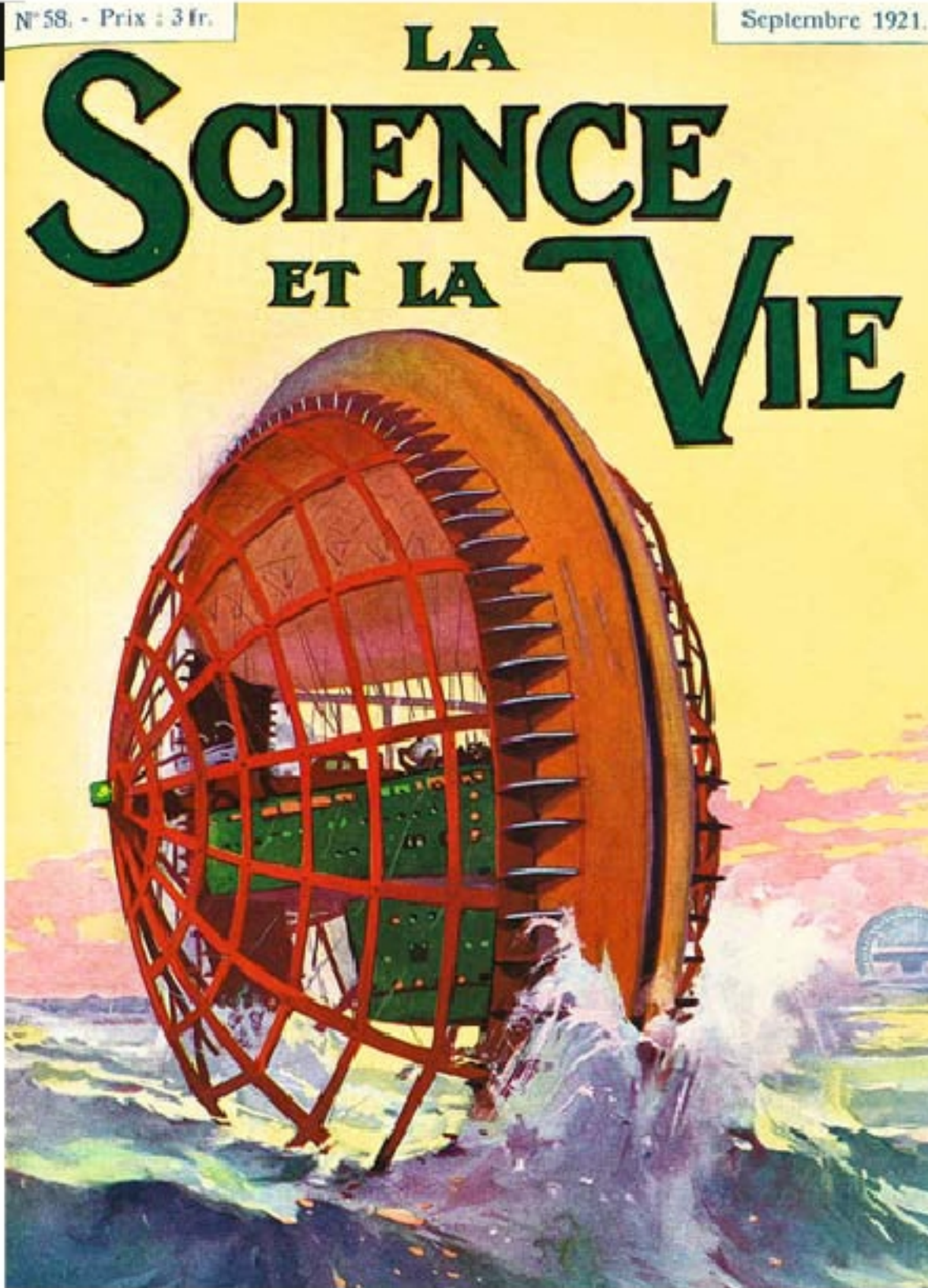
1919 à 1939

LES ANNÉES FOLLES

L'euphorie accompagne la paix retrouvée. C'est le temps des machines folles – motorcycle à roue unique, locomotive à hélice, transatlantiques géants, que le public peut découvrir dans les grandes expositions. La TSF se développe à vive allure, annonçant la puissance prochaine de la radio et de la télévision. Le journal milite pour la modernisation du réseau routier et relate les progrès de l'automobile, vouée à équiper le plus grand nombre. Il s'intéresse aussi aux mutations économiques et industrielles du Japon, au New Deal de Roosevelt, aux ambitions du Reich allemand, à la puissance des procédés industriels américains. Car déjà les périls s'annoncent. Stalinisme, fascisme en Italie, axe Rome-Berlin... le monde se prépare de nouveau à la guerre, avec des cuirassés en mer et des avions de chasse toujours plus efficaces. Mais le lecteur découvre aussi que, dans les laboratoires, le couple Joliot-Curie a réalisé la transmutation artificielle des atomes, que la mécanique quantique (appelée ondulatoire ou matricielle) s'impose, que la biologie moléculaire s'esquisse, et que l'aérodynamique s'affine sur route, sur les rails et dans les airs.

N° 58 - Prix : 3 fr.

Septembre 1921.



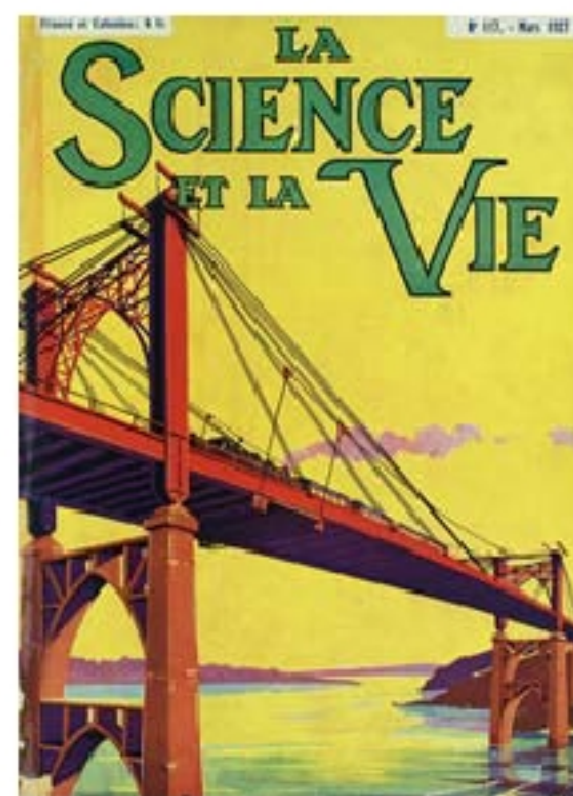
SEPTEMBRE 1921



JANVIER 1923



MARS 1923



MARS 1927



JUILLET 1928



JANVIER 1932



OCTOBRE 1932



DÉCEMBRE 1932



JUILLET 1936

JOUR J

HISTOIRE

PERSPECTIVES

1939 à 1945

DE NOUVEAU EN GUERRE

La guerre s'impose dans les colonnes du magazine comme dans son fonctionnement. Des experts du domaine militaire décortiquent stratégies, armements, batailles. Mais même en temps de guerre, les bienfaits de la technique sont abondamment détaillés: alimentation rationnelle végétale, déshydratation des fruits et légumes... Devenu *Science et Vie* en février 1943, le magazine se veut, plus que jamais, au service de ses lecteurs.



MARS 1942



JANVIER 1944



NOVEMBRE 1939



MAI 1941



JANVIER 1945



AVRIL 1945

1946 à 1973

LES TRENTE GLORIEUSES

Le contexte géopolitique est agité (guerre froide, République populaire en Chine, premiers pas de la Communauté européenne, guerres du Vietnam, d'Algérie, du Kippour...) et les deux grandes puissances s'affrontent dans l'espace. En 1957, l'URSS fait voler le premier Spoutnik; en 1969, les Etats-Unis font marcher un homme sur la Lune. Dans l'Hexagone, avec la reconstruction s'invente un nouveau cadre de vie, donnant une large place aux loisirs et aux médias de masse. *Science & Vie* rapporte les progrès des robots ménagers, des remontées mécaniques, des innovations de l'industrie automobile nationale. Il mène aussi des combats pour la sécurité routière, contre l'alcoolisme et l'astrologie. La santé avance à grands pas, avec la multiplication des antibiotiques, les premiers pas de la génétique, les premières greffes de cœur. L'informatique passe en moins de trente ans du prototype (Eniac, en 1946) à l'ère industrielle (les microprocesseurs arrivent sur le marché en 1970). *Science & Vie* en raconte l'histoire fulgurante. L'exploration de l'Univers profite des progrès des instruments d'observation et de calcul. *Science & Vie* rapporte l'observation du premier trou noir en 1971.



OCTOBRE 1969



SEPTEMBRE 1941

54 NUMÉROS FANTÔMES

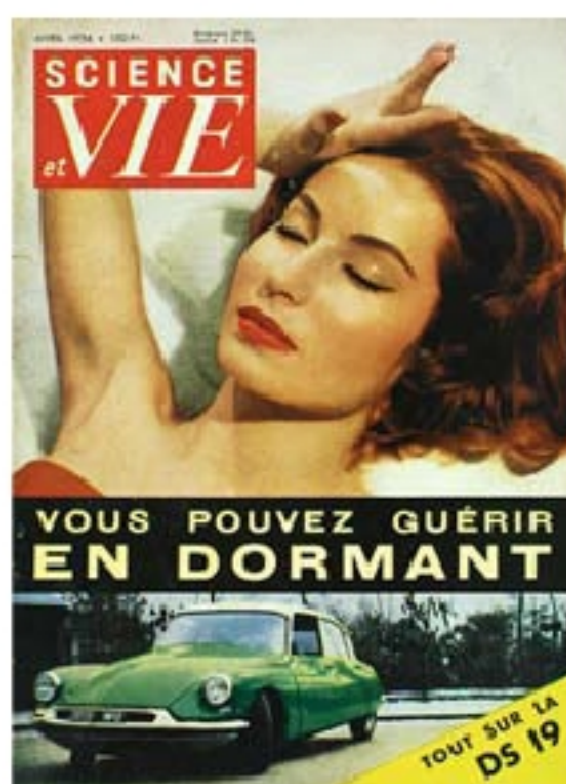
Même dans sa numérotation, *Science & Vie* garde la trace de l'histoire de son temps. Car, déclaration de guerre du 1^{er} août 1914 oblige, il n'y eut pas de magazine daté septembre 1914. Une parution interrompue durant quatre mois, avant de devenir bimestrielle jusqu'en décembre 1922. Ensuite, pas un mois sans le magazine en kiosque, jusqu'à la débâcle de l'armée française de 1940 : la rédaction, établie à Tarbes, puis Toulouse, en zone libre, suspendit la parution de juillet et août. *Idem* à la Libération, pour août 1944, avant que la parution ne reprenne depuis sans interruption. Au final, le magazine a donc raté 54 fois son rendez-vous mensuel. Ce qui explique pourquoi il fête son premier siècle avec ce n° 1147 – à raison de 12 par an, un mensuel centenaire devrait avoir publié 1200 numéros, et donc célébrer cet événement avec le n° 1201, mais $1201 - 54 = 1147$. Ce qui explique aussi pourquoi, 1054 mois après celui d'avril 1913, le numéro de janvier 2001 correspondant au changement de millénaire se trouva doté du n° 1000. Un parfait hasard numérologique induit par deux guerres mondiales.



AVRIL 1946



MAI 1947



AVRIL 1956



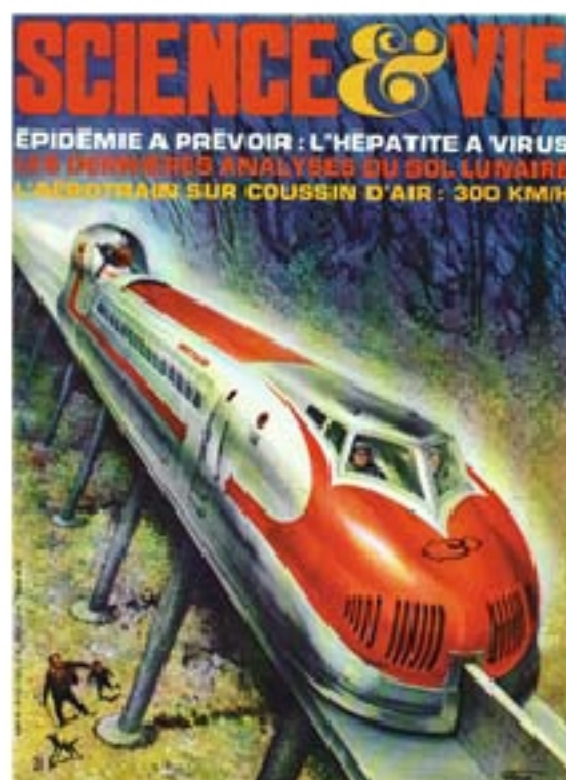
JUILLET 1963



JANVIER 1966



AOÛT 1966



MARS 1968

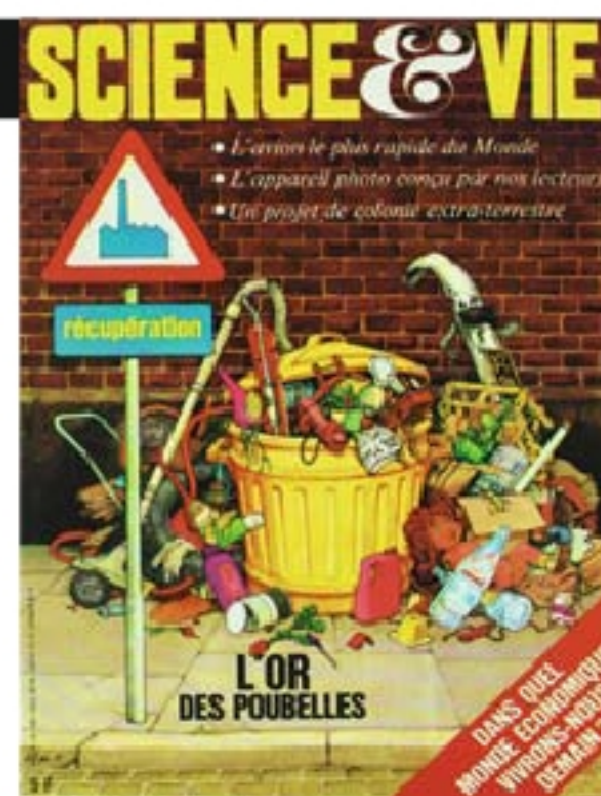


AOÛT 1972

1973 à 1989

L'HEURE DES DOUTES

Deux chocs pétroliers, des guerres (Iran-Irak, Afghanistan, Liban...), mais aussi une catastrophe nucléaire (Tchernobyl) et un terrible virus (VIH) ébranlent le monde. Les Etats-Unis rêvent de "guerre des étoiles", que S&V analyse longuement, tout comme les conséquences d'un éventuel conflit atomique. La France s'engage dans l'électricité nucléaire, filière dont la rédaction, aidée d'experts, évalue les risques économiques et écologiques. Les préoccupations écologiques sont d'ailleurs exacerbées par les marées noires. Superfluides, quasi-cristaux, boson W, thérapies géniques... Malgré les bouleversements en cours, qui feront tomber le mur de Berlin, les découvertes imposent leur rythme, soutenu, aux pages du journal.



NOVEMBRE 1974



MARS 1975



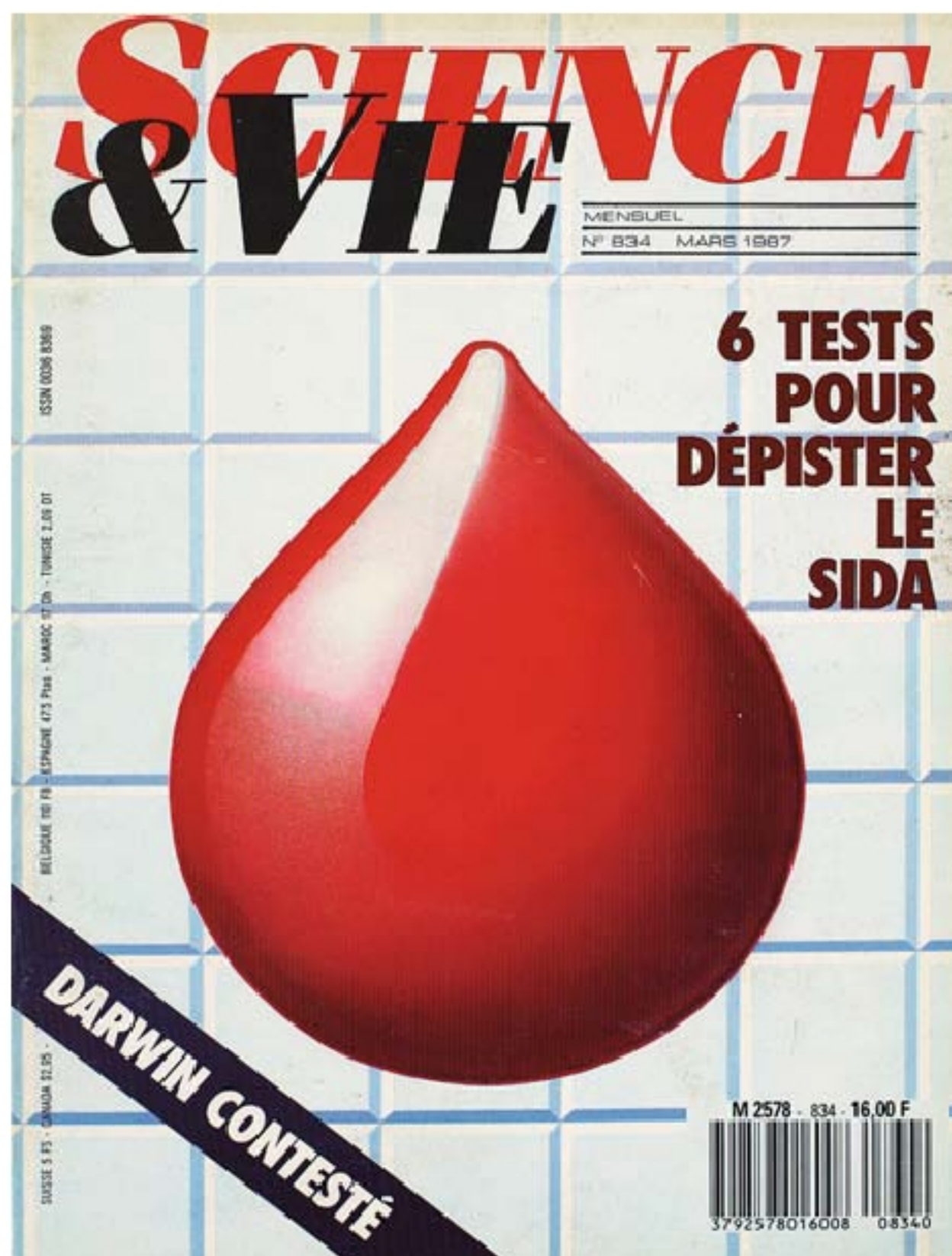
SEPTEMBRE 1976



NOVEMBRE 1976



JANVIER 1978



MARS 1987



JANVIER 1981



JUILLET 1983



DÉCEMBRE 1983



FÉVRIER 1986

1989 à 2013

UN MONDE SANS FRONTIÈRE

Le monde devient multipolaire. L'état de la Terre, surveillée par des centaines de satellites, et les pandémies mondiales – SRAS, (A)H5N1 – imposent un regard global. Attentats du World Trade Center, réfugiés climatiques, tsunamis, ont un écho mondial. Le réchauffement, d'abord supposé puis avéré au sein du journal, s'accompagne de la quête d'énergies renouvelables (solaire, éolien, hydrogène, fusion...), mais aussi de l'extraction des énergies fossiles par des techniques toujours plus complexes (fracturation hydraulique, offshore profond). S&V y consacre de nombreux dossiers, ouvre ses pages aux débats de société – OGM, ondes électromagnétiques, nanotechnologie – et suit l'accélération des connaissances : achèvement du séquençage du génome humain, multiplication des robots martiens, premier objet humain quittant le système solaire (*Voyager 1*), découverte du boson de Higgs, moisson de planètes extrasolaires... Les télescopes, à l'acuité toujours plus grande, renouvellent l'espoir de démêler les hypothèses théoriques sur l'origine et la dynamique de l'Univers. Et le début du XXI^e se révèle riche de nouveaux continents à explorer, en particulier en sciences de la vie et de l'esprit.



OCTOBRE 2005



AOÛT 1990



NOVEMBRE 1997



AOÛT 2000



NOVEMBRE 2000



JUILLET 2003



NOVEMBRE 2004



JUILLET 2005



FÉVRIER 2010

JOUR J

HISTOIRE

PERSPECTIVES

FAMILLE À LA CONQUÊTE DE NOUVEAUX TERRITOIRES

Au début des années 1980, Excelsior Publications, propriétaire historique de Science & Vie, décidait d'étendre le périmètre de son titre phare. Depuis lors, la famille n'a cessé de s'agrandir.

L'informatique, l'économie, l'histoire... Ce n'est que 70 ans après sa création que notre journal a commencé à donner naissance à de nouvelles publications, plus spécialisées ou spécifiquement réalisées à l'intention de la jeunesse. Grâce à ces développements, initiés et réalisés sous l'impulsion de Paul Dupuy (président de l'entreprise familiale de presse Excelsior Publications et petit-fils du fondateur), c'est désormais une petite galaxie de titres qui portent notre marque.

En 2003, le groupe Excelsior est racheté par le britannique Emap Plc, qui le cède à son tour au groupe de presse italien Mondadori en 2006 dont la filiale française édite aujourd'hui tous nos titres. Y compris *Guerres & Histoire*, nouveau venu dans la famille, né en 2011. Ensemble, les 66 numéros réalisés sous la marque *Science & Vie* en 2012 (plus de 5 par mois), ont été diffusés à 10 millions d'exemplaires. Sans doute prendra-t-elle de nouvelles formes auxquelles nous devons savoir nous adapter, mais l'aventure n'est pas finie, c'est sûr...

Les Cahiers de Science & Vie

1991

Bimestriel d'histoire des sciences durant ses 10 premières années, *Les Cahiers* ont trouvé un nouveau souffle en 2001 en partant à la découverte des racines de nos civilisations. Huit numéros par an, de grand format et richement illustrés, pour une diffusion moyenne de 64 000 exemplaires.



1989

Science & Vie Junior

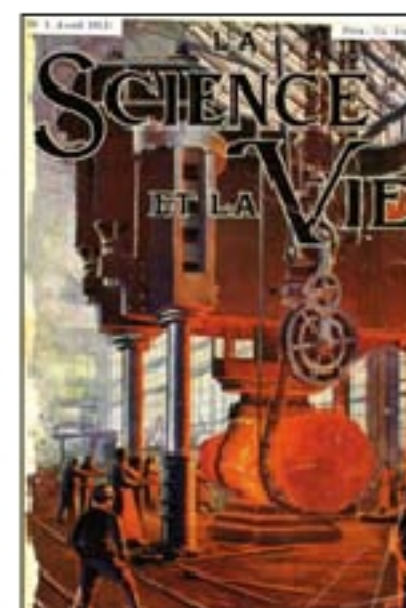
La science, c'est pour les jeunes aussi ! S&V lance SVJ en 1989. Le titre ne cesse de progresser. Avec une diffusion de 166 000 exemplaires, auxquels il faut ajouter ses nombreux numéros hors-série, il domine d'une très grosse tête le marché de la presse des 13-18 ans. Et passées les années lycée, c'est S&V qui prend la relève !



1913

Science & Vie

Centenaire et en pleine forme ! Vous êtes toujours plus nombreux à nous lire : 3 683 000 chaque mois ! Notre diffusion mensuelle moyenne a été de 336 043 exemplaires en 2012 (dont 46 547 à l'étranger). Elle nous place loin devant les autres titres de notre famille de presse et parmi les tout premiers mensuels de la presse française, toutes catégories confondues. Fait relativement nouveau : près d'un de nos lecteurs sur deux est une lectrice. Ce qui ne change pas : votre âge moyen, 44 ans.



2010



2011

Science & Vie Guerres et Histoire

Il éclaire d'une lumière nouvelle les conflits d'hier. Reportages, témoignages, analyses... Un succès dès son lancement. Bimestriel, sa diffusion est de 50 000 exemplaires.



Science & Vie Shanghai

Depuis le début de l'année 2005, les habitants de la région de Shanghai peuvent lire S&V en chinois. Pilotée par l'éditeur de l'hebdomadaire *Shanghai Weekly*, cette édition propose une traduction de notre édition nationale, augmentée de quelques articles réalisés localement.

2000



1999

Science & Vie Découvertes

Les plus petits ont eux aussi leur S&V. Il suffit de savoir lire, et on apprend en s'amusant. Le titre continue de se développer auprès des 8/12 ans. Et sa diffusion moyenne atteint 58 000 exemplaires.

1990



1988

Science & Vie Mac

L'ordinateur à la pomme démocratise l'informatique personnelle. Il rencontre un grand succès en France, particulièrement auprès des graphistes. *SVM Mac* aussi. La parution sera finalement suspendue en 2010.

1984

Science & Vie Eco

L'économie est-elle une science? Au milieu des années 1980, les questions économiques s'invitent dans tous les débats. *S&V Economie* s'efforce d'en expliquer les mécanismes et les enjeux.



1980

1983

Science & Vie Micro

Pour accompagner la révolution de l'informatique personnelle, *SVM* voit le jour dès 1983. Le succès est immédiat, le 1^{er} numéro est réimprimé à la hâte: 220 000 exemplaires vendus! Numéro 1 de la presse informatique pendant plus de vingt ans, le titre a été cédé au groupe néerlandais VNU en 1999. Sa parution a été suspendue en 2010.



1910

La technologie n'a jamais eu autant d'élégance.



Quand on aperçoit la Volkswagen CC, on est tout de suite séduit par son élégance. Mais ce qui vous plaira également, c'est son intelligence. Equipée du Dynamic Side & Lane Assist⁽³⁾, elle vous avertit d'un franchissement involontaire de ligne, détecte les véhicules dans l'angle mort et corrige votre trajectoire. Et grâce au Dynamic Light Assist⁽³⁾, ses phares bi-xénon⁽³⁾ adaptent automatiquement leur luminosité pour plus de sécurité et de confort. Si l'on ajoute à cela le détecteur de fatigue ou encore la caméra de recul Rear Assist⁽³⁾, on se dit que la Volkswagen CC a décidément tout pour elle. Et tout pour vous plaire.

Volkswagen recommande **Castrol EDGE Professional**

(1) LOA sur 36 mois et 45000 km. Ex : Volkswagen CC 2.0 TDI 140 au prix spécial pour ce financement de 29 240 € TTC, remise de 2500 €, offre de reprise de 1000 € et prime à la casse Volkswagen de 1500 € déduites du prix catalogue de 33 910 € TTC (tarif au 02/01/2013 avec garantie 2 ans + 1 an de garantie supplémentaire obligatoire au prix de 330 € incluse dans les loyers). Option d'achat finale : 16 125 € ou reprise du véhicule suivant engagement sous conditions de votre Concessionnaire. Offre réservée aux particuliers chez les Concessionnaires Volkswagen participants, sous réserve d'acceptation du dossier par Volkswagen Bank GmbH – SARL de droit allemand – Capital : 318 279 200 € – Succursale France : Paris Nord 2 – 22, av. des Nations – 93420 Villepinte – RCS Bobigny 451 618 904 – ORIAS : 08 040 267 (www.orias.fr) et après expiration du délai légal de rétractation. Assurance facultative Décès-Incapacité : à partir de 6 €/mois issue de la convention d'assurance collective n° 2420/593 souscrite auprès de Cardif Assurance Vie SA au capital social de 688 507 760 €, N° 732 028 154 RCS Paris et Cardif Assurances Risques Divers SA au capital social de 147 840 000 €, N° 308 896 547 RCS Paris,



Volkswagen CC. L'élégance est une évidence.

A partir de 269€ par mois⁽¹⁾

Entretien et garantie inclus⁽²⁾

Location Avec Option d'Achat sur 36 mois, 1^{er} loyer majoré de 6 899 € suivi de 35 loyers de 269 €. Montant total dû en cas d'acquisition : 32 439 €. Offre valable du 1^{er} mars au 23 avril 2013. Un crédit vous engage et doit être remboursé. Vérifiez vos capacités de remboursement avant de vous engager.



Das Auto.

Volkswagen Group France s.a. - R.C.S. Soissons B 602 025 538

Siège social : 1, bd Haussmann - 75009 Paris. Ce montant s'ajoute à la mensualité en cas de souscription. Montants exprimés en TTC, hors prestations facultatives. (2) Forfait Service Entretien aux particuliers souscrit auprès d'OPT EVEN SERVICES - SA au capital de 365 878 € - Siège social : 109, bd Stalingrad - 69100 Villeurbanne - RCS Lyon B 333 375 426. Coût mensuel du Forfait Service Entretien aux particuliers : 15 € inclus dans les loyers, coût hors financement 540 €. (3) En option selon modèle et finition. **Modèle présenté** : Volkswagen CC Carat Edition 1.4 TSI 160 ch BVM avec options peinture métallisée, jantes alliage 19" 'Lugano', système d'amortissement piloté DCC et extension de garantie VW 1 an. **1^{er} loyer majoré de 8 350 € suivi de 35 loyers de 479 €. Montant total dû en cas d'acquisition 39 219 €** (LOA sur 36 mois et 45 000 km). **Das Auto. : La Voiture.**

52



74

ACTUS

- 30 LABOS**
Une petite lune déclenche les aurores de Jupiter; voici pourquoi le hibou peut se tordre le cou sans risque!, etc.
- 36 FOCUS**
U1.27: le groupe de quasars qui ne devrait pas exister
- 44 ON EN REPARLE**
Néfertiti: elle serait finalement la mère de Toutankhamon!
- 46 LES CLÉS POUR COMPRENDRE**
Pourquoi le boson de Higgs n'est pas la fin de l'Histoire
- 50 TERRE**
La chaleur des villes modifie le climat à distance; les chats restent de redoutables chasseurs, etc.

- 52 FOCUS**
Biodiversité: il y a de la vie dans les nuages!
- 58 IDÉE NEUVE**
"Je mesure les précipitations grâce au réseau de téléphonie sans fil"
- 60 MÉDECINE**
Des greffes de neurones réparent enfin l'intestin!; Parkinson: l'opération précoce fait ses preuves; un spray nasal est testé contre le cancer; on a décrypté l'effet du soleil sur le moral, etc.
- 68 TECHNOS**
Les nouvelles lampes s'inspirent des lucioles; du béton vert fait pousser les murs végétaux; un robot comprend le langage, etc.



À LA UNE

- 74 SPÉCIAL 100 ANS**
EN ROUTE POUR LE XXI^e SIÈCLE LE MEILLEUR EST À VENIR

- 78 VERS UN NOUVEAU MONDE**
Climat, population, ressources, biodiversité, modes de vie: ce qui a changé depuis 1900 et toutes les évolutions prévues d'ici à 2100.
- 88 VERS DE NOUVEAUX PROJETS**
Les 20 plus belles ambitions technologiques pour les prochaines années et décennies.
Horizon 2100: Le défi de la maîtrise

Depuis ses débuts, il y a cent ans, c'est peu dire que Science & Vie a vu le monde changer ! Et tout indique que les cent prochaines années ne seront pas moins riches en découvertes scientifiques, en innovations technologiques, en bouleversements de tous ordres... Voici ce qui ressort de notre dossier Spécial Centenaire qui, s'appuyant sur le siècle passé, prend résolument le pari de l'avenir. A l'horizon du XXI^e siècle, le meilleur est à venir... Oui, mais à la condition qu'il relève les défis qui l'attendent. Bienvenue dans un nouveau monde.

- 78 VERS UN NOUVEAU MONDE**
Climat, population, ressources, biodiversité et modes de vie : panorama de la Terre de 1900 à 2000.
- 88 VERS DE NOUVEAUX PROJETS**
Énergie, transports, industrie, ressources et exploration : 20 grands chantiers parmi les plus prometteurs.
- HORIZON 2100**
LE DÉFI DE LA MAÎTRISE
- 104 VERS DE NOUVEAUX DÉBATS**
Manipulation du climat, extra-terrestres, robotique... : 6 grandes polémiques du siècle.
- HORIZON 2100**
LE DÉFI DE LA DÉCISION
- 118 VERS DE NOUVELLES DÉCOUVERTES**
Physique, biologie... : 18 chercheurs parlent sur les découvertes à venir.

On va analyser le vide interstellaire

MICHAËL CONNOR

« Nous allons enfin découvrir ce qui se passe dans le vide interstellaire... »

La force des séismes ne nous surprendra plus

JEAN-PIERRE AVOINE

« Les séismes sont des phénomènes que nous commençons à comprendre... »

On déchiffre les messages des neurones

STÉPHAN LAURENS

« Nous commençons à comprendre les messages que les neurones envoient... »

152

6 leçons des neurosciences contre les idées reçues

2000 DU MOIS

EN PRATIQUE

Stresser l'enfant le handicap



166

EN PRATIQUE

104 VERS DE NOUVEAUX DÉBATS

Les 6 grands débats de société qui, sous la pression des avancées scientifiques, devraient agiter la société au cours du prochain siècle.

Horizon 2100 : Le défi de la décision

118 VERS DE NOUVELLES DÉCOUVERTES

Dans de nombreux domaines, 18 chercheurs dévoilent leurs travaux et nous livrent leurs espoirs pour les années à venir.

Horizon 2100 : Le défi de la connaissance

139 7 IDÉES NEUVES POUR LE XXI^e SIÈCLE

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

Penser coopération plutôt que compétition

100 ANS SCIENCE & VIE

7 IDÉES NEUVES pour le XXI^e siècle

Penser coopération plutôt que compétition

150 BON À SAVOIR

152 ZOOM DU MOIS

Lecture, calcul, stress, rythmes scolaires...
6 leçons de neurosciences contre les idées reçues

158 QUESTIONS / RÉPONSES

164 TECHNOFOLIES

Un écran qui diffuse deux émissions de télé à la fois ; la fourchette qui peut vous aider à perdre du poids, une imprimante 3D en couleurs, etc.

170 LE CIEL DU MOIS

174 Contre-sommaire

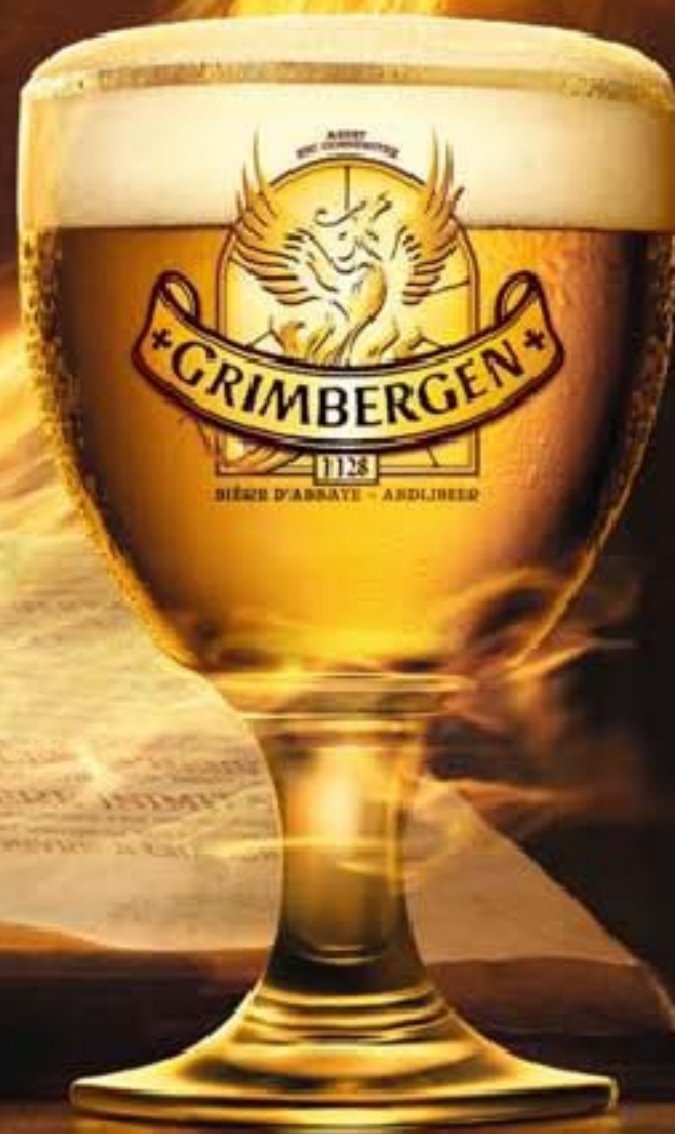
Quatre encarts, "Invitation Renault Zoé", "Croisière science", "VPC S&V Montres automatiques" et "Boutique 100 ans de S&V" sont jetés sur les exemplaires de toute la diffusion abonnés.

GETTY - DR

COUVERTURE : NASAVEOSTAR

LE POUVOIR DE RENAITRE *

TEL SON EMBLÈME LE PHÉNIX, L'ABBAYE DE GRIMBERGEN
A SU RENAITRE DE SES CENDRES SIÈCLE APRÈS SIÈCLE



1128
+ GRIMBERGEN +
BIÈRE D'ABBAYE - ABDIJBIER

www.grimbergen.fr

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

Vous abusez de l'intelligence...

Nous vivons dans un monde de vainqueurs. Tous les êtres vivant aujourd'hui sur Terre sont des gagnants. Il n'y a pas lieu de s'étonner, et encore moins de dire qu'une forme d'intelligence a agi "dans le bon sens". Car la plupart des modifications génétiques qui allaient "dans le mauvais sens" ont été éliminées. Les vainqueurs monopolisent le terrain, c'est tout.

La qualification d'intelligence est assurément une interprétation anthropomorphique abusive, et lorsque la compréhension des réactions du végétal sera acquise, il sera temps, alors, de qualifier avec clarté la nature de son "comportement".

Jacques Ravenel, Manosque (04)

S&V Cette question, nous nous la sommes aussi posée. Mais votre restriction de la notion d'intelligence pose problème : nos cerveaux sont aussi le résultat de la course aux armements qu'implique la sélection naturelle. Doit-on alors s'interdire de dire que l'homme est intelligent, sous prétexte qu'il devrait les subtilités de son comportement aux contingences de son histoire évolutive ?

Revenons à la définition faisant consensus chez les psychologues et psychométriciens : l'intelligence peut s'entendre comme la "capacité très générale, qui implique l'aptitude à raisonner, planifier, résoudre des



problèmes, penser de manière abstraite, comprendre des idées complexes, apprendre de l'expérience". Bien sûr, les découvertes rapportées dans notre dossier ne permettent pas d'établir que les plantes possèdent toutes ces aptitudes. Leur immobilité apparente rend l'idée même d'un comportement végétal autonome difficile à concevoir, tant la mobilité paraît au cœur de la notion de comportement. Et pourtant : elles possèdent la capacité de résoudre des

problèmes. Ainsi, elles répondent sélectivement à une agression ou ajustent le stockage de leurs réserves en fonction de leurs ressources. Mais, surtout, les plantes apprennent de l'expérience : elles peuvent garder la trace d'événements passés, ajuster l'extension de leurs racines ou répartir les nutriments vers les jeunes pousses en fonction de ce qu'elles découvrent autour d'elles grâce, essentiellement, à une très riche exploration chimique.

On utilise déjà ces remèdes chinois

Votre article intitulé "On a testé de la poudre antipaludique" (S&V n° 1146, p. 40) rapporte l'étude américaine du groupe de Pamela Weathers sur l'extraordinaire efficacité, chez l'animal, de la plante chinoise *Artemisia annua* réduite en poudre. Vous concluez : "Reste à démontrer que la poudre est aussi efficace chez l'homme que chez la souris." Je voulais vous signaler que mon expérience dans des dispensaires en Afrique m'a permis d'observer que, dans des pays

comme le Mali, cette plante, réduite en poudre, est déjà utilisée en gélules ou, parfois, sous forme de thé. Son efficacité est déjà démontrée par de nombreux groupes qui font pousser la plante dans ces pays africains.

Nicolas Nipet, par Internet

S&V Oui, il existe des régions où, faute de mieux, des préparations artisanales sont déjà

concoctées à partir de cette plante. Utilisées directement sur des malades, leur efficacité et leurs effets indésirables potentiels n'ont pourtant pas été encore étudiés selon des critères stricts (études précliniques ; sur l'animal ; comparaison avec des médicaments déjà disponibles). Aboutir à une validation solide et irréprochable de ces préparations est le seul chemin pour que leur utilisation puisse se généraliser en toute sécurité.

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

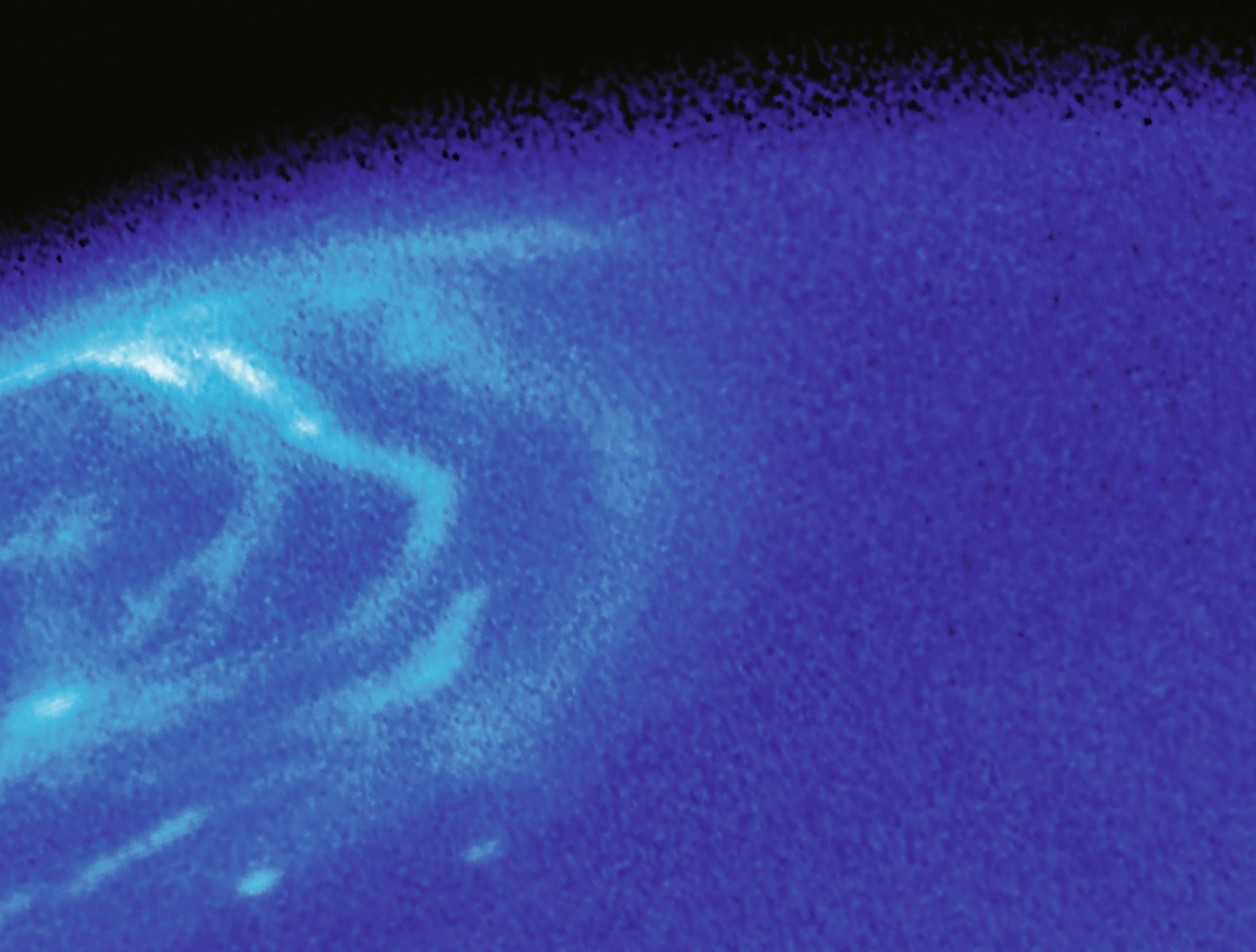
La boutique
SCIENCE & VIE
NOUVEAU!

WWW
laboutiquesciencetvie.com

Livres
Idées cadeaux
Objets scientifiques ou insolites

l'actus labos

> Les immenses aurores polaires de Jupiter (ici, une image prise par le télescope *Hubble*) sont provoquées par les particules chargées que crachent les volcans de sa lune Io.



ASTRONOMIE

UNE PETITE LUNE DÉCLENCHE LES AURORES DE JUPITER

Comparée à la géante gazeuse autour de laquelle elle gravite, Io est insignifiante. Et pourtant, cette petite lune, 60 000 fois moins volumineuse et 21 000 fois moins massive que Jupiter, est bien à l'origine des gigantesques aurores irisées qui se déploient autour des pôles de la planète. L'incroyable scénario avait été imaginé dès que les volcans

d'Io étaient apparus sur les images de la sonde *Voyager*, dans les années 1970. Les particules chargées électriquement éjectées par ces volcans sont susceptibles d'être arrachées par le puissant champ magnétique de Jupiter, avant de s'enrouler autour de ses pôles pour donner naissance à des aurores. Pour confirmer cette hypothèse, une équipe de

l'université Tohoku (Japon) a épluché les mesures d'un télescope hawaïen et de la sonde *Wind* de la Nasa. Et elle s'est aperçue qu'en juin 2007, la quantité de sodium autour de Jupiter avait augmenté tandis que son émission d'ondes radio avait diminué. "Ces séries de données indiquent que l'activité volcanique sur Io a augmenté en même temps

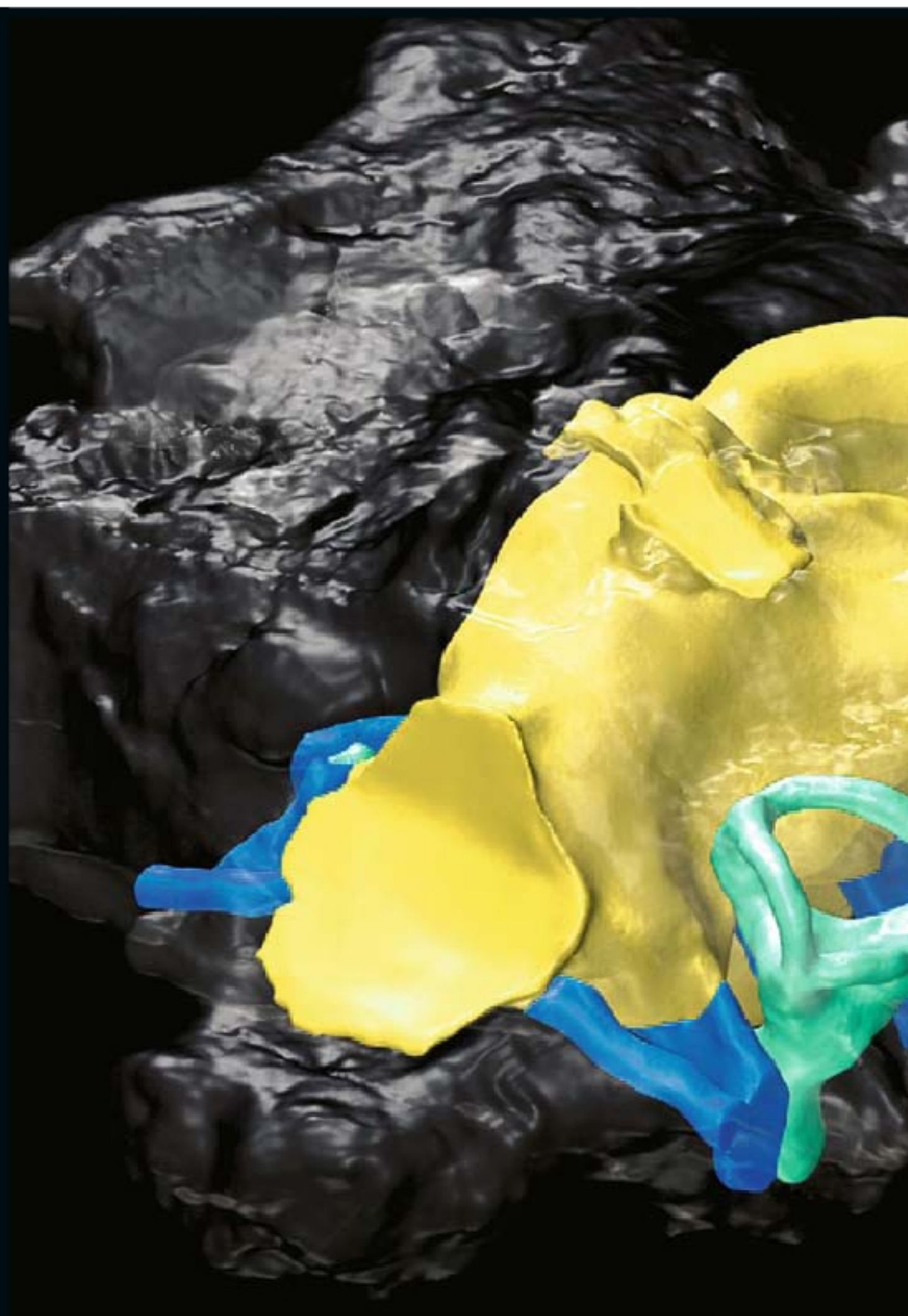
que les aurores de Jupiter se modifiaient", explique Bertrand Bonfond, qui a participé à l'étude. Elles mettent donc en évidence ce lien dont on soupçonnait l'existence : ce sont les éruptions sur Io qui fabriquent la matière première des aurores joviennes. "Plus de doute : la fumée d'une petite lune met bien le feu dans le ciel de sa géante. M.F.

PALÉONTOLOGIE

LES DINOSAURES
GÉANTS AVAIENT
UN MINICERVEAU

Gros, lents, maladroits et idiots: la réputation des grands dinosaures herbivores ne va décidément pas en s'améliorant, malgré leur long succès évolutif... Une équipe espagnole de paléontologues en brosse en tout cas un nouveau portrait peu flatteur. Les chercheurs ont découvert, dans un riche gisement fossile mis au jour en 2007, lors de la construction d'une ligne de chemin de fer entre Madrid et Valence, une perle rare: un crâne particulièrement bien préservé de sauro-pode. Vieux de 70 millions d'années, il appartiendrait à un titanosaure du genre *Ampelosaurus*, un de ces herbivores gigantesques au long cou, mesurant jusqu'à

15 m de la tête à la queue. Son analyse au CT-scan a permis de reconstituer en 3D la surface interne de la boîte crânienne, où les structures cérébrales laissent leur empreinte. Cette modélisation a confirmé que ces animaux énormes possédaient un tout petit cerveau... qui mesurait moins de 8 cm et dont le volume dépassait à peine celui d'une noix! Elle a aussi révélé que ces sauro-podes possédaient une très petite oreille interne, la structure impliquée dans l'équilibre et l'audition. Les paléontologues en tirent l'hypothèse que ce dinosaure devait mouvoir sa tête et ses yeux lentement et être peu agile, voire peut-être... dur de la feuille. **A.D.**



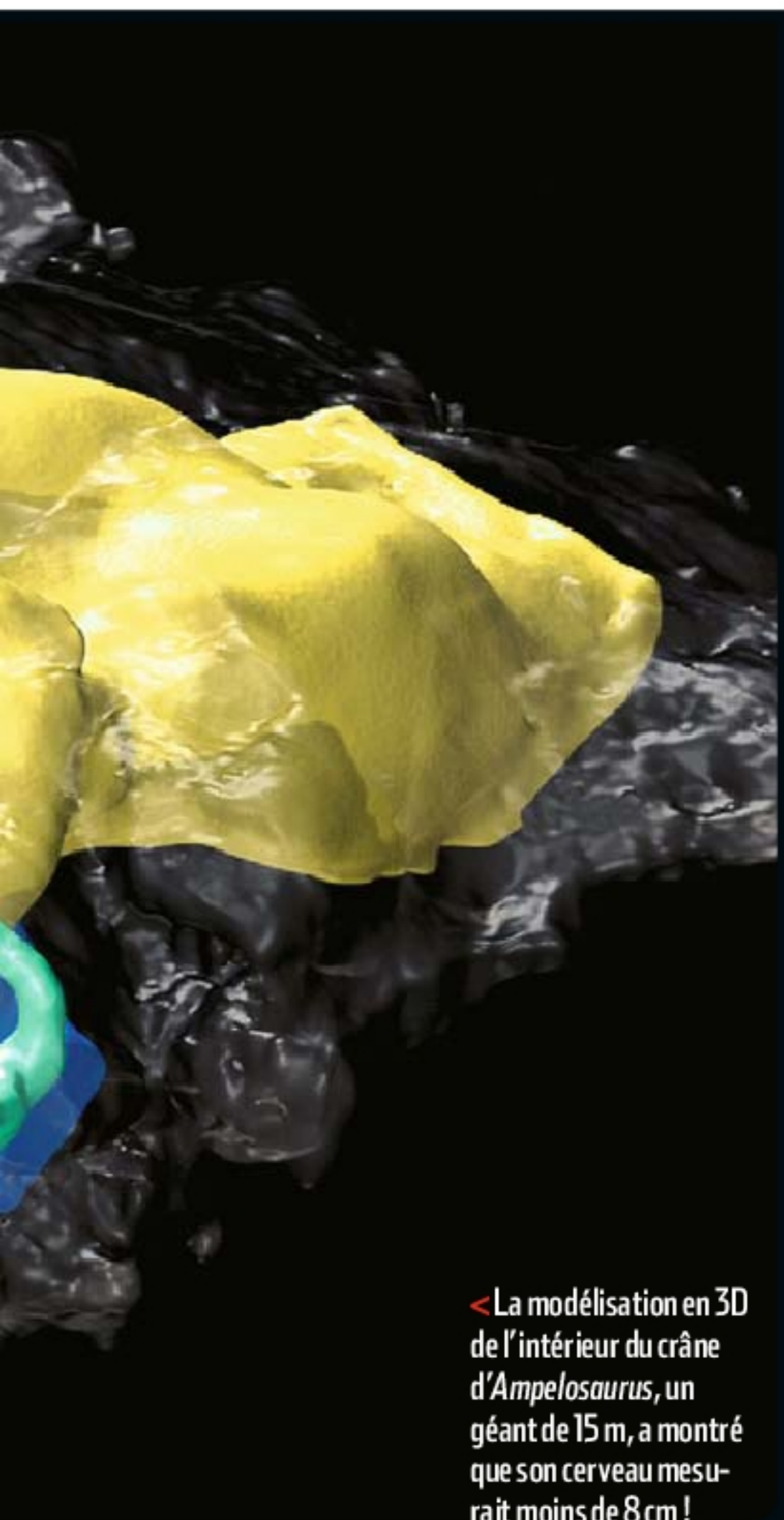
32

C'est le nombre de fois qu'est apparu l'appendice dans la lignée des mammifères, selon Heather Smith (Midwestern University, Etats-Unis). Seule sa multiple réapparition explique sa présence chez 50 espèces, de l'ornithorynque à l'homme, en passant par le koala. Loin d'être un vestige inutile, il pourrait jouer un rôle important... qui reste à découvrir. **V.E.**

ANATOMIE

Voilà pourquoi le hibou peut se tordre le cou sans risque!

On a percé les secrets de la mobilité incroyable du cou des hiboux. Ils résident dans sa vascularisation, qu'a détaillée le neuroradiologue Philippe Gailloud, de l'université américaine Johns-Hopkins. D'abord, ses deux artères carotides sont situées au centre du cou. Ensuite, ses deux artères vertébrales, quoique sur les côtés, sont protégées par des coussins d'air dans deux larges canaux osseux. Enfin, des vaisseaux de dérivation entre ces artères assurent une circulation continue en cas de blocage. Le hibou peut ainsi tourner la tête à 270°, bien loin de nos 90°! **R.B.**



< La modélisation en 3D de l'intérieur du crâne d'*Ampelosaurus*, un géant de 15 m, a montré que son cerveau mesurait moins de 8 cm !



BOTANIQUE

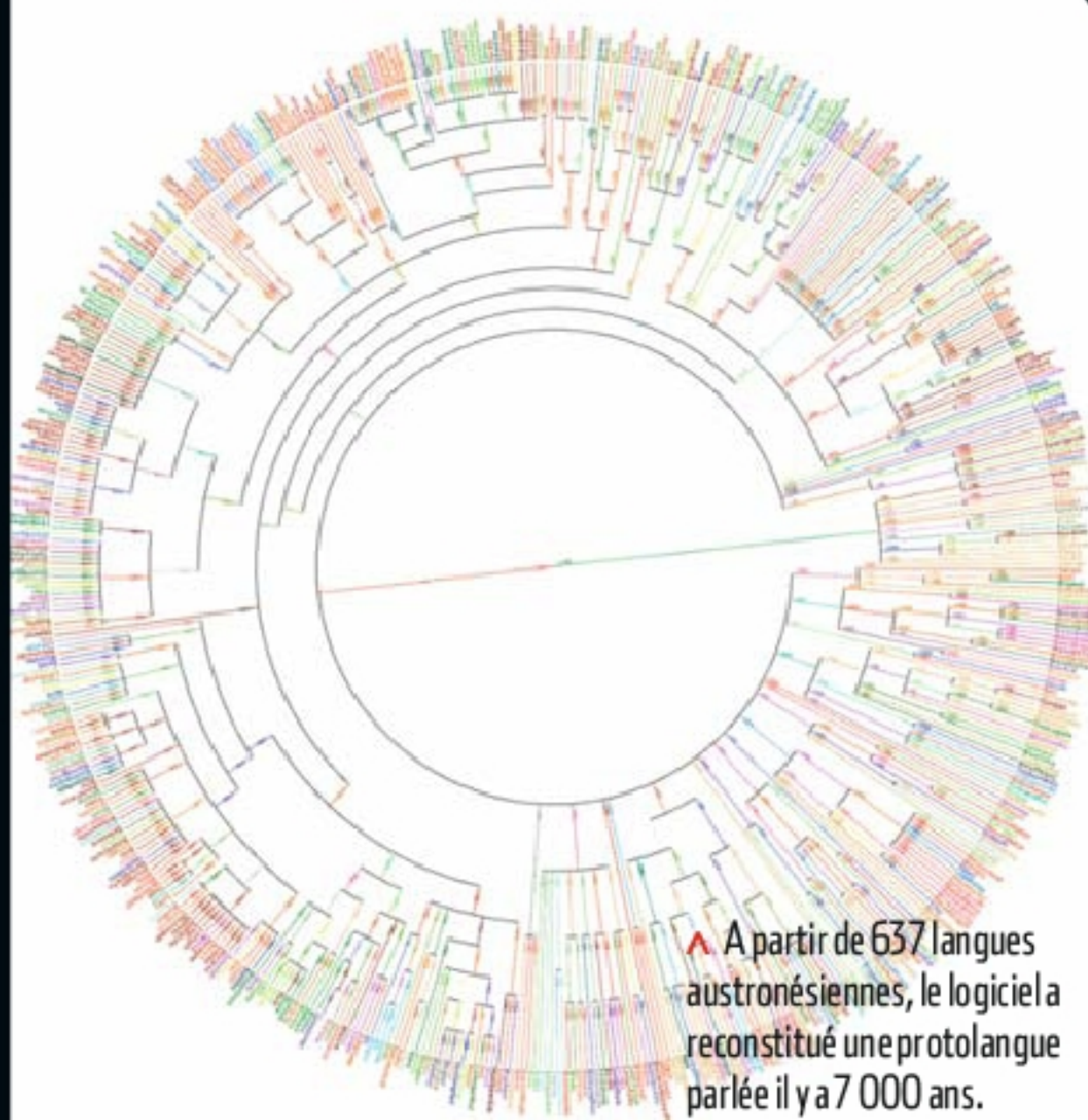
AUCUNE PLANTE À FLEURS NE PEUT DÉPASSER 100 MÈTRES

Jamais aucune des 250 000 espèces de plantes à fleurs, groupe auquel appartiennent nos chênes et peupliers, n'atteindra la hauteur d'un séquoia à feuilles d'if – dont le plus haut spécimen mesure plus de 115 m. La raison est simple : au-delà de 100 m, elles ne peuvent plus distribuer correctement les produits de leur photosynthèse. Maciej Zwieniecki (université de Californie) est arrivé à ce résultat en cherchant à comprendre pourquoi les feuilles des grands arbres mesurent toujours entre 10 et 20 cm. Il a étudié près de 2 000 variétés de plantes à fleurs – les angiospermes – afin de trouver le modèle mathématique derrière ces limites. Au final, tout est affaire de compromis : plus un arbre est grand et plus ses feuilles doivent être longues (au moins 10 cm), car c'est l'énergie produite à leur niveau lors de la photosynthèse qui tire la sève jusqu'au bout des branches. Mais à partir d'un certain point (20 cm) et donc d'une certaine hauteur de la plante, le système patine – et quelques centimètres de feuilles supplémentaires n'apportent rien, sinon un coût d'entretien élevé. Le point d'équilibre se situe à environ 100 m... Ce qui est très proche de la taille de la plus grande angiosperme connue : un spécimen d'*Eucalyptus regnans* de 99,6 m. **E.H.**



✓ Les plantes à fleurs n'atteindront jamais les records de hauteur de certains séquoias.

DPT. DE PALEOBIOLOGICA, MUSEO NACIONAL DE CIENCIAS NATURALES - GETTY - M.FALZONE/JAI/CORBIS



LINGUISTIQUE

UN LOGICIEL PARLE LA LANGUE DE NOS ANCÊTRES

Et si nous étions sur le point de recréer la langue de nos lointains ancêtres? Au bout de cinq ans d'efforts, des linguistes américains ont mis au point un logiciel capable de reconstruire les proto-langues, ces langues ancestrales à partir desquelles ont évolué celles que nous parlons aujourd'hui. Son point fort: l'automatisation des méthodes de linguistique comparative. Auquel s'ajoute un modèle de calcul de probabilités qui identifie, pour chaque dialecte, les régularités dans les changements phonétiques d'un mot au fil du temps, et les applique à l'envers pour rendre au mot sa forme originelle. Les chercheurs ont ainsi comparé

142 000 termes issus de 637 langues austronésiennes, couramment parlées en Asie et dans le Pacifique. Résultat: ils ont pu recréer une langue parlée il y a près de 7 000 ans, avec des résultats conformes à 85 % aux prévisions obtenues "manuellement" par les linguistes. Lent et difficile, ce type de recherche devrait largement tirer parti des performances de ce nouvel outil, capable d'explorer notre passé linguistique en un temps record. "Ce programme sera disponible sur Internet d'ici à 2014 et applicable à toutes les familles de langues!", s'enthousiasme Alexandre Bouchard-Côté, de l'université de la Colombie-Britannique. **J.G.**

ÉVOLUTION

Les mammifères ont attendu la fin des dinosaures

Le débat a longtemps divisé: les mammifères se sont-ils diversifiés avant ou après la disparition, il y a 65 millions d'années, des dinosaures? Maureen O'Leary (université Stony Brook, États-Unis) a tranché: si les ancêtres des marsupiaux étaient déjà là, celui des mammifères placentaires dont nous sommes issus n'est apparu que 200 000 à 400 000 ans après la fin des dinosaures. Il ressemblait à un rat, pesait entre 6 et 245 g et était insectivore. **C.H.**



▼ *C. reticulata* se débarrasse de son pénis (ici à dr., en forme de filament) après l'accouplement.

BIOLOGIE

LA LIMACE DE MER A UN PÉNIS À USAGE UNIQUE

C'est le seul animal connu doté d'un pénis jetable! *Chromodoris reticulata*, limace de mer hermaphrodite vivant dans l'océan Pacifique, s'ampute en effet de son pénis après l'accouplement... Puis l'organe en forme de filament, situé sur le côté de l'animal, repousse en vingt-quatre heures, a découvert l'équipe d'Ayami Sekizawa, de l'université d'Osaka (Japon). Et le mollusque peut répéter cette opération au moins trois fois! Observé au microscope, le pénis a révélé une structure en spirale couverte d'épines orientées vers l'arrière. De quoi compliquer son extraction du vagin du partenaire... ce qui expliquerait pourquoi cet organe est détachable. **R.B.**

AUTO

SPORT 200CH

HYbrid4
CONDUISEZ EN 4 DIMENSIONS

ZEV 100 % ÉLECTRIQUE

4 ROUES MOTRICES

CONDUISEZ EN 4 DIMENSIONS

PEUGEOT DOUBLE LE BONUS ÉCOLOGIQUE.

% IETC Automobiles PEUGEOT 552 144 503 RCS Paris.



3008 HYbrid4

CO₂ en g/km

91



508 HYbrid4

CO₂ en g/km

88



508 RXH

CO₂ en g/km

107

PEUGEOT RECOMMANDE TOTAL (1) 3008 HYbrid4, (2) 508 HYbrid4, (3) 508 RXH. Consommation mixte (en l/100 km) : (1) 3,5 ; (2) 3,4 ; (3) 4,1.

PEUGEOT DOUBLE LE BONUS ÉCOLOGIQUE, SOIT JUSQU'À 8000€ D'AVANTAGE CLIENT* dont jusqu'à 4000€ de bonus écologique – Véhicules fabriqués en France.

Vivez une nouvelle expérience de conduite grâce à la technologie HYbrid4 qui vous offre 4 modes de conduite. L'alliance d'un moteur Diesel HDi et d'un moteur électrique permet de réduire votre consommation de carburant** et vous garantit de faibles émissions de CO₂.

*Offre valable jusqu'au 30 juin 2013, composée du montant du bonus écologique qui, pour les véhicules hybrides, est désormais équivalent à 10 % du prix d'acquisition du véhicule (hors frais annexes et accessoires) avec un plafond de 4000 € et d'une remise exceptionnelle d'un montant équivalent.

Jusqu'à -46% sur 3008 HYbrid4 vs le moteur 2,0L HDi 163ch FAP BVA6. * Totalement hybride diesel.

TECHNOLOGIE HYbrid4 – FULL HYBRID DIESEL***


PEUGEOT

MOTION & EMOTION

U1.27

LE GROUPE DE QUASARS QUI NE DEVRAIT PAS EXISTER

Ils n'en croient pas leurs yeux : les cosmologistes viennent de débusquer un formidable amas de 73 galaxies large comme 40 000 Voie lactée ! Une formation, la plus grosse jamais observée dans l'Univers, qui fait mentir Einstein... et vaciller le modèle standard.

Rien d'aussi grand n'aurait jamais dû exister. En épluchant les données spectroscopiques du télescope Sloan Digital Sky Survey, Roger Clowes, de l'université du Lancashire Central, en Angleterre, vient de débusquer la plus grande structure jamais détectée dans l'Univers : une grappe de 73 quasars – des galaxies dont le trou noir supermassif central crache de l'énergie et de la matière – qui s'étend sur 4 milliards d'années-lumière !

IL EST 4 FOIS TROP GRAND !

Pour se représenter la taille de cet objet, il faut lever les yeux vers la constellation du Lion, et essayer d'imaginer, caché derrière les étoiles, un groupe de galaxies aussi large dans le ciel que trente pleines lunes côte à côte... et ce, bien qu'il soit distant de plus de quatre milliards d'années-lumière ! Mais le plus vertigineux est que ce groupe de quasars, baptisé U1.27, dans lequel tiendraient 40 000 Voie lac-

grand que ce qu'est censée pouvoir théoriquement atteindre une structure dans le cosmos.

C'est en tout cas ce qu'impose le fameux "principe cosmologique" formulé par Einstein afin de rendre ses équations de la relativité générale un peu moins inextricables. Principe qui fut intégré dans le modèle standard actuel de la cosmologie : à partir d'une certaine échelle d'environ un milliard d'années-lumière, les galaxies et les vides entre elles ne sont plus censés être discernables ; l'Univers doit ressembler à un simple brouillard homogène où la densité de matière est en chaque point égale à trois atomes d'hydrogène par mètre cube. Or, les 73 quasars forment ici un grumeau de densité supérieure, une surpopulation équivalente à... 3,4 milliards de milliards de soleils. *"Le modèle standard de la cosmologie a du mal à expliquer l'existence d'un tel groupe,* convient Thomas Buchert, cosmologiste à l'université Claude-Bernard,

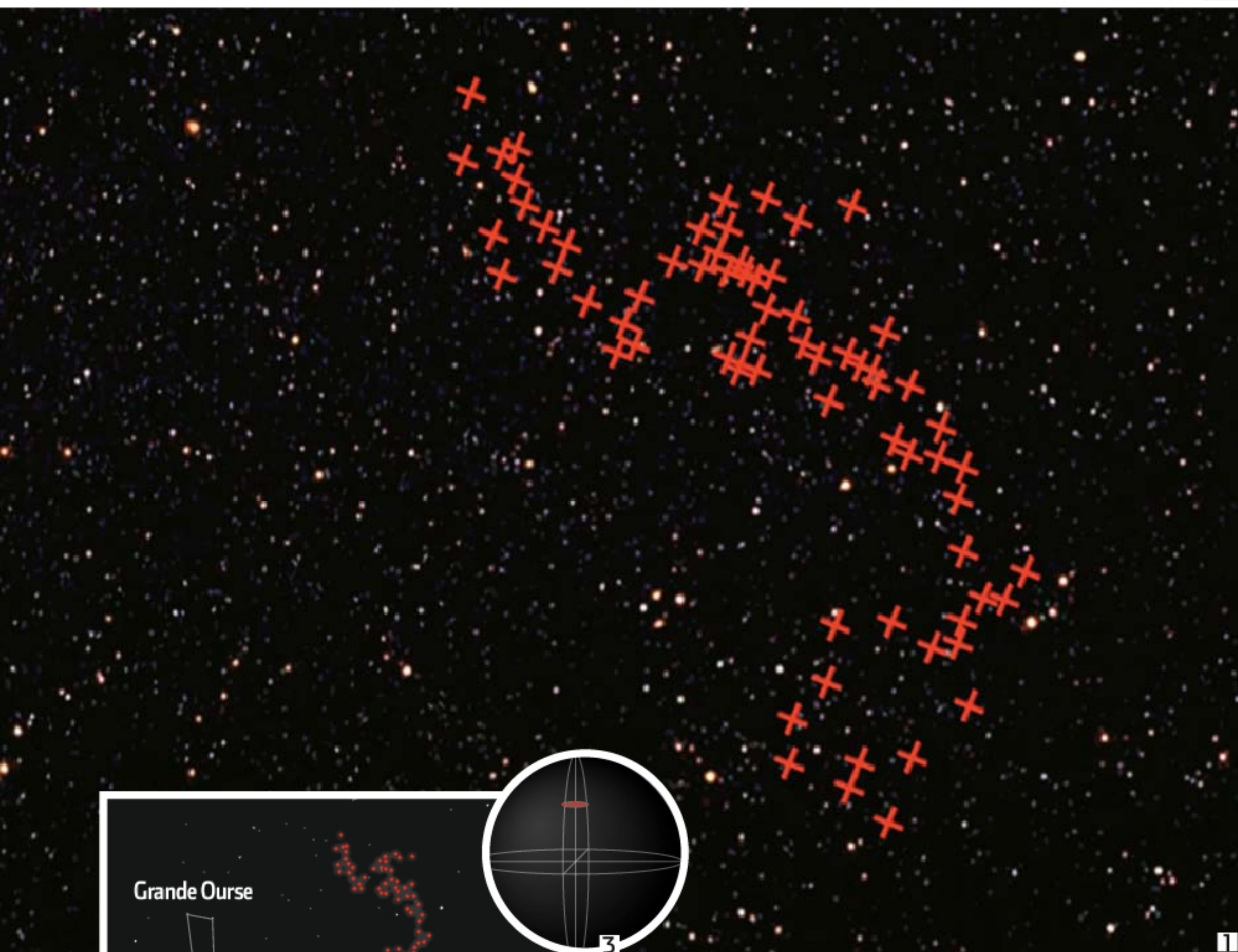
REPÈRES

Le **principe cosmologique** n'a rien d'une loi, c'est une hypothèse de travail : les physiciens ont choisi de considérer que l'Univers est homogène afin de trouver des solutions aux équations de la relativité générale. C'est grâce à cette simplification qu'a pu être bâti le modèle cosmologique standard.

à Lyon. *Il ne dit pas que c'est impossible, mais c'est très improbable.*"

Pour l'instant, les théoriciens restent prudents et convoquent de complexes paramétrages dans leurs modèles pour expliquer l'existence de U1.27... Mais si les découvertes de ce genre s'accumulent, il faudra admettre que le principe cosmologique est une simplification erronée. Or, depuis Einstein, c'est toute la cosmologie qui s'est construite sur ce socle ! Des pans entiers du modèle standard lui-même pourraient s'effondrer par un simple jeu de dominos. Ce qui obligerait à reconstruire un modèle cosmologique.





UN AUTRE GÉANT : LE GRAND MUR DE SLOAN

La précédente plus grande structure de l'Univers, découverte en 2003, était le Grand Mur de Sloan: il est composé de superamas de galaxies et mesure 1,37 milliard d'années-lumière de longueur. Il est également supérieur à la limite d'homogénéité de l'Univers. Mais si les mêmes remises en question du principe cosmologique ont émergé à l'époque, les astronomes ont fini par considérer qu'il entrerait dans le cadre de la cosmologie standard. Sa forme allongée et ses dimensions à peine supérieures à la taille limite théorique de 1 milliard d'années-lumière en faisant simplement l'exception qui confirme la règle. Ce traitement de faveur n'est plus possible pour ce nouvel amas de quasars qui, lui, explose la limite. Son excédent de masse, à lui tout seul, est équivalent à 20 fois le Grand Mur de Sloan tout entier.

Thomas Bucher n'a pas attendu que les grumeaux s'accumulent pour s'y essayer: il a même élaboré un modèle qui colle mieux aux observations et qui, du coup, résout l'autre grand problème de la cosmologie, cette mystérieuse et hypothétique énergie noire qui semble s'opposer à la gravitation et accélère l'expansion de l'Univers. Une alternative à laquelle la structure titanesque observée dans le ciel vient de donner un certain poids. **B.R.**

1 D'une densité sans équivalent, cet incroyable grumeau de 73 galaxies au trou noir hyperactif...

2 ...gros, dans notre ciel, comme 30 pleines lunes...

3 ...couvre 4 milliards d'années-lumière de l'Univers visible.

PHYSIQUE

UNE TECHNIQUE INÉDITE SONDE LA SOIE D'ARAIGNÉE

A la fois dure, résistante, légère et élastique, la soie d'araignée est une substance unique dont les mystères échappaient aux physi-
ciens... Jusqu'aux dernières avancées de l'équipe de Jeff Yarger, de l'université d'Arizona (Etats-Unis), qui a eu l'idée de lui appliquer le procédé dit "de diffusion Brillouin". En envoyant sur les toiles de plusieurs espèces d'araignées un laser qu'il recueillait modifié à sa

sortie, et en étudiant la différence de fréquences entre les deux signaux dans la gamme des gigahertz, le chercheur a pu déterminer toutes les constantes élastiques du matériau sans le détruire. C'est la première fois qu'on a pu extraire les propriétés de cette soie inégalée sans devoir isoler un fil, l'étirer jusqu'au point de rupture, ou l'écraser pour mesurer sa réponse à de fortes compressions. Et un simple scan

a suffi à percer le secret de sa résistance à la torsion et à l'étirement! Steve Cranford, de la Northeastern University (Etats-Unis), confirme l'intérêt de la nouvelle technique: *"Elle permet d'examiner la toile dans son ensemble, afin de comprendre la manière dont l'araignée adapte les propriétés mécaniques de ses fils en fonction du rôle qu'ils jouent dans la toile... et de s'en inspirer pour nos propres matériaux."* **B.R.**

▲ Eclairée au laser, la toile d'araignée a révélé le secret de ses propriétés élastiques sans être détruite ni déformée.

BACTÉRIOLOGIE
**DES BACTÉRIES
CHASSENT
À L'ARBALETTE**

En observant par microscopie à fluorescence un combat entre deux bactéries *Escherichia coli*, des chercheurs français ont découvert que certaines bactéries possèdent une arme redoutable pour éliminer leurs concurrentes: une sorte d'arbalète! Constituée d'un tube coulissant dans un fourreau, l'arme, qui ne comprend pas moins de 13 protéines différentes, est ancrée à la membrane du microbe. Elle lui permet d'injecter directement des toxines dans les bactéries adverses à son contact. La contraction du fourreau propulse le poison dans la proie, qui meurt ensuite rapidement. **L.C.**

ÉTHOLOGIE

C'est en suivant les étoiles que le bousier s'oriente

Pour éloigner sa boulette de bouse le plus vite possible du lieu de collecte et éviter de se la faire voler, le bousier a tout intérêt à fuir en ligne droite. Mais comment tient-il son cap? Des chercheurs suédois et sud-africains ont montré qu'il se repère grâce à... la Voie lactée. Seuls les oiseaux et les phoques avaient jusque-là démontré cette capacité. **C.H.**

▼ Equipé d'une casquette qui l'empêche de voir le ciel, l'insecte est désorienté.





Leffe ROYALE



3 VARIÉTÉS DE HOUBLON
POUR UN APÉRITIF «ROYALE»

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

✓ Soumise à une tension de 10 V, une bulle étirée entre deux électrodes s'est épaissie.



PHYSIQUE

L'ÉLECTRICITÉ RENFORCE LES BULLES DE SAVON

Les enfants ne sont pas les seuls à être fascinés par les bulles de savon. Les physiciens les étudient eux aussi, non pour les admirer, mais pour mener des expérimentations sur leurs propriétés surprenantes. Oriane Bonhomme et ses collègues de l'Institut Lumière Matière (CNRS/université Lyon-I) ont ainsi trouvé un moyen de les rendre plus résistantes, en épaississant leur paroi avec... de l'électricité!

Ils ont commencé par coincer une bulle d'eau savonneuse entre deux électrodes horizontales, avant de brancher le courant: soumise à une tension de 10 V, la bulle s'étirant de haut en bas entre les électrodes a vu sa paroi

s'épaissir, passant de 30 à 500 nanomètres. L'explication? Le savon contient des ions négatifs qui, sous l'effet du champ électrique, sont remontés vers l'électrode positive. Ils ont entraîné du même coup avec eux une partie de la solution savonneuse, qui s'était accumulée sur l'électrode inférieure à cause de la gravité. Au final, la bulle de savon était plus solide et capable de tenir des heures. Quoique très fondamentale, cette étude s'inscrit dans la recherche sur les mousses, ces myriades de bulles utilisées notamment pour l'extraction assistée du pétrole, mais aussi dans le bâtiment ou l'industrie agroalimentaire. **B.R.**

LE CHIEN, UN LOUP AMATEUR DE FÉCULENTS

Une équipe suédoise a découvert chez le chien trois gènes impliqués dans la digestion de l'amidon, absents chez le loup. Capable grâce à eux d'assimiler les glucides complexes, l'ancêtre du chien a pu tirer profit des déchets des premiers agriculteurs, ce qui fut une étape cruciale dans sa domestication. **E.H.**

LA ROUSSEUR A UN AVANTAGE INSOUPÇONNÉ

Comment la phéomélanine, pigment roux lié à une fragilisation de la peau, a-t-elle pu résister à la sélection naturelle? Des biologistes ont découvert, chez des hirondelles à plumes rousses, que la fabrication de ce pigment détruit un acide aminé toxique pour les cellules à forte concentration. **E.H.**

L'EXTINCTION DE NEANDERTAL RÉÉVALUÉE

Neandertal aurait disparu d'Espagne, son dernier refuge, il y a 45 000 ans... soit 10 000 ans plus tôt que prévu. S'il est confirmé, ce résultat de Rachel Wood (Australie) implique qu'il faudrait diminuer d'autant le temps de cohabitation de nos deux espèces. **S.F.**

ARCHÉOBOTANIQUE

LES ORIGINES DE L'OLIVIER ONT ÉTÉ DÉTERRÉES

Symbole de la Grèce antique, l'olivier a vu naître les premières civilisations... et pourtant, on ne savait pas grand-chose de ses origines. Une étude du laboratoire Evolution et diversité biologique de l'université de Toulouse vient les éclairer. En comparant l'ADN des chloroplastes – les organites cellulaires responsables de la photosynthèse – de 1800 oliviers du pourtour de la Méditerranée, l'équipe a établi qu'il y a 10 000 ans, trois lignées d'oliviers sauvages coexistaient: deux à l'Ouest, une à l'Est. Mais les cultures du Levant ont peu à peu imposé leur variété, qui a fini par supplanter les deux autres. Aujourd'hui, 90 % des oliviers domestiques en descendent. **E.R.**





TOUJOURS
MIEUX
TOUJOURS
PLUS LOIN

NOUVEAU TOYOTA RAV4

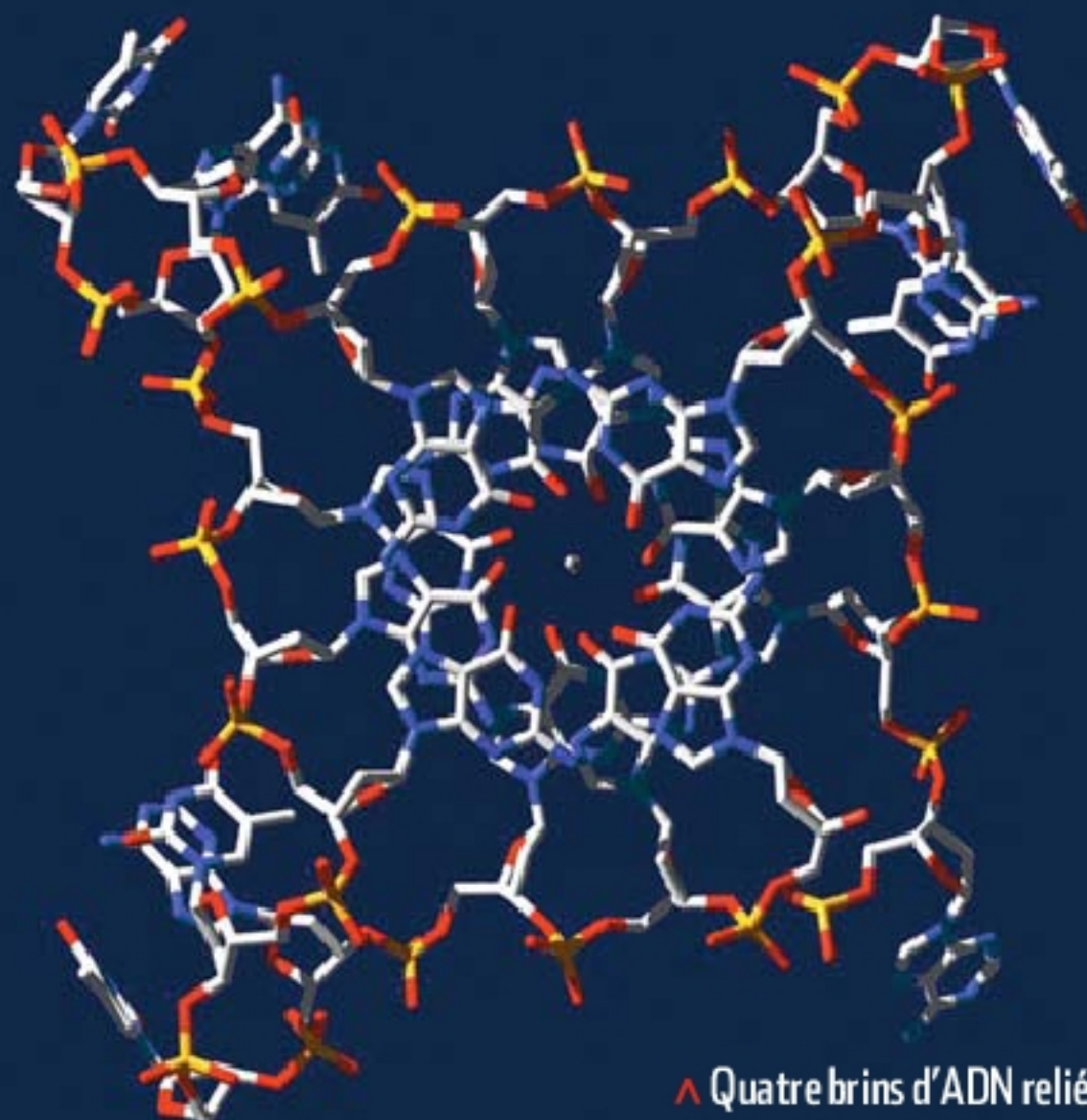
VOUS AVEZ TOUJOURS EU L'ESPRIT RAV4



DIESEL 124 ch
à partir de
23 590€⁽¹⁾
sous condition de reprise

Consommations mixtes (L/100 km) : **4,9 à 7,3**. Émissions CO₂ (g/km) : **127 à 176** (C à E).

Modèle présenté : Nouveau RAV4 Life 151 VVT-i AWD à **27 560€**, peinture métallisée incluse (même remise et prime de reprise déduite). (1) Tarif au 01/02/2013 pour un nouveau RAV4 Le Cap 124 D-4D 2 WD (hors peinture métallisée ou nacrée) déduction faite de 2000 € de remise et de 1000 € de prime Toyota supplémentaire pour la reprise d'un véhicule selon les conditions générales de l'ArgusTM. Offre réservée aux particuliers, non cumulable avec d'autres offres, valable jusqu'au **30/04/2013** dans les concessions participantes.



▲ Quatre brins d'ADN reliés par des "bases" G forment cette... quadruple hélice.

GÉNÉTIQUE

LA DOUBLE HÉLICE N'EST QU'UNE DES FORMES DE L'ADN

Près de soixante ans après la découverte de la structure en double hélice de l'ADN, une équipe de l'université anglaise de Cambridge, dirigée par Shankar Balasubramanian, a montré que les chromosomes humains contiennent aussi des portions d'ADN sous forme de quadruple hélice ! La double hélice classique apparaît comme une échelle vrillée, dont les montants (les deux brins d'ADN) sont reliés par des paires de "bases" (les briques de l'ADN, désignées par leurs initiales A, T, G et C) qui forment les barreaux. La quadruple hélice peut, elle, être représentée comme une étagère dont les quatre

pièdes seraient autant de brins d'ADN portant une suite de bases G – quatre G se faisant face constituant les plateaux. C'est une abondance de bases G (des molécules de guanine) qui permet le repliement de l'ADN en quadruple hélice. Déjà observées *in vitro*, ces structures ont cette fois été repérées le long des chromosomes, jusqu'à leurs extrémités. Elles se forment en particulier dans les cellules qui se divisent rapidement, comme les cellules tumorales, et pourraient intervenir dans la régulation de la multiplication cellulaire. Ce qui en ferait des cibles potentielles pour des traitements anticancéreux. **V.E.**

MICROBIOLOGIE

Ils ont appris à une bactérie à se nourrir... d'électricité

La bactérie marine *Mariprofundus ferrooxydans* a la particularité d'oxyder le fer. Cette réaction chimique lui procure les électrons dont elle a besoin pour respirer. Des biologistes américains ont eu l'idée de lui fournir une autre source d'électrons : de l'électricité ! En quatre semaines à peine, la bactérie s'est adaptée à ce nouveau régime. En ne se nourrissant plus que du courant émis et du CO₂ ambiant, elle a pu coloniser l'électrode sur laquelle elle avait été placée. **L.C.**

CHIMIE

PICASSO UTILISAIT AUSSI DE LA PEINTURE MURALE

La physique le prouve : le fondateur du cubisme peignait aussi au... Ripolin, cette peinture murale utilisée dans le bâtiment dès le début du XX^e siècle. L'équipe de Volker Rose, du Laboratoire national d'Argonne aux Etats-Unis, a analysé, à l'aide de sa nanosonde aux rayons X, quelques pigments prélevés sur *Le Fauteuil rouge*, un tableau peint en 1931. Or, ils se sont révélés plus riches en oxyde de zinc que les peintures à l'huile habituellement utilisées par les artistes... Une composition qui se rapproche plutôt de celle du Ripolin ! Selon Francesca Casadio, conservatrice à l'Institut d'art de Chicago où est exposée l'œuvre, Pablo Picasso a été le premier à expérimenter cette peinture séchant rapidement et donnant à la toile un aspect brillant et des effets marbrés. **O.D.**



PARTAGEZ COMME SI
VOUS Y ÉTIEZ !

BlackBerry® Z10 avec BBM Vidéo Chat et partage d'écran.



Le nouveau BlackBerry Z10 vous permet d'échanger en face-à-face et de partager le contenu de votre écran avec vos proches.

blackberry.fr

 **BlackBerry**

Keep Moving*

*Toujours en mouvement.

L'image d'écran est simulée. Terminaux BB10 compatibles, connexion Wi-Fi, 4G ou HSPA+ requise. ©2013 BlackBerry. Tous droits réservés. BlackBerry®, ainsi que les marques commerciales, noms et logos associés, sont la propriété de Research In Motion Limited et sont déposés et/ou utilisés aux États-Unis et dans d'autres pays du monde. Toutes les autres marques commerciales appartiennent à leurs propriétaires respectifs.



SCIENCE & VIE

N°1111

AVRIL 2010

On se souvient de la stupéfaction qui, en 2010, s'empara du monde de l'égyptologie: une étude dirigée par Zahi Hawass, figure de proue de l'archéologie pharaonique, donnait un coup de pied dans la fourmilière généalogique de Toutankhamon! (S&V n° 1111, p. 20) L'ADN de dix momies royales pouvant prétendre à un lien de parenté avec le petit roi avait été passé au crible, permettant d'y repérer les dépouilles de son père (Akhenaton) et de sa mère. Une vive surprise: selon leur patrimoine génétique, les deux parents devaient être... frère et sœur!

MARIAGES ENTRE COUSINS

Or, jusqu'ici, les prétendantes à la maternité de Toutankhamon étaient Kiya, une épouse secondaire d'Akhenaton, et Néfertiti, l'épouse principale, dont il a été établi qu'elle n'est pas une sœur du pharaon. Elle ne pouvait donc plus être la mère du petit roi! D'après l'ADN, sa mère serait cette sœur anonyme d'Akhenaton se cachant sous les bandlettes de la mystérieuse momie KV35YL (YL pour *Young Lady*).

Mais en ce début 2013, nouveau coup de théâtre! Lors d'une conférence à Harvard, l'égyptologue Marc Gabolde, de l'université Paul-Valéry, à Mont-

NÉFERTITI

ELLE SERAIT FINALEMENT LA MÈRE DE TOUTANKHAMON

Il y a trois ans, l'ADN de la momie "Young Lady" révélait que celle-ci était la mère de Toutankhamon... et sa tante! Exit la reine Néfertiti? Pas si sûr: elle pourrait justement être "Young Lady", en vertu des mœurs de l'époque.



pellier, réhabilite la reine. Et si la fameuse KV35YL était Néfertiti? Leur proximité génétique serait due à des mariages entre cousins des générations précédentes, ce qui aurait brouillé une information génétique déjà difficile à interpréter...

"Mon hypothèse est que Néfertiti était une cousine d'Akhenaton, lui-même le fruit d'une union entre cousins, Aménophis III et Tiye... Et que les parents de Néfertiti seraient de la famille de Tiye." Un nouvel arbre qui s'appuie notamment sur les similitudes entre les ADN d'Aménophis III et de

▲ C'est par le jeu de cousinages au sein de la lignée royale que, finalement, "Young Lady", mère du petit roi, pourrait bien être la légendaire reine Néfertiti.

son beau-père Youya, non expliquées précédemment.

Marc Gabolde a transmis son travail à Albert Zink, collaborateur de l'étude de 2010: *"Il m'a confirmé que bien qu'hypothétique, cet arbre était logique génétiquement parlant."* Et l'égyptologue est également persuadé que Néfertiti aurait eu un fils, en plus de ses six filles connues avec Akhenaton. Son argument: des bas-reliefs de la tombe royale d'Amarna qui représentaient *"un enfant mâle, dont le texte associé précise sans ambiguïté qu'il est 'né de la grande épouse royale Néfertiti'"*... **E.R.**

DISCOVERY CHANNEL/GETTY/AFP



CITROËN DS4

LE COUPÉ 5 PORTES



À PARTIR DE

249 € / MOIS* ENTRETIEN 4 ANS INCLUS

APRÈS UN 1^{ER} LOYER DE 3 800 € EN LOCATION LONGUE DURÉE DE 48 MOIS ET 40 000 KM SOUS CONDITION DE REPRISE

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

CRÉATIVE TECHNOLOGIE



Modèle présenté : Citroën DS4 THP 200 Sport Chic avec peinture Blanc Nacré, jantes alliage 19", coques de rétroviseurs chromées et projecteurs directionnels Xénon bi-fonction + Détection de sous-gonflage (Location Longue Durée avec entretien inclus sur 48 mois et 40 000 km : 47 loyers de 379 € après un 1^{er} loyer de 6 191 €, déduction faite de 2 500 € pour la reprise de votre ancien véhicule). * Exemple pour la LLD sur 48 mois et 40 000 km d'une Citroën DS4 VTi 120 BVM Chic, hors option ; soit 47 loyers de 249 €, après un 1^{er} loyer de 3 800 €, déduction faite de 2 500 € pour la reprise de votre ancien véhicule. Contrat d'entretien inclus, au prix de 21 €/mois pour 48 mois et 40 000 km (au 1^{er} des deux termes échu), comprenant l'entretien périodique et l'assistance du véhicule 24 h / 24 et 7 j / 7 (conditions générales du contrat d'entretien disponibles dans le réseau Citroën). Montants TTC et hors prestations facultatives. Offre non cumulable valable jusqu'au 31/05/13 réservée aux particuliers, dans le réseau Citroën participant, et sous réserve d'acceptation du dossier par CREDIPAR/Citroën Financement, locataire-gérant de CLV, SA au capital de 107 300 016 €, n° 317 425 981 RCS Nanterre, 12, avenue André-Malraux, 92300 Levallois-Perret.

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

POURQUOI LE BOSON DE HIGGS

N'EST PAS LA FIN DE L'HISTOIRE

Oui, le modèle standard est complet, mais il n'est pas compatible avec la gravitation ou les neutrinos et ignore 96% de l'Univers ! Le boson n'est donc qu'une étape : l'exploration continue.

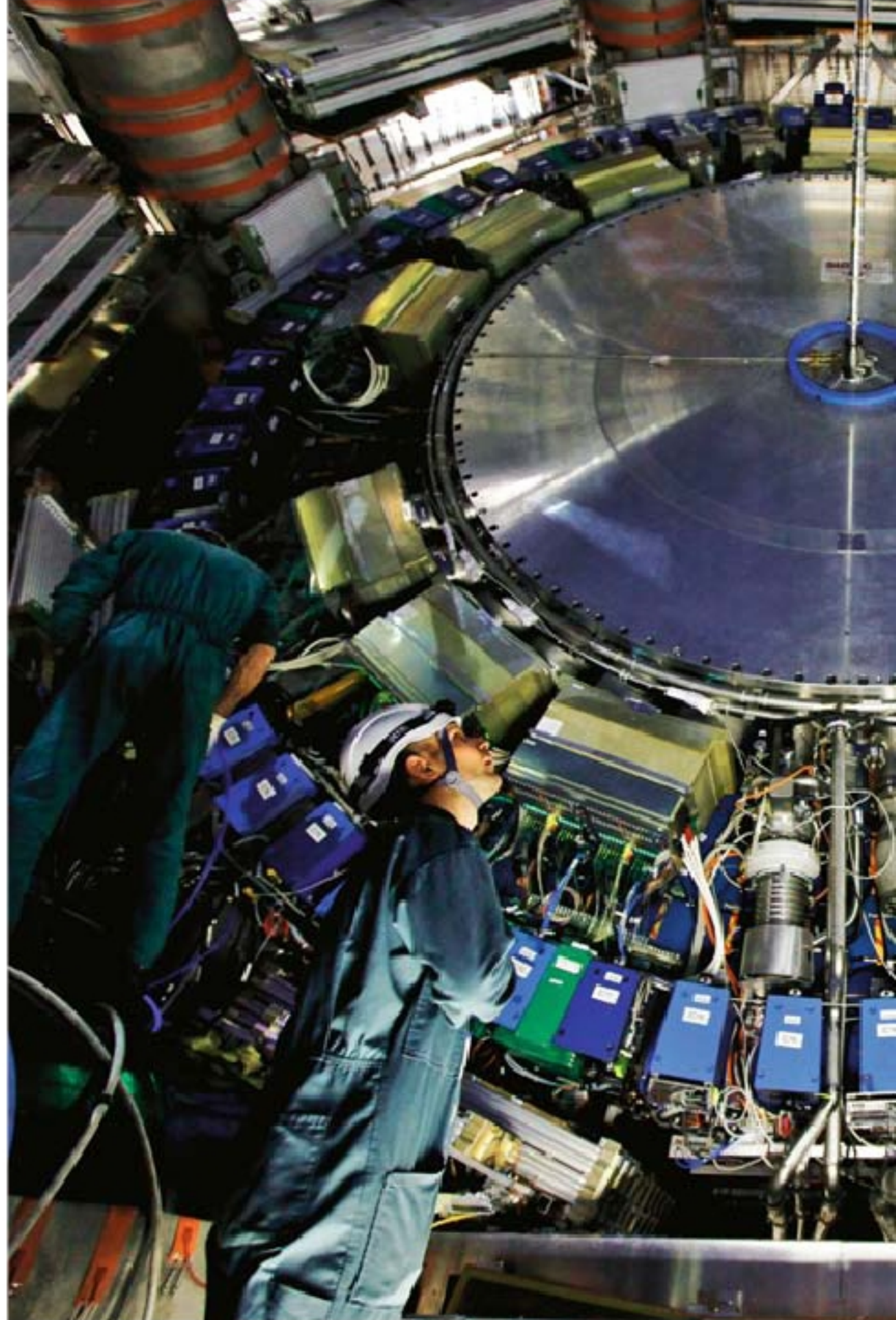
Le 4 juillet 2012, les physiciens du monde entier étaient en liesse : depuis le grand amphithéâtre de l'Organisation pour la recherche nucléaire (Cern), près de Genève, était annoncée la découverte du boson de Higgs, ultime pièce manquante de l'actuelle théorie des particules élémentaires de la matière, le modèle dit standard. De quoi clore l'exploration de l'infiniment petit ? Non. Comme l'assène Abdelhak Djouadi, du Laboratoire de physique théorique d'Orsay, *"le modèle standard ne peut en aucun cas être la théorie ultime pour décrire les constituants élémentaires de la matière et leurs interactions"*.

Certes, une fois le modèle complet, c'est la vision de l'infiniment petit telle que les physiciens se la représentent depuis le début du XX^e siècle qui a trouvé un aboutissement... apportant une réponse à

des spéculations dont l'origine remonte aux philosophes grecs. Si bien que pour Frank Wilczek, à l'Institut de technologie du Massachusetts, prix Nobel de physique en 2004, *"le modèle standard constitue le fondement complet et probablement définitif de la biologie, de la chimie, de la science des matériaux et de la plupart des phénomènes astrophysiques"*.

C'EST UNE APPROXIMATION...

Pour autant, les pierres ne manquent pas dans son jardin. Ainsi, les prédictions du modèle standard ne concernent que les phénomènes microscopiques qui mettent en jeu une énergie inférieure à quelques téra-électron-volts, typiquement ceux sondés au LHC. Au-delà, ses équations deviennent folles. Autrement dit, comme le résume Marc Lachièze-Rey, du Commissariat à l'énergie

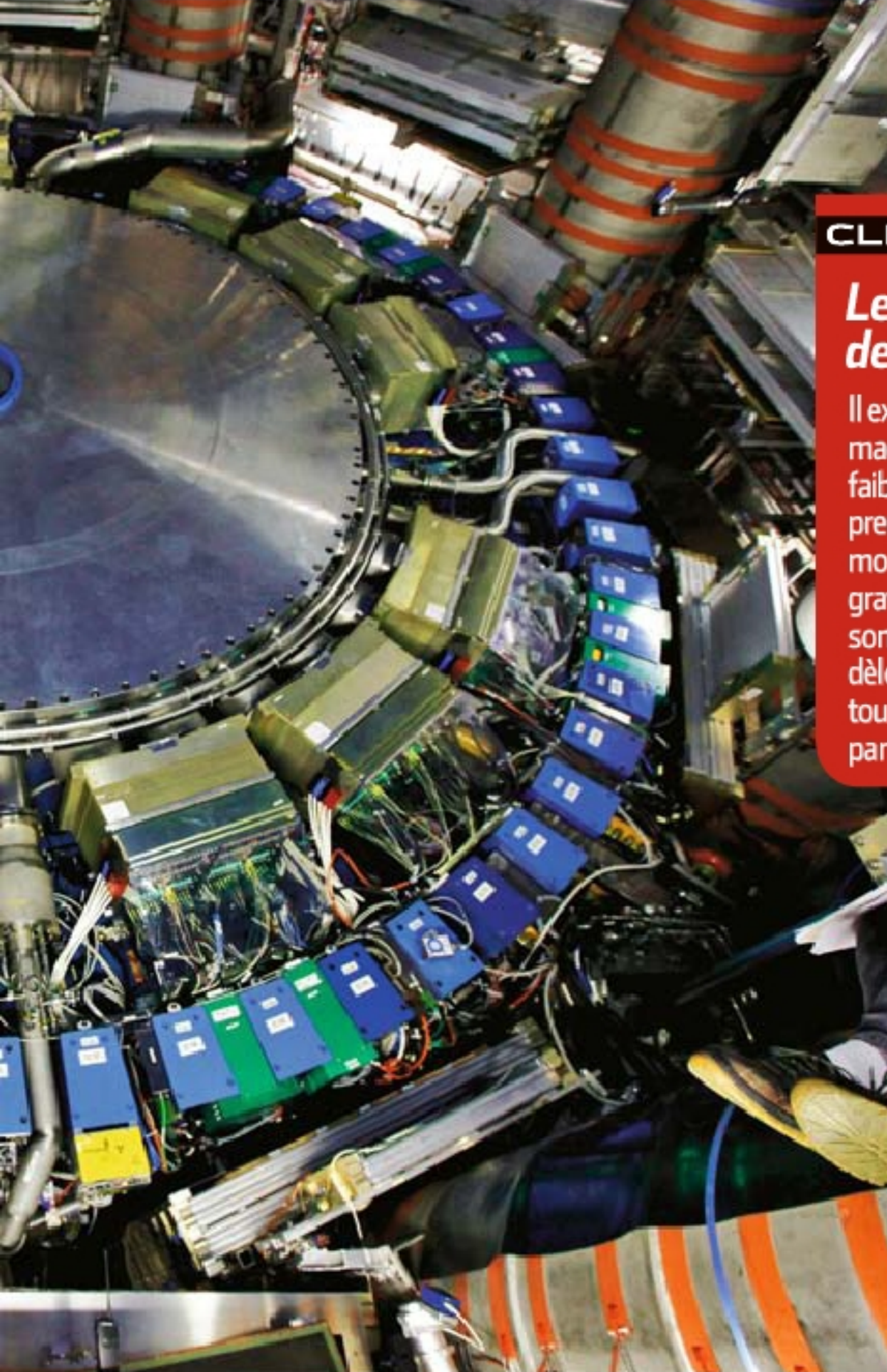


atomique, à Saclay, *"le modèle standard n'est qu'une approximation"*. Par ailleurs, il est aussi avéré qu'il est pris en faute sur le comportement des neutrinos, qu'il est incapable de justifier l'existence de la matière et de l'énergie noires, et qu'il échoue à prendre en compte la force de gravitation.

Bref, si la découverte de la clé de voûte du modèle standard est un réel aboutissement, ce n'est qu'une étape dans l'exploration de l'univers physique. Mais il ne faut pas oublier, comme le soulignait Michel Paty, du Centre de recherches épistémologiques et historiques sur les sciences exactes et les institutions scientifiques, aujourd'hui décédé, que *"nos théories sont des représentations symboliques qui jamais ne s'identifient au monde. Entre les deux, aussi raffinée que soit notre connaissance, la distance n'est jamais nulle"*. **M.G.**

REPÈRES

Le modèle standard, élaboré dans les années 1970 et confirmé expérimentalement dans les années 1980, résume la matière à 12 particules élémentaires (6 quarks et 6 leptons) ainsi que leurs antiparticules, plus une poignée de particules de force qui véhiculent les interactions électromagnétiques et nucléaires fortes et faibles.



CLÉ N° 1

Le modèle standard ne rend pas compte de la gravitation...

Il existe 4 forces dans l'Univers : l'électromagnétisme, les interactions nucléaires faible et forte et la gravitation. Si les trois premières sont prises en compte par le modèle standard, les propriétés de la gravitation restent incompatibles avec son formalisme mathématique. Le modèle n'offre donc pas de vision unifiée de toutes les interactions possibles entre particules dans l'Univers.

	FORCES DE L'UNIVERS	PARTICULES
MODÈLE STANDARD	ÉLECTROMAGNÉTISME	photons
	FORCE NUCLÉAIRE FAIBLE	bosons W et Z
	FORCE NUCLÉAIRE FORTE	gluons
	GRAVITATION	?

CLÉ N° 2

... et ne décrit que 4% du contenu de l'Univers



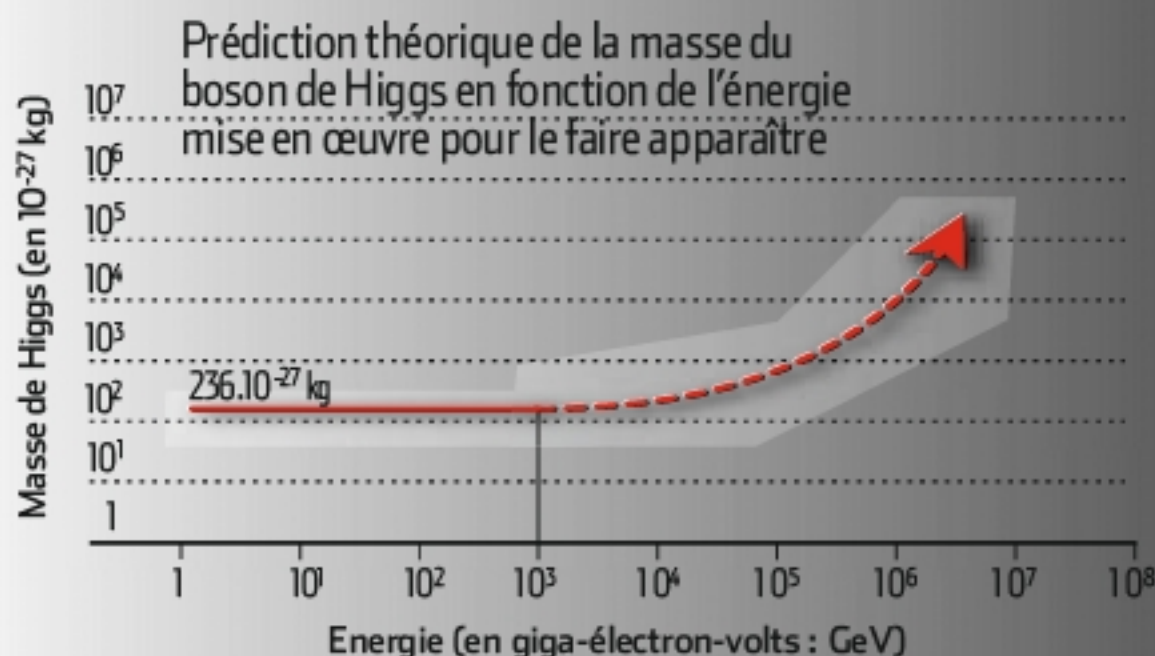
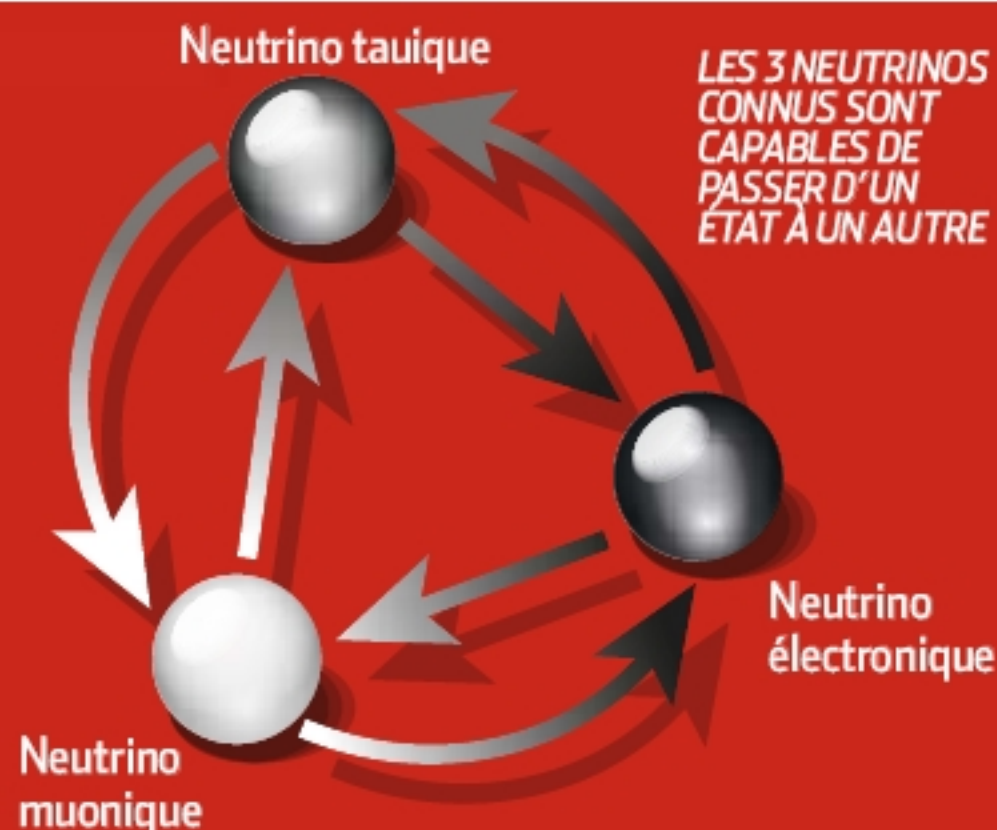
Les observations astronomiques l'attestent : la matière "standard" ne compose que 4 % du contenu de l'Univers. 96 % échappent donc au modèle. 23 % sont probablement constitués par des particules inconnues et les 73 % restant sont carrément composés d'une "énergie noire" dont on ne sait absolument rien.

▲ Le boson de Higgs ne clôt pas l'exploration de l'infiniment petit : au Cern, les physiciens du projet Atlas ont déjà repris leurs travaux.

CLÉ N° 3

Il n'est pas compatible avec la transformation des neutrinos...

D'après les équations du modèle standard, il existe 3 types de neutrinos (électron, muon, tau). Ceux-ci ne peuvent avoir qu'une masse nulle. Sauf qu'il y a une grosse dizaine d'années, les physiciens ont acquis la certitude que ces neutrinos se transforment périodiquement les uns dans les autres. Or, toujours selon les équations, ce changement d'état n'est possible que si ces particules ont une masse... Ce que le modèle standard est donc incapable d'expliquer.



CLÉ N° 4

... et prédit une masse du boson de Higgs délirante

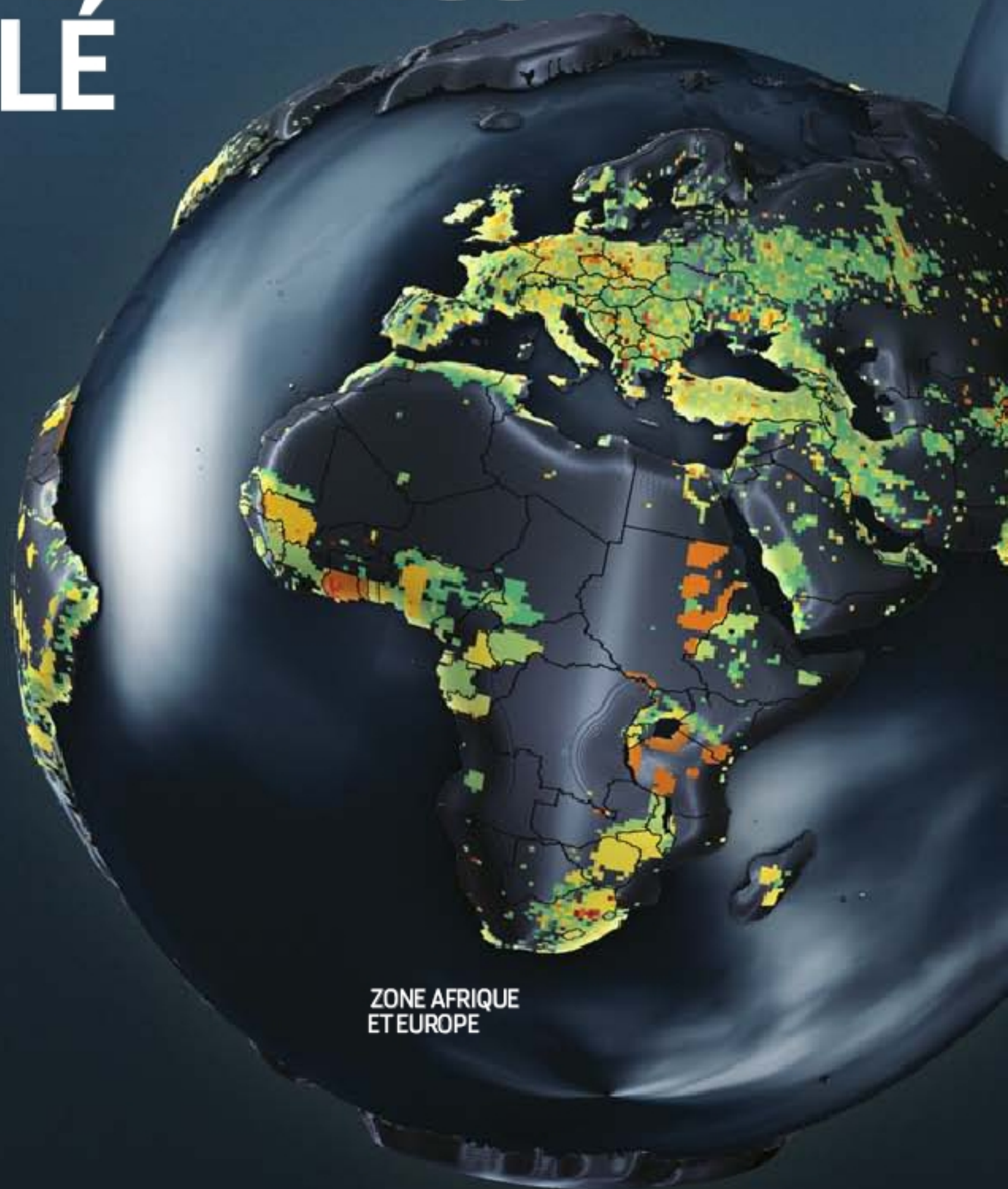
Normalement, la masse d'une particule est constante. Pourtant, selon les prédictions du modèle standard, celle du boson de Higgs ne l'est pas ! Sur le papier, en effet, plus il est engendré par un choc de particules violent, plus sa masse enfle... Le signe incontestable d'une faille du modèle.

POLLUTION

EN CINQUANTE ANS, LES ÉMISSIONS DE MERCURE ONT DOUBLÉ

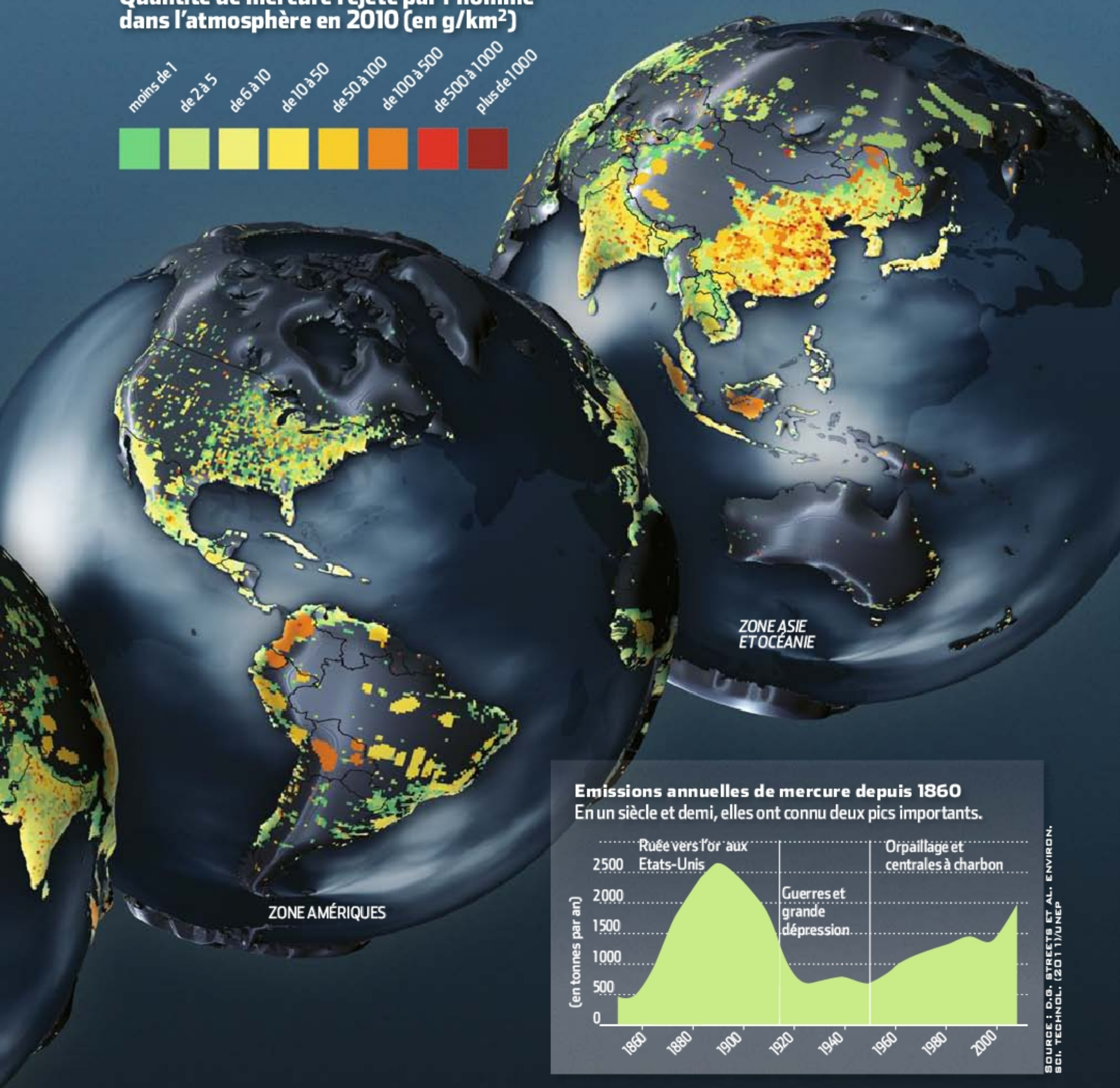
Le mercure est l'un des éléments les plus toxiques pour la santé et l'environnement. Après des années de négociations, 128 États ont adopté fin janvier le premier traité international visant à réduire les émissions de ce métal. Selon le dernier inventaire du Programme des Nations unies pour l'Environnement, les activités humaines ont libéré 2000 tonnes de mercure dans l'atmosphère en 2010. C'est trois fois plus que les émissions naturelles, dues essentiellement aux éruptions volcaniques. Les rejets n'ont cessé d'augmenter, atteignant le double du niveau observé en 1960, surtout en Asie, en Amérique du Sud et en Afrique sub-saharienne. En cause : la recrudescence de l'orpaillage artisanal (le mercure sert à amalgamer les paillettes d'or) et la combustion de charbon (qui en contient des traces) dans les centrales électriques. Une fois dans l'atmosphère, le mercure se dépose sur la végétation, dans les rivières, les océans, entrant ainsi dans la chaîne alimentaire. Aujourd'hui, entre dix et quinze millions de personnes sont directement exposées à la pollution au mercure en Afrique, en Amérique du Sud et en Asie.

J.G.



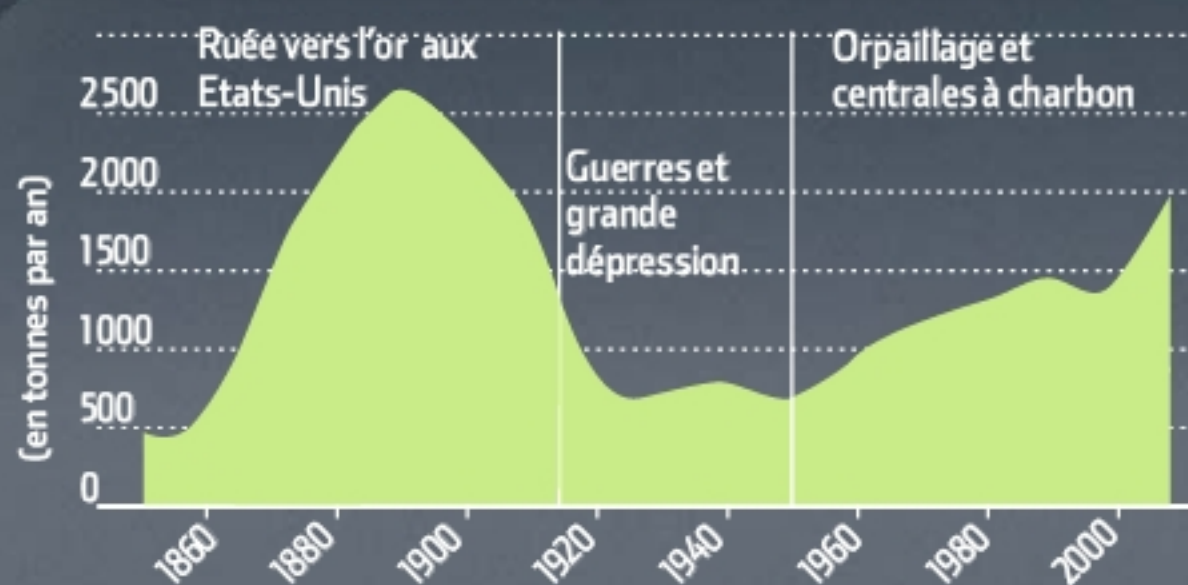
ZONE AFRIQUE
ET EUROPE

Quantité de mercure rejeté par l'homme dans l'atmosphère en 2010 (en g/km²)



Emissions annuelles de mercure depuis 1860

En un siècle et demi, elles ont connu deux pics importants.



SOURCE : D.G. STREETS ET AL., ENVIRON. SCI. TECHNOL. (2011)/UNEP

10% des émissions de mercure sont d'origine naturelle.

37% des rejets d'origine anthropique sont le fait de l'orpaillage.

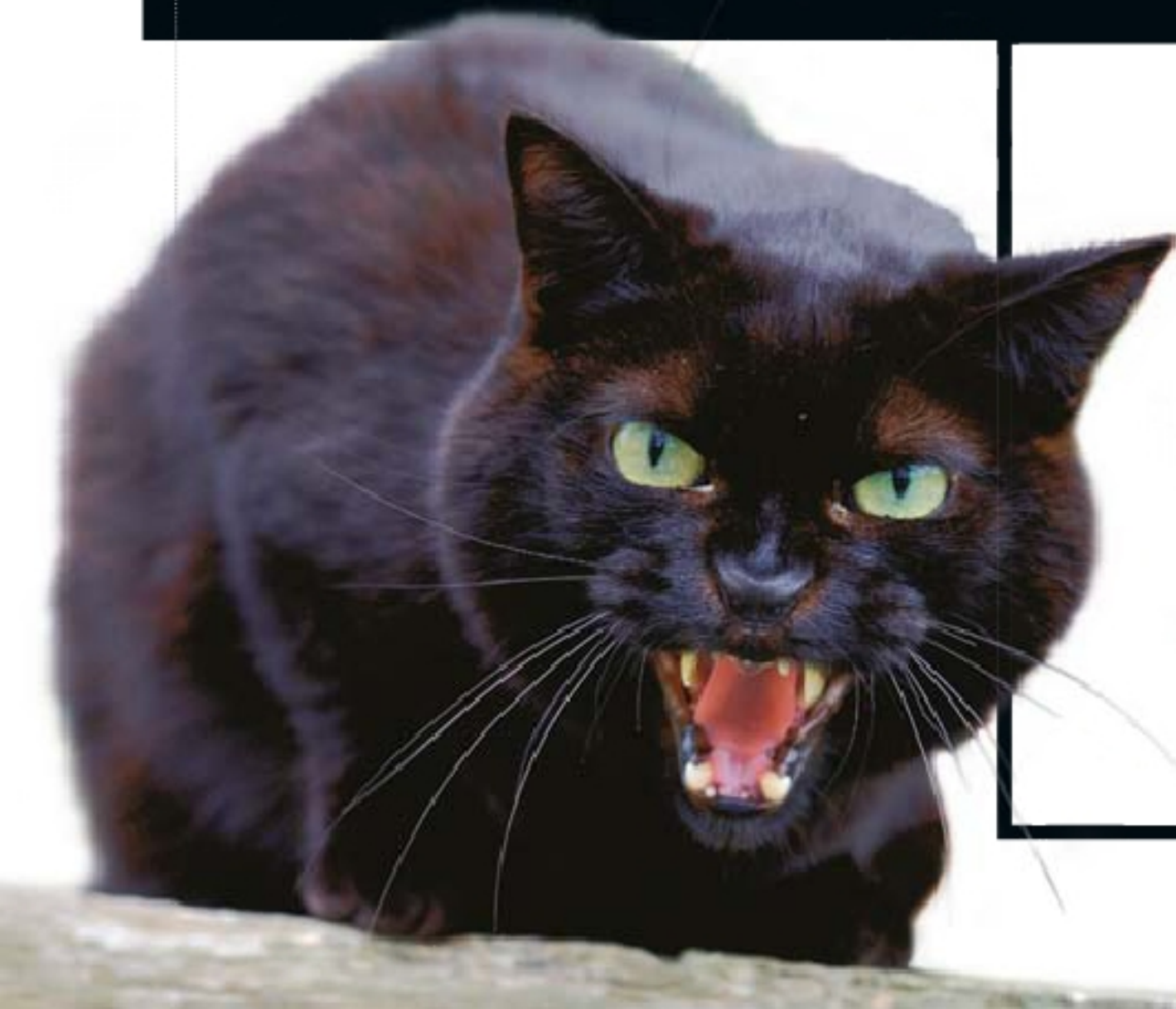
200 tonnes de mercure se déposent annuellement dans l'Arctique, loin des zones d'émission.

CLIMATOLOGIE

LA CHALEUR DES VILLES MODIFIE LE CLIMAT À DISTANCE

Bien qu'elle ne représente qu'une infime partie de l'énergie circulant dans le système terrestre, la chaleur dégagée par les usines, le chauffage urbain ou les automobiles perturbe la circulation des courants atmosphériques et le climat à grande distance. *"Le dégagement de chaleur, principalement sur les côtes est et ouest des continents américain et eurasien, crée des colonnes d'air chaud plus hautes qu'elles ne devraient l'être, explique Ming Cai, de l'université de Floride. Les courants atmosphériques sont alors obligés de contourner ces 'montagnes' thermiques, avec à*

la clé une intensification des vents au nord et au sud de ces zones urbaines." D'après les simulations, cette modification du régime des vents en altitude entraîne, l'hiver, une hausse des températures de 0,5 à 1 °C en Russie, dans le nord de l'Asie et le sud du Canada, ainsi qu'une baisse des températures en Europe de l'Ouest. Si elle a un effet notable localement, la chaleur directement émise par la consommation d'énergie dans les zones densément peuplées a un faible impact à l'échelle de la planète. Cette chaleur ne ferait grimper la température moyenne du globe que de 0,01 °C. C.H.



BIODIVERSITÉ

LES CHATS RESTENT DE REDOUTABLES CHASSEURS

Rien qu'aux Etats-Unis, la centaine de millions de chats tue chaque année entre 1,4 et 3,7 milliards d'oiseaux et de 6,9 à 20 milliards de mammifères ! Le décompte a été établi par Scott Loss, de la Smithsonian Institution. Il fait de ces redoutables prédateurs, dont les instincts sauvages n'ont jamais été altérés malgré neuf mille ans de domestication, la première cause anthropique de mortalité des oiseaux et mammifères du pays, devant la destruction des habitats. Les chats domestiques retournés à l'état sauvage sont responsables de la majorité de ces actes de prédation. E.B.-V.



▲ La chaleur urbaine, dégagée notamment par la densité du trafic routier, perturbe la circulation des vents.

L'HIMALAYA RAJEUNIT

L'Inde aurait fusionné avec l'Asie il y a seulement 40 millions d'années, et non 50. Des géologues américains ont en effet relevé deux collisions, survenues à ces deux dates. Mais ce n'est que lors de la plus récente que la plaque indienne aurait percuté la plaque eurasienne, donnant ainsi naissance à l'Himalaya. **E.H.**

LES LOMBRICS RÉCHAUFFENT LA PLANÈTE

Les galeries creusées par les lombrics aèrent la terre et lui assurent une meilleure fertilité... mais aussi une plus grande porosité, qui favorise la diffusion dans l'air des gaz à effet de serre piégés dans le sous-sol. Ils seraient ainsi responsables d'une augmentation de plus d'un tiers des émissions de CO₂ et de N₂O. **E.H.**

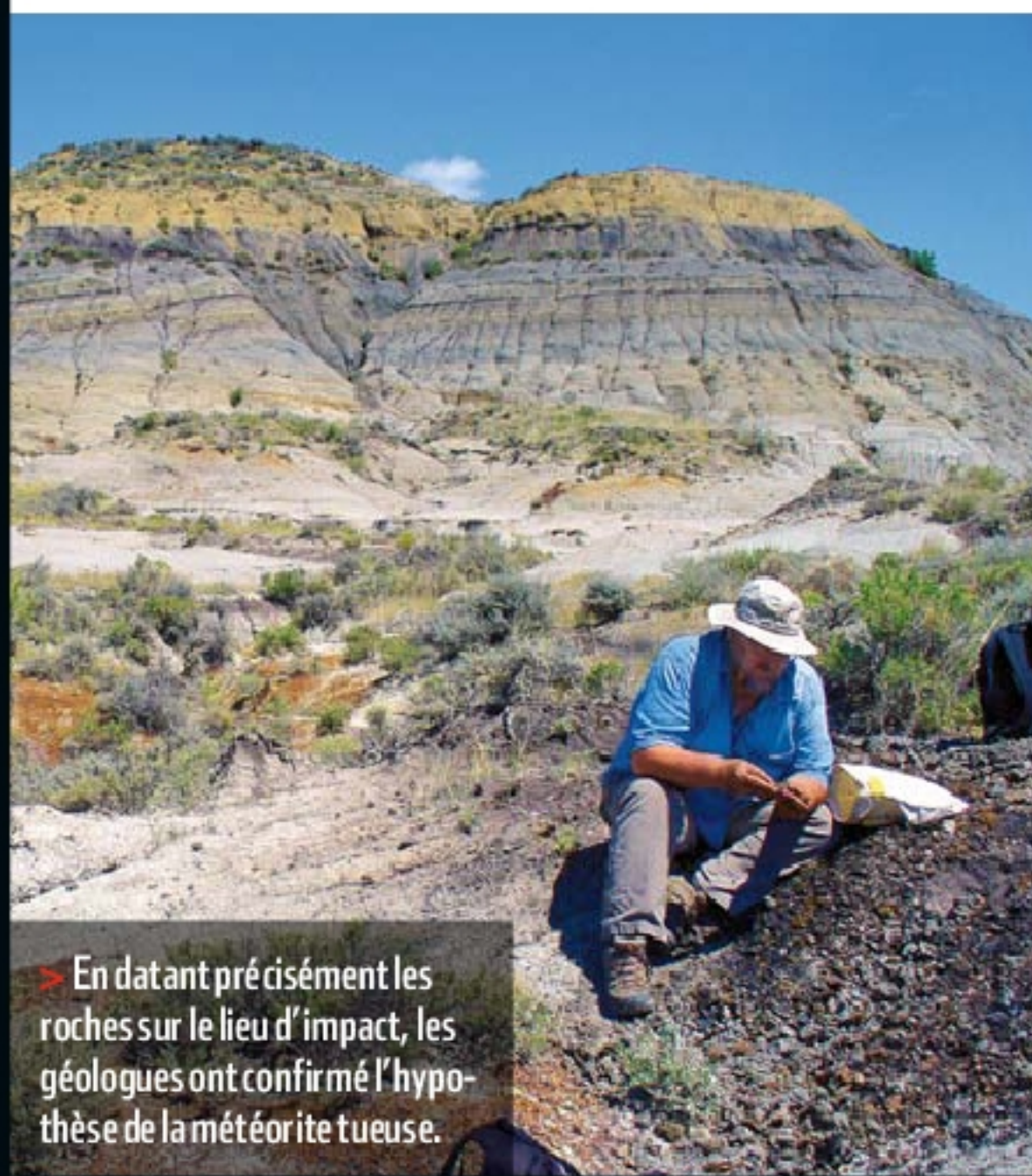
DES MILLIERS D'ÉLÉPHANTS ONT DISPARU

Onze mille éléphants sont portés manquants au Gabon. Deux tiers des pachydermes dénombrés en 2004 dans le parc national de Minkébé, qu'on pensait préservé du braconnage, ont ainsi disparu. Le Gabon abrite la moitié des éléphants forestiers d'Afrique, espèce prisée pour la qualité de son ivoire. **E.H.**

GÉOLOGIE

C'EST BIEN UNE MÉTÉORITE QUI A TUÉ LES DINOSAURES

Les dinosaures ont-ils péri il y a 66 millions d'années à la suite d'une période d'intense volcanisme, ou à cause de la chute d'une météorite géante ? La controverse dure depuis trente ans. Pour appuyer leur théorie, les partisans du volcanisme brandissent régulièrement une étude publiée en 2007, selon laquelle le bolide céleste serait tombé 300 000 ans avant l'extinction des dinosaures. Soit beaucoup trop tôt pour en être responsable... Afin d'alimenter le débat, Paul Renne et ses collègues de l'université de Californie ont effectué des datations d'une précision inégalée des roches vitrifiées lors de l'impact de la météorite, ainsi que de la couche géologique marquant la disparition des dinosaures et de quantité d'autres espèces. Verdict : compte tenu des marges d'erreur de quelques dizaines de milliers d'années sur ces mesures, le formidable impact et l'extinction biologique de masse peuvent être considérés comme synchrones. La météorite a donc certainement joué un rôle dans l'extinction des dinosaures. Elle n'est pourtant pas la seule coupable présumée : en modifiant le climat, les gigantesques éruptions volcaniques du Crétacé ont pu perturber les écosystèmes dont dépendaient les dinosaures. Mais la météorite aurait porté le coup de grâce à des animaux déjà très affaiblis. **L.C.**



➤ En datant précisément les roches sur le lieu d'impact, les géologues ont confirmé l'hypothèse de la météorite tueuse.

J.L. DIAS/LE CARTON/PICTURE TANK - J.KNIGHT/BIOSPHOTO - COURTESY OF PAUL RENNE

20,1 m

C'est la hauteur moyenne des vagues qui ont déferlé lors de la tempête Quirin, survenue en février 2011 dans l'Atlantique Nord. Un record absolu ! Les chercheurs ont estimé que la plus haute de ces vagues aurait pu atteindre 36 m de hauteur. **R.B.**



BIODIVERSITÉ

IL Y A DE LA VIE DANS LES NUAGES !

Trois études viennent de révéler la présence de colonies de micro-organismes capables de vivre dans les nuages, jusqu'à 10 000 m d'altitude. Bactéries, levures, champignons : notre ciel est habité !

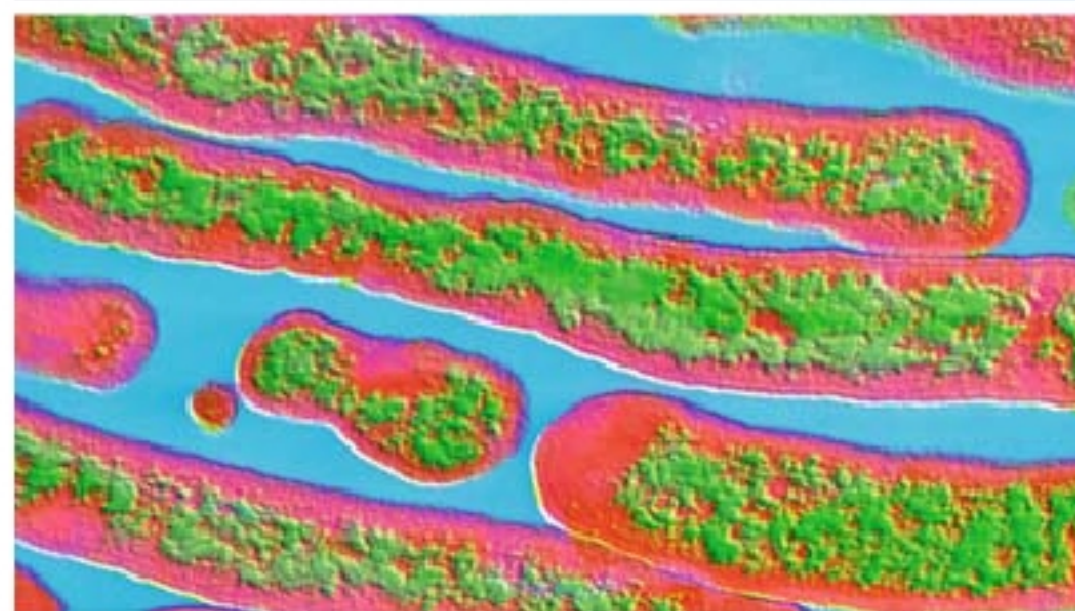
Longtemps, ils furent ignorés. *"L'atmosphère était la chasse gardée des physiciens et, pour eux, les micro-organismes n'étaient que des particules inertes"*, explique Anne-Marie Delort, directrice de l'Institut de chimie de Clermont-Ferrand. Cela ne fait qu'une dizaine d'années que les microbes du ciel suscitent un certain intérêt. Or, ces derniers mois, les découvertes se sont bousculées.

2100 ESPÈCES DE MICRO-ORGANISMES

Sur leur extraordinaire diversité, d'abord. L'amélioration des techniques de prélèvement et d'analyse a permis à David Smith, de l'université de Washington, d'identifier, dans des masses d'air du nord-ouest des États-Unis, 2 100 espèces de micro-organismes, principalement des bactéries, mais aussi des levures et des champignons, souvent en provenance d'Asie. Or, même au bout d'un si long voyage – ils ont traversé le Pacifique –, et malgré des

conditions extrêmes (basse température, sécheresse, acidité, radiations solaires...), une partie d'entre eux étaient encore cultivables, et donc vivants.

Mais il y a mieux : plus qu'un moyen de transport, le ciel pourrait bien être un habitat pour les microbes. Natasha DeLeon, du Georgia Institute of Technology, a prélevé des échantillons d'air à une dizaine de kilomètres d'altitude. D'après ses analyses, ils contenaient jusqu'à 300 groupes de micro-organismes... dont 17 étaient communs à tous les échantillons recueillis, que ce soit au-dessus de la Californie ou de la Floride, de l'océan ou de la terre ferme, dans un ciel dégagé ou nuageux, et même pendant des ouragans. Il y aurait donc une communauté de micro-organismes particulièrement adaptés à la vie dans les airs. D'autant qu'on trouve parmi eux des bactéries capables d'utiliser l'acide oxalique, un composé produit par les nuages. *"Utilisent-ils réellement cette ressource ? Cela*



demande à être vérifié", précise Natasha DeLeon.

En récoltant l'eau des nuages, à 1 465 m d'altitude au-dessus du puy de Dôme, Anne-Marie Delort a, elle, montré que les micro-organismes qu'elle contient sont capables d'utiliser les composés organiques présents dans le nuage et de contrer l'action néfaste des radicaux libres produits par les rayons solaires. Mieux : dans l'eau récoltée, ils sont même capables de se reproduire. Le font-ils aussi au-dessus de nos têtes ? *"Ils ont tout ce qu'il faut pour se diviser, explique Anne-Marie Delort, mais cela peut*

FAITS & CHIFFRES

Ces micro-organismes viennent du sol, des végétaux ou de l'eau. Si les bactéries sont majoritaires, elles y sont **100 000 fois** moins concentrées (de **10 000 à 100 000 par millilitre**) que dans le sol, et plusieurs millions de fois moins que dans notre intestin.



prendre plusieurs jours. ” Tout dépend donc du temps de vie des nuages. *“D’ailleurs, la durée de vie de ces communautés, qui est de quelques jours à quelques semaines pour un nuage, est ce qui fait la différence majeure avec les écosystèmes aquatiques et terrestres que nous connaissons”,* précise l’exploratrice de ces nouveaux mondes célestes. Là-haut, dans le ciel, l’étude du petit peuple des nuages ne fait donc que commencer. **V.E.**

1
Des prélèvements effectués en altitude ont révélé la présence de bactéries...

2
... dont certaines appartenant (ici, de gauche à droite) à la famille des *Flavobacterium*, des *Clavibacter* et des *Psychobacter* semblent particulièrement bien adaptées à la vie dans les airs.

LES MICROBES FONT LA PLUIE ET LE BEAU TEMPS

On le sait depuis longtemps : comme les poussières, les micro-organismes peuvent servir de “noyau de condensation”, transformant la vapeur en gouttes liquides et contribuant à former les nuages. Quant à certaines bactéries dites glaçogènes, elles favorisent la formation de glace. Mais ces micro-organismes, en se nourrissant des composés des nuages, modifient aussi leur composition chimique, et donc leur structure. Or, comme le souligne Anne-Marie Delort, directrice de l’Institut de chimie de Clermont-Ferrand, *“les nuages, selon leur structure, entraînent soit un refroidissement soit un réchauffement”*. Ces micro-organismes seraient donc des acteurs importants, mais méconnus, de la météorologie...

PALÉOCLIMATOLOGIE

LE GROENLAND A DÉJÀ RÉSISTÉ AU RÉCHAUFFEMENT

Les glaces du Groenland ne fondent pas aussi facilement qu'on pouvait le craindre. Tel est l'enseignement principal à tirer d'une reconstitution inédite des conditions climatiques et de l'état de la calotte glaciaire lors de la dernière période interglaciaire, l'Eémien (de -130 000 à -115 000 ans avant notre ère). D'après les analyses effectuées par l'équipe internationale de scientifiques du projet NEEM, dans de

la glace prélevée sur plus de 2000 m de profondeur, la température de l'air dans cette région était, il y a 126 000 ans, supérieure de 4 à 12 °C à la moyenne sur le dernier millénaire. Pour autant, ces analyses démontrent aussi que, malgré ces températures élevées, la calotte n'a que modérément fondu. Elle n'aurait perdu qu'un quart de son volume environ en six mille ans de réchauffement. Cette fonte

aurait provoqué une élévation du niveau des mers de près de 2 m. Ce qui n'explique pas entièrement l'élévation de 4 à 8 m du niveau marin estimée globalement à l'époque. Ce sont donc les glaces de l'Antarctique qui ont dû fondre beaucoup plus que prévu... Ces révélations détaillées sur l'histoire du Groenland devraient permettre de mieux prévoir l'impact du réchauffement actuel. **C.Le.**

▲ A la dernière période interglaciaire, malgré des températures élevées, les glaces de l'Arctique n'ont que modérément fondu.

HYDROLOGIE

LE MOYEN-ORIENT PERD SON EAU DOUCE

L'équivalent en volume de l'eau contenue dans la mer Morte. Voilà ce qu'aurait perdu, entre 2003 et 2009, le bassin du Tigre et de l'Euphrate (qui serpentent à travers la Turquie, la Syrie et l'Irak), d'après les mesures satellitaires analysées par Katalyn Voss, de l'université de Californie. Plus de 60 % des 144 km³ d'eau douce manquant à l'appel auraient été pompés dans les nappes phréatiques. Le reste se serait tout simplement évaporé en surface, au niveau des sols ou des étendues d'eau, notamment lors de l'intense sécheresse qui avait sévi dans la région en 2007. **B.B.**

ÉCOLOGIE

En ville, la pollution lumineuse dérègle le merle

Exposé à un faible éclairage nocturne, le merle des villes développe ses testicules un mois plus tôt que le merle des champs. Il chante aussi une heure plus tôt le matin et mue un mois avant, selon Davide Dominoni, de l'Institut Max-Planck. L'impact de ces perturbations est incertain. Le merle des villes pourrait tirer profit de la multiplication de ses couvées au cours de l'année. A l'inverse, se reproduire quand l'accès à la nourriture peut faire défaut lui serait délétère. **E.L.**





RECHERCHE PILOTES DE CHOC.

Red Bull France SASU, RCS Paris 502 914 658



COURSE RED BULL CAISSES À SAVON 2013.

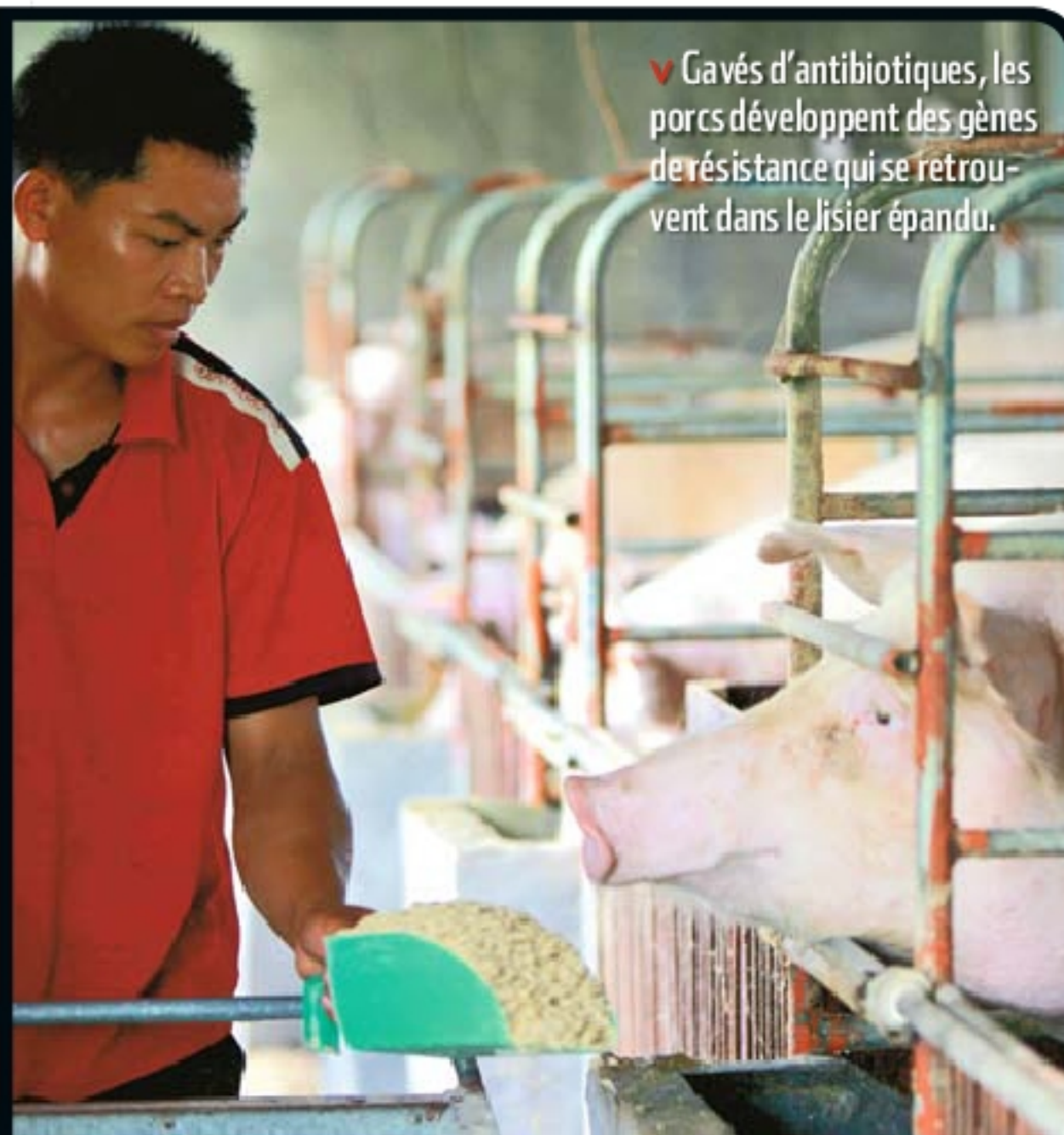
07 JUILLET, DOMAINE NATIONAL DE SAINT-CLOUD, ÎLE-DE-FRANCE.

Pour participer : www.redbullcaissesasavon.fr



metro 

Pour votre santé, pratiquez une activité physique régulière. www.mangerbouger.fr



▼ Gavés d'antibiotiques, les porcs développent des gènes de résistance qui se retrouvent dans le lisier épandu.

AGRICULTURE

L'ÉLEVAGE INTENSIF EN CHINE DOPE LES BACTÉRIES

Abondants et diversifiés: c'est ainsi que James Tiedje, de l'université du Michigan (Etats-Unis), qualifie les gènes de résistance aux antibiotiques qu'il a identifiés dans du fumier issu d'élevages intensifs de porcs en Chine. Il faut dire que le pays est le premier producteur et consommateur d'antibiotiques au monde... Et que la moitié de cette production est administrée au bétail, pour traiter des maladies ou comme facteur de croissance. Ce qui favorise la sélection de bactéries résistantes, qui se retrouvent dans les lisiers épandus pour fertiliser les sols. Afin de cerner l'étendue de cette dissémination dans l'environnement,

James Tiedje a réalisé un inventaire exhaustif. Résultat: 149 gènes de résistance ont été répertoriés dans du lisier et des sols amendés. Soit trois fois plus que dans du lisier de porcs non nourris aux antibiotiques. Surtout, ces gènes sont en moyenne 200 fois plus abondants dans le fumier des élevages intensifs. *"Les divers gènes de résistance détectés confèrent potentiellement une résistance à toutes les principales classes d'antibiotiques, y compris ceux d'importance critique pour la médecine humaine"*, conclut l'auteur de l'étude, qui s'inquiète d'un transfert de ces résistances à des bactéries pathogènes pour l'homme. **B.B.**

BIODIVERSITÉ

On a trouvé de la vie sous la glace de l'Antarctique !

Cette fois, ça y est ! John Priscu et son équipe de l'université du Montana (Etats-Unis) ont découvert des bactéries dans le lac Whillans, situé à 800 m sous la calotte antarctique. Des analyses devront déterminer l'identité et le mode de vie de ces bactéries. *"Ces résultats vont transformer la façon dont nous percevons l'Antarctique"*, s'enthousiasme l'équipe. En attendant les résultats du lac Vostok, resté isolé depuis bien plus longtemps. **B.B.**



INGÉNIERIE

L'OURSIN EST UN TRÈS BON CAPTEUR DE CO₂

Un moyen économique de piéger le gaz carbonique: voilà ce qu'a inspiré à Gaurav Bhaduri et Lidija Šiller (université de Newcastle, Angleterre) l'observation de larves d'oursin. Ces chimistes ont découvert que des nanoparticules de nickel présentes à la surface de l'animal favorisaient la formation de son squelette calcaire à partir du dioxyde de carbone (CO₂) contenu dans l'eau de mer. Filtrer les fumées industrielles à travers des colonnes d'eau riche en nanoparticules de nickel devrait donc permettre d'en extraire le CO₂, concluent les chercheurs. De plus, ces particules étant magnétiques et insolubles, elles pourraient être récupérées et réutilisées. **S.F.**

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



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

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

ESPACE, CONFORT, POLYVALENCE, SANS SACRIFIER LE STYLE.

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

© Pascalito



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

Stéphane Rotenberg

FOCUS

SPÉCIAL ENFANTS

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



DISPOSITIF
FAMILLE NOMBREUSE*

LE CONFORT

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

LA SÉCURITÉ ACTIVE

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

FIAT FREEMONT

À PARTIR DE

23 800 €⁽¹⁾
SANS CONDITION



FABRICANT
D'OPTIMISME

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

JE MESURE LES PRÉCIPITATIONS

GRÂCE AU RÉSEAU DE TÉLÉPHONIE SANS FIL



SON IDÉE

AART OVEREEM, hydrologue du groupe Hydrologie et gestion quantitative des eaux de l'université de Wageningen (Pays-Bas)

Science & Vie : Comment vous est venue cette idée ?

Aart Overeem : On sait depuis les années 1960 que les ondes radio sont perturbées par la pluie. En 1999, des collègues ont installé, pour leurs recherches, un signal micro-onde local, afin de voir s'il leur permettait de mesurer l'intensité des averses. Et ça a marché ! En 2002, un chercheur d'une autre université leur a indiqué que le signal qu'ils utilisaient était similaire à celui transmis par les réseaux de téléphonie mobile. On a alors pensé à demander leurs données aux opérateurs téléphoniques pour élargir le champ de nos observations à tout le pays.

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

A.O. : Quand on passe un appel, le signal est relayé par une succession d'antennes qui parcourent le territoire. Si une averse croise le chemin de ces ondes, elles sont en partie absorbées, mais aussi dispersées par les

gouttes d'eau. Résultat : le signal est atténué. Et plus les précipitations sont importantes, plus les ondes perdent en intensité. En cas de très fortes pluies, la communication peut même être coupée. En guettant la diminution du signal reçu par la seconde antenne, on peut donc savoir s'il est en train de pleuvoir quelque part sur le chemin.

S&V : Avez-vous appliqué cette méthode à grande échelle ?

A.O. : Nous avons réussi à établir une carte précise des pluies sur l'ensemble des Pays-Bas durant plusieurs jours. Dans notre pays, le réseau de télécommunications offre au moins 8 000 couples d'antennes entre lesquelles peut circuler un signal. A chaque fois, ces deux antennes sont distantes de quelques centaines de mètres à 5 kilomètres, si bien qu'en utilisant seulement 2 400 de ces chemins, on peut déjà avoir une idée de la pluviométrie sur l'ensemble du territoire. En revanche, cette mé-

Aujourd'hui, le réseau de téléphonie mobile couvre une grande partie des territoires habités. Or, les micro-ondes circulant entre les antennes-relais sont très sensibles aux perturbations : si une averse croise leur chemin, le signal envoyé est atténué. Pourquoi ne pas utiliser cette propriété pour mesurer les précipitations ? A l'heure où les bons vieux pluviomètres se font de plus en plus rares, cette nouvelle méthode pourrait apporter des informations précieuses.

thode ne permet pas de détecter les chutes de neige, dont les propriétés ne sont pas assez différentes de celles de l'air !

S&V : Cela pourrait-il fonctionner partout ?

A.O. : En théorie, oui, car les systèmes de télécommunications du monde entier sont fondés sur le même principe ! D'autres équipes réfléchissent déjà à utiliser cette méthode en Allemagne, en Egypte, en Israël, en Colombie... Il faudrait seulement quelques recalibrages. La condition la plus importante, c'est que les opérateurs téléphoniques stockent correctement leurs données et acceptent de les livrer. Aujourd'hui, environ 90 % des terres habitées sont couvertes par un réseau de téléphonie mobile. C'est une bonne opportunité pour étudier les précipitations, en particulier dans les zones où il y a peu de pluviomètres et de radars météo, comme en Afrique.

Propos recueillis par C.L.

F. LEENWENBERG

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



Posterscope agency - Recylum : RCS Paris B 482 323 946 - © Lucky Comics 2013.

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

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

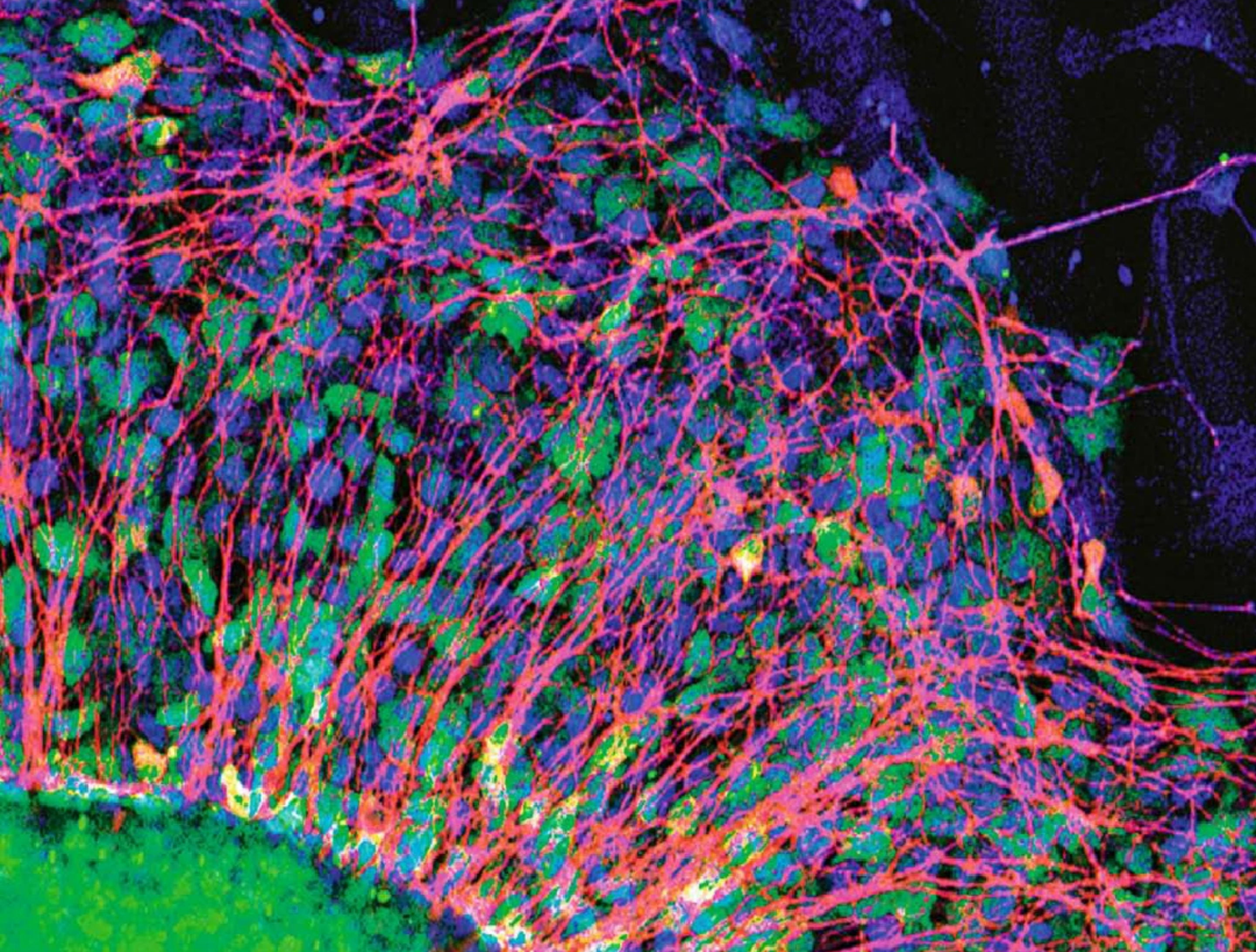
Il n'y a aucune raison de ne pas vous y mettre !



Pour trouver un point de collecte :
www.malampe.org

actus médecine

> Chez des souris, des cellules souches (en vert) implantées dans un intestin malade ont donné naissance à des neurones digestifs (en rose) : la greffe a pris.



GASTRO-ENTÉROLOGIE

DES GREFFES DE NEURONES RÉPARERAIENT L'INTESTIN !

Greffer des neurones dans le ventre pour guérir des maladies gastro-intestinales ? Cette stratégie expérimentale émerge d'observations récentes menées sur les réseaux neuronaux qui, dans notre appareil digestif, contrôlent les contractions ou les sécrétions intestinales. De précédents travaux chez l'homme ont montré que ces neurones

abritent des cellules souches assez faciles à prélever. Ces cellules, destinées à se différencier en neurones digestifs, représentent donc une source potentielle de "pièces de rechange" pour des intestins dont le réseau nerveux est défaillant. Afin de vérifier la faisabilité de cette greffe, des chercheurs australiens et japonais ont opéré de jeunes rongeurs.

Et non seulement les cellules souches greffées se placent au bon endroit dans l'intestin, mais elles donnent naissance à tous les types de neurones digestifs. De plus, les connexions entre neurones et avec les muscles de la paroi intestinale s'établissent. "Reste à prouver que la greffe permet de rétablir une bonne contractilité de l'intestin,

et cela ouvrira la voie à des essais chez l'homme pour traiter des maladies liées à l'absence ou à la dégénérescence d'une partie de ces neurones, prévoit Heather Young, coauteur de ces travaux à l'université de Melbourne. Nous pourrions prélever des cellules souches dans une partie saine de l'intestin et les greffer dans la partie lésée." **A.R.**



« L'électrostimulation, opération délicate réservée aux cas très avancés, a montré des bénéfices sur des patients jeunes.

NEUROLOGIE

PARKINSON : L'OPÉRATION PRÉCOCE FAIT SES PREUVES

Une opération délicate du cerveau, jusqu'à présent réservée à des cas de Parkinson très avancés, pourrait également profiter à des patients jeunes, à un stade précoce de la maladie. C'est en tout cas l'idée d'une équipe de neurochirurgiens franco-allemande à l'issue d'une étude menée sur plus de 250 patients, certains âgés d'une quarantaine d'années, mais tous ayant encore une

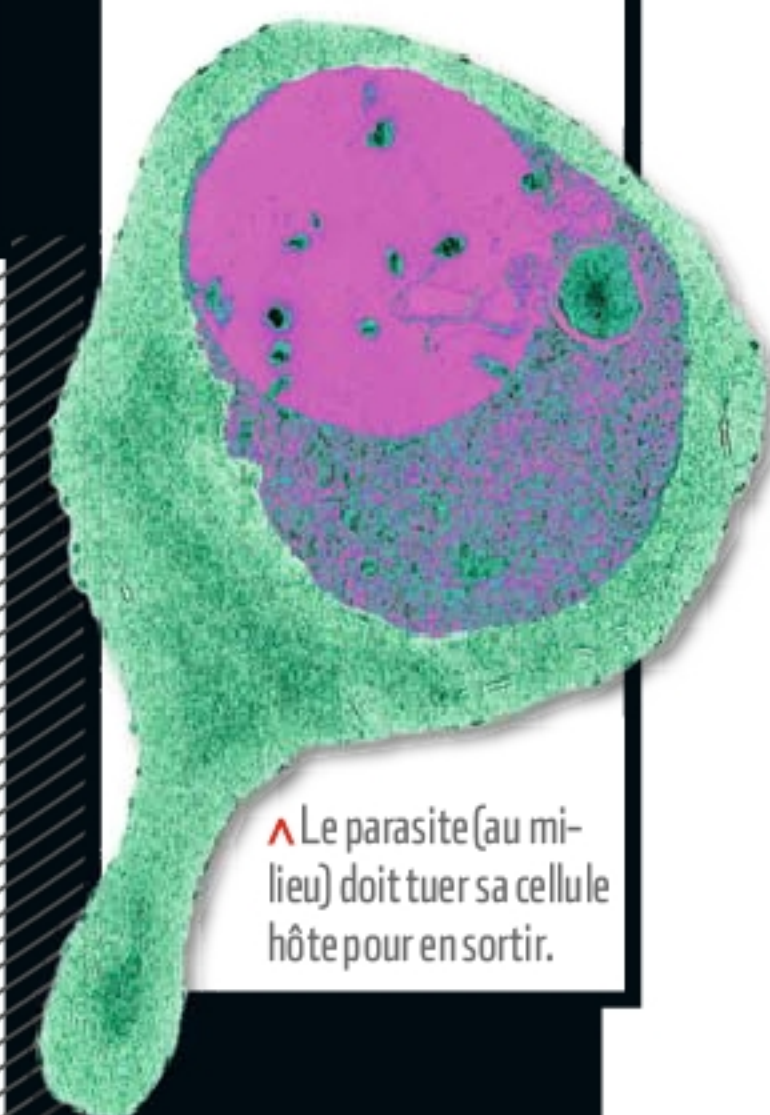
vie active et souffrant d'une perte d'efficacité des médicaments chargés de limiter les tremblements et les troubles de la motricité, principaux symptômes de la maladie. L'électrostimulation, qui consiste à implanter des électrodes cérébrales dans la zone détériorée par la maladie, est un traitement mis au point dans les années 1990 et largement validé depuis. Mais cette

opération reste risquée. D'où son usage restreint à moins de 500 patients par an, sur les 150 000 malades que compte la France. Dans l'étude franco-allemande, la qualité de vie des patients opérés a été améliorée de 26 % par rapport aux autres. Mais même si l'implantation d'électrodes concerne potentiellement plus de patients, il n'est pas question pour l'instant de la généraliser. **C.T.**

INFECTIOLOGIE

ILS ONT PIÉGÉ LE PARASITE DU PALUDISME

Les parasites responsables du paludisme et de la toxoplasmose doivent tuer leur cellule hôte pour en sortir et coloniser d'autres cellules. Des chercheurs de l'université de Pennsylvanie (Etats-Unis) ont décrypté la cascade de réactions déclenchée par le parasite pour désorganiser le squelette interne de la cellule et entraîner son éclatement. En utilisant des inhibiteurs de composants impliqués dans cette cascade, ils ont fait diminuer fortement l'infection chez la souris. En effet, le parasite se retrouve piégé dans la cellule, et meurt avant d'avoir fait progresser l'infection. **E.D.**



▲ Le parasite (au milieu) doit tuer sa cellule hôte pour en sortir.

UROLOGIE

C'est son propre système de défense qui rend la vessie sensible aux infections

Envie fréquente d'uriner, sensation de brûlure... Le calvaire des infections urinaires touche 5 % des femmes, qui, pour certaines, subissent de nombreuses récurrences. Pourquoi une telle vulnérabilité de la vessie ? Une équipe de l'université Duke (Etats-Unis) a montré, chez la souris, que l'organe est victime d'une faille de son système de défense : la production d'anticorps spécifiques contre les bactéries responsables des cystites y est inhibée. Cette faille est pourtant précieuse, car des réactions immunitaires trop fortes et systématiques contre les déchets naturellement présents dans l'urine détérioreraient la vessie. **E.A.**

AUTOTHÉRAPIE N° 4

« exprimez votre vraie nature »



SUBARU

*Confidence in Motion**

NOUVEAU FORESTER

Pour ceux qui savent l'importance d'être en harmonie avec soi-même et la nature qui vous entoure, le nouveau Forester reflète ce sentiment de confiance, de bien-être en toute circonstance et en tout lieu. L'association moteur boxer et transmission intégrale de série révèle la haute technologie d'un vrai 4x4, une puissance sereine disponible à tout moment. Confort et style affirment cette nouvelle élégance. En Forester soyez authentique, sortez de la grisaille des sentiers battus et vivez intensément chaque jour.



WWW.SUBARU.FR



REJOIGNEZ-NOUS SUR FACEBOOK www.facebook.com/SubaruFrance

Nouveau Forester à partir de 29 900 € TTC. Modèle présenté : Forester 2.0D Sport (PM incluse) : 34 400 € TTC. Tarif public au 1^{er} février 2013. Consommations et émissions de CO₂ (sur parcours mixte) de la gamme Forester : de 5,7 à 8,5 l/100 km et de 150 à 197 g/km.



< Contre le cancer du poumon, les immunothérapies sont plus efficaces quand elles sont administrées via les muqueuses.

CANCÉROLOGIE

UN SPRAY NASAL EST TESTÉ CONTRE DES CANCERS

Et si administrer un médicament anticancer par une pulvérisation nasale garantissait son efficacité? C'est l'hypothèse avancée par une équipe de l'Inserm, qui espère ainsi contourner les échecs subis par de nouveaux traitements contre les cancers du poumon ou de la sphère ORL. En effet, ces nouvelles immunothérapies ont déjà fait leurs preuves chez l'homme dans les cancers de la prostate et de la peau. Mais dans d'autres localisations comme le poumon, elles ne semblent pas fonctionner. Or, chez la souris, il suffit de les administrer localement pour voir leur efficacité nettement améliorée. "Ces tumeurs se développent à partir des

muqueuses, explique Eric Tartour, chercheur et médecin à l'hôpital Georges-Pompidou (Paris). *En introduisant le traitement par un spray nasal, les défenses spécifiques des muqueuses sont mobilisées, ce qui améliore son efficacité.*" Les cellules immunitaires de ces tissus entrent les premières en contact avec le "vaccin". Puis elles rejoignent les ganglions, où elles transmettent l'information à d'autres globules blancs, les lymphocytes T, qui vont alors se diriger vers la tumeur. "Ces résultats sont probablement transposables à l'homme et à d'autres cancers muqueux – du colon ou des voies génitales", conclut Eric Tartour. **O.C.**

NEUROLOGIE

La testostérone endigueraient la sclérose en plaques

Contre la sclérose en plaques, la piste d'un traitement hormonal pour régénérer les gaines protectrices des fibres nerveuses, endommagées par la maladie, est sérieusement envisagée. L'équipe de Said Ghandour (université de Strasbourg/CNRS) a montré, chez la souris, que la testostérone favorise la production de cellules responsables de la formation des gaines protectrices et régule la réaction inflammatoire, ce qui encouragerait aussi la régénération des gaines. **C.H.**

OPHTALMOLOGIE

DANS LE NOIR TOTAL, LA VISION PEUT SE CORRIGER

L'obscurité totale permettrait de guérir certains déficits visuels détectés à la naissance, selon une équipe canadienne. Après avoir été plongés dans le noir absolu pendant dix jours, des chatons présentant des problèmes de vue au niveau d'un œil ont récupéré 100 % de leur acuité visuelle dans les jours qui ont suivi l'expérience. L'obscurité imposée dans les premières semaines de vie rétablirait les bonnes connexions entre la rétine et le cerveau, comme si ce dernier se retrouvait à un stade embryonnaire. "L'étude de faisabilité est belle, même si un séjour dans l'obscurité semble pour l'instant inapplicable chez de très jeunes enfants", regrette José-Alain Sahel, directeur de recherche à l'Institut de la vision (Paris). **A.R.**



STEPHEN KING

LE PASSAGE

JUSTIN
CRONIN

POCKET

ROMAN

POCKET

www.pocket.fr

1280 pages - 11,80€

Un virus ravageur, des monstres à glacer le sang... Dans une Amérique post-apocalyptique, une jeune fille est porteuse de tous les espoirs de l'humanité. Premier tome d'une trilogie saisissante, entre conte épique et thriller fantastique, *Le Passage* a déjà conquis 2 millions de lecteurs à travers le monde.



▲ C'est via les cellules ganglionnaires (en bleu) de la rétine que l'œil, stimulé par la lumière, active une zone précise du cerveau.

NEUROLOGIE

ON A DÉCRYPTÉ L'EFFET DU SOLEIL SUR LE MORAL

C'est bien connu, lorsque le printemps arrive et que la luminosité augmente, les personnes dépressives ont tendance à voir leur état s'améliorer. Au point que la luminothérapie soit parfois utilisée pour lutter contre la dépression hivernale. Pourtant, jusqu'à présent, les mécanismes neurologiques qui entrent en jeu restaient méconnus. Ce n'est plus le cas, grâce aux travaux de l'équipe de Mingliang Pu (université de Pékin, Chine) sur un petit modèle animal, la gerbille. Les chercheurs ont en effet découvert que les cellules ganglionnaires de la rétine, ces neurones situés dans l'œil au contact des cellules photoréceptrices, étaient

reliées à une zone bien précise du tronc cérébral, impliquée dans la fabrication de la sérotonine. Soit un neurotransmetteur qui joue un rôle clé dans l'humeur. Mieux, l'œil stimulé par la lumière envoie des signaux, via les cellules ganglionnaires, qui augmentent le taux de sérotonine dans cette région cérébrale et, *in fine*, réduisent les comportements dépressifs... du moins chez la gerbille. Les chercheurs ont aussi montré que pour diminuer la dépression de ces rongeurs privés de lumière, la stimulation de leurs cellules ganglionnaires rétiniennes avait le même effet qu'un traitement à base de médicaments antidépresseurs classiques. **C.H.**

L'ANONYMAT DES DONNEURS D'ADN EN PÉRIL

Des chercheurs du Massachusetts Institute of Technology ont réussi à identifier en un temps record près de 50 donneurs d'ADN anonymes. Il leur a suffi de recouper les informations contenues dans les bases de données génétiques publiques avec les traces laissées sur Internet (forums, associations...). **L.C.**

UN DIABÈTE DE TYPE 1 GUÉRI... CHEZ LE CHIEN

Après la souris, cette avancée permet d'espérer un jour une thérapie génique antidiabète sur l'homme. Des chercheurs espagnols ont simplement injecté dans les muscles du chien les gènes de l'insuline et d'une enzyme, la glucokinase. L'hyperglycémie a ainsi été régulée, et le diabète guéri. **C.H.**

LA MÉDECINE HYPERBARE APRÈS UN AVC ?

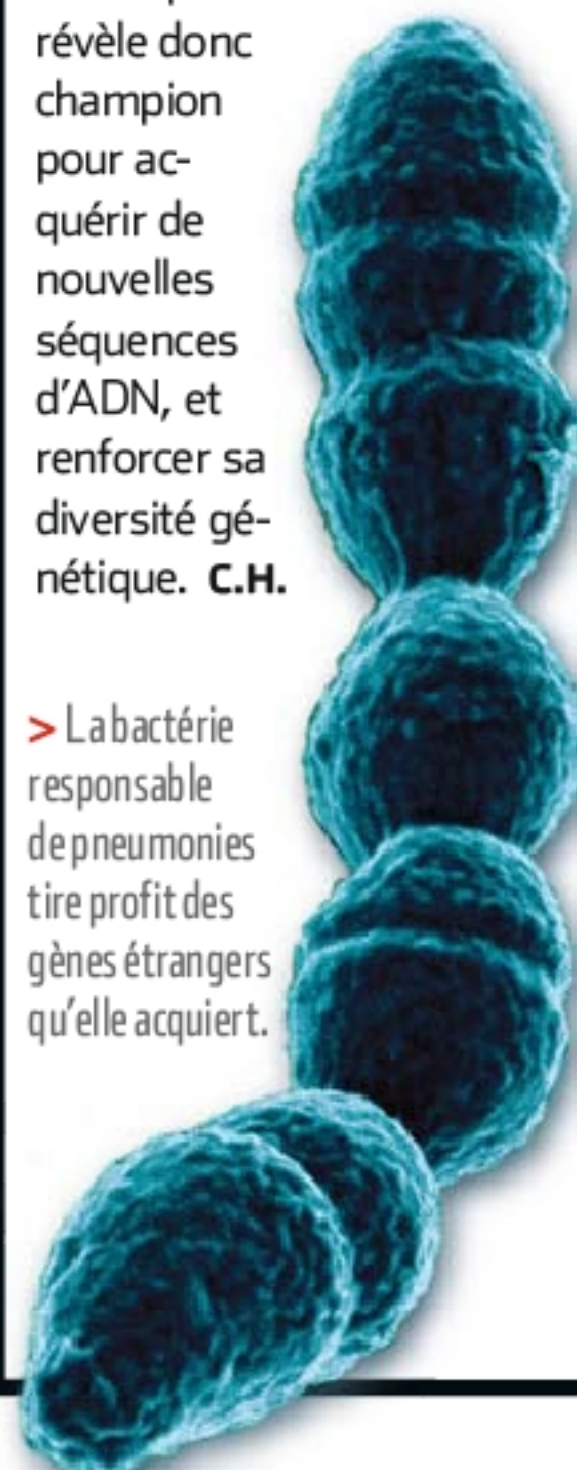
La médecine hyperbare, qui consiste à placer un patient dans un milieu au taux d'oxygène élevé, ne restera peut-être pas longtemps réservée aux seuls accidents de plongée. Des chercheurs israéliens ont montré qu'elle active fortement les neurones et favorise la plasticité cérébrale après un accident vasculaire cérébral. **C.H.**

BACTÉRIOLOGIE

LE PNEUMOCOQUE RÉVÈLE SON ASTUCE CONTRE LA VACCINATION

Si l'on constate des échecs dans la vaccination contre *Streptococcus pneumoniae*, à l'origine de pneumonies chez l'homme, c'est peut-être parce que cette bactérie possède une arme génétique secrète. Certaines bactéries échangent en effet des gènes avec d'autres souches par un mécanisme dit de "transformation"... qui, chez le pneumocoque, se trouve facilité par une enzyme, la méthylase DpnA. L'équipe de Jean-Pierre Claverys (CNRS/université de Toulouse) a montré que, contrairement aux autres bactéries, *Streptococcus* ne détruit pas l'ADN étranger qu'il contient grâce à l'action de la DpnA. Il se révèle donc champion pour acquérir de nouvelles séquences d'ADN, et renforcer sa diversité génétique. **C.H.**

> La bactérie responsable de pneumonies tire profit des gènes étrangers qu'elle acquiert.



HONDA
The Power of Dreams*



CBR
500F



CB500X



CB500F

Profitez à 100% de votre permis A2 et découvrez de nouvelles sensations avec notre série 500 cm³ déclinée en sportive, trail et roadster. **À partir de 5590€ TTC pour le roadster CB500F avec ABS de série. Faites jusqu'à 40%** d'économie avec notre assurance tous risques.**

** Chiffre obtenu selon le profil et la domiciliation du conducteur principal désigné. FMA, souscripteur gestionnaire de Honda Assurance - Société de courtage en assurances - RCS Versailles B409 206 836 - Adhérent à l'ORIAS sous le n°07 000 602 (site : www.orias.fr). Responsabilité Civile et Garantie Financière conformes aux articles L512-6 et L512-7 du code des Assurances.



MOTUL

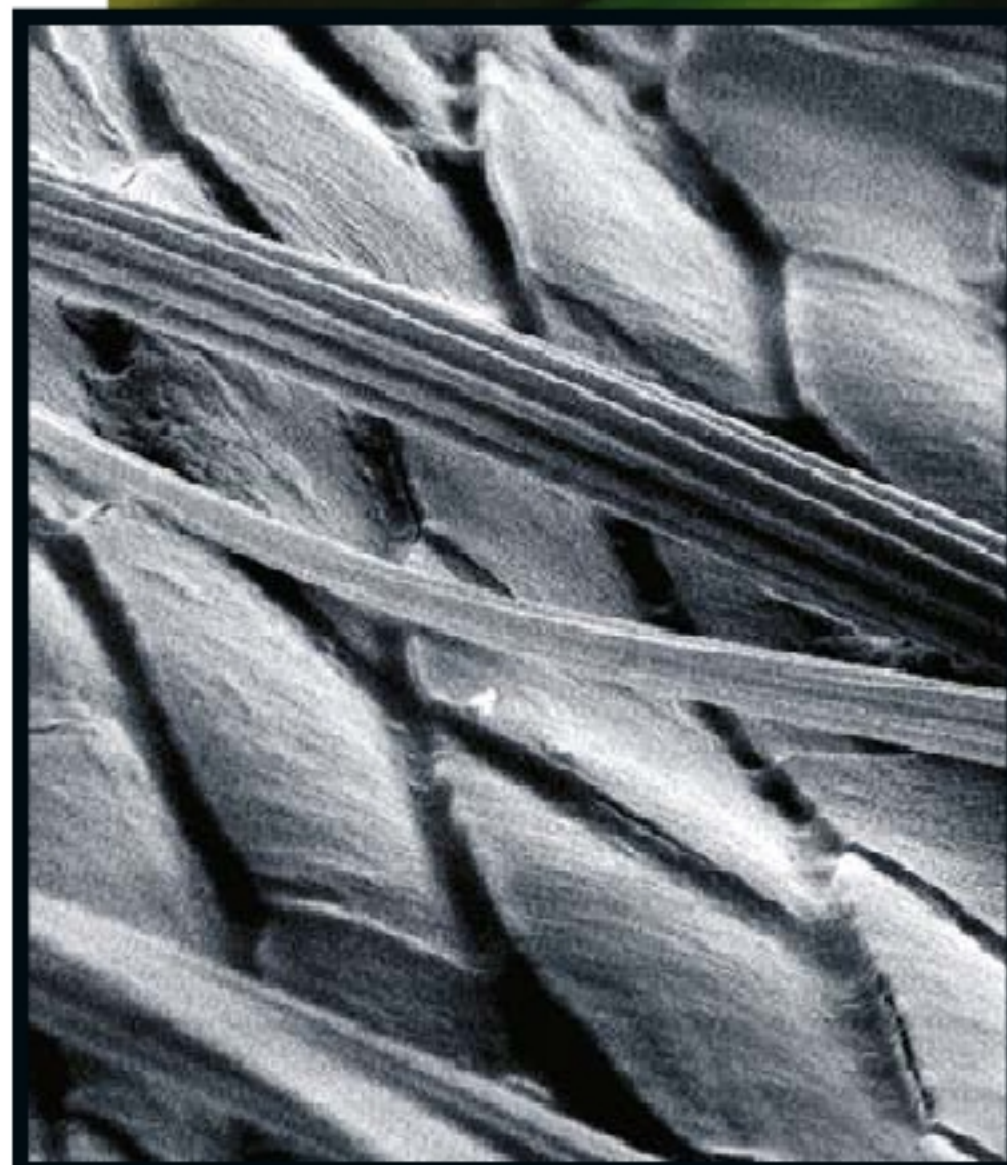
HONDA
ASSURANCE

moto.honda.fr

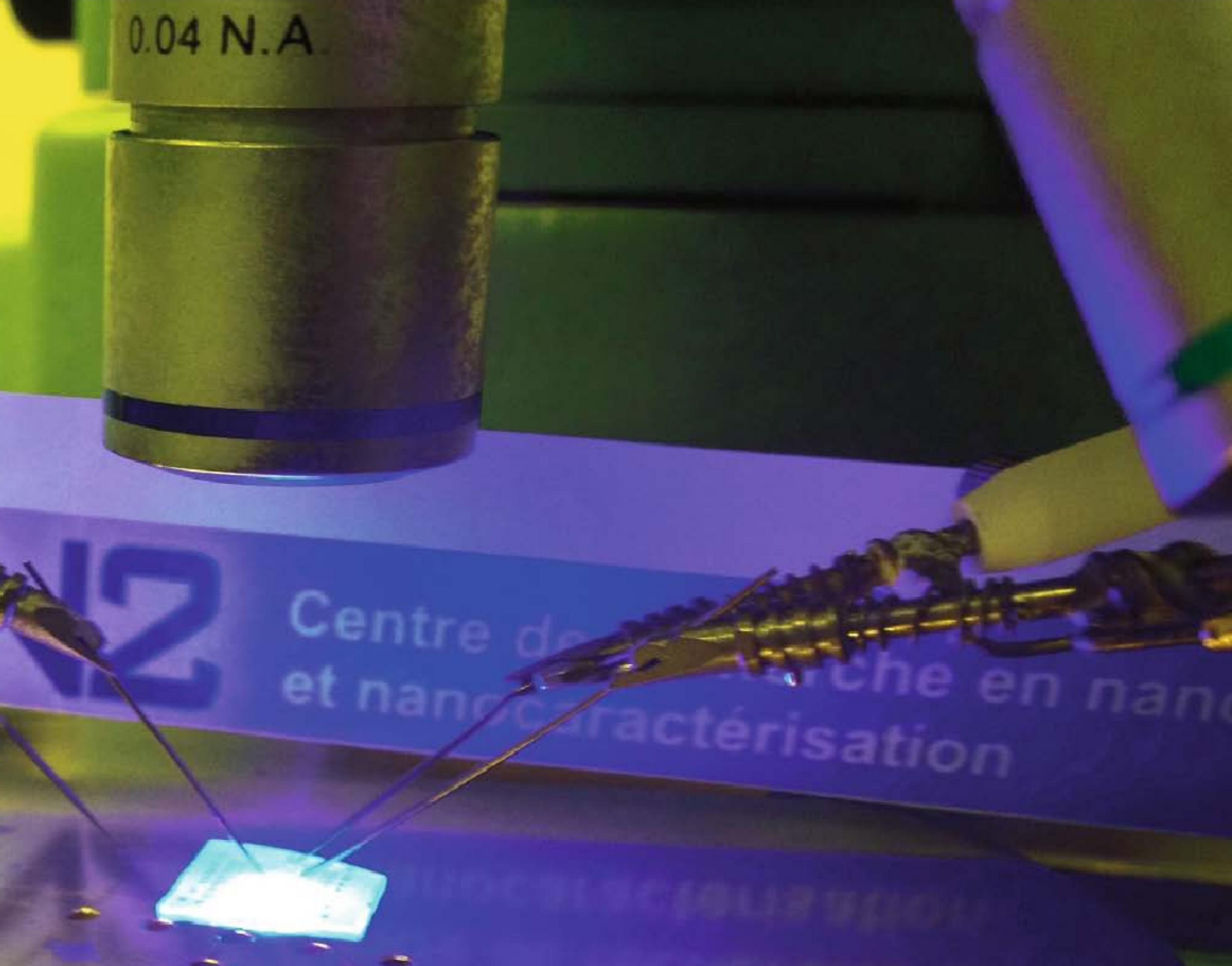


Flashez le QR Code
pour découvrir
toutes nos offres.

actus technos



« Pour émettre plus de lumière, la LED est recouverte d'une couche de résine, sculptée par laser afin d'imiter la structure d'un abdomen de luciole (ci-contre).



OPTIQUE

LES NOUVELLES LAMPES S'INSPIRENT DES LUCIOLES

Plus lumineuse, cette nouvelle diode électroluminescente (LED) devrait permettre de fabriquer des lampes moins gourmandes en électricité. Une perspective réjouissante pour cette candidate, qui figure parmi les plus prometteuses pour remplacer nos ampoules à incandescence. Car les LED souffraient jusqu'alors d'un

inconvenient majeur: elles n'émettent pas toute la lumière qu'elles créent. Une partie reste réfléchie à l'intérieur du composant. Pour augmenter la quantité de lumière émise, des chercheurs des universités belges de Namur et de Louvain ainsi que de l'université de Sherbrooke (Québec) se sont inspirés des lucioles

Photuris. Leur abdomen, siège de la bioluminescence, est couvert d'écailles micro-métriques, dont la disposition permet de diffuser un maximum de lumière vers l'extérieur. Transposé aux LED, cela consiste à ajouter une couche de résine dont la surface décrit des dents de scie asymétriques. Résultat: la LED ainsi traitée

diffuse 55 % de lumière en plus! "C'est la première fois qu'un tel gain est obtenu à cette échelle", précise Michael Sarrazin, physicien à l'université de Namur. Qui ajoute: "Comme nous sommes partis de diodes standard, notre technique devrait s'insérer facilement dans les processus de fabrication." **O.L.**

> Les futures façades construites avec ce béton biologique favoriseront elles-mêmes la croissance de plantes à leur surface.



ARCHITECTURE

DU BÉTON VERT FAIT POUSSER LES MURS VÉGÉTAUX

Comment réaliser des murs végétalisés sans aucune contrainte technique? Des chercheurs de l'université polytechnique de Catalogne, en Espagne, ont trouvé la solution: un béton biologique qui favoriserait la croissance de micro-organismes (mousses, algues, champignons, lichens) directement à sa surface. Ils ont modifié certaines caractéristiques (la porosité, la rugosité de la surface et le pH) de deux matériaux classiquement utilisés dans la construction: le béton conventionnel carbonaté et le ciment de phosphate de magnésium. Ainsi, plus besoin de tuteurs, de système d'irrigation ni d'apport de terreau, tout est inclus dans le matériau! Le résultat obtenu est un composé multicouche de la forme d'un

panneau qui, en plus de la couche structurelle, comporte trois autres couches. La première, imperméable, protège la structure; la deuxième, organique, capte et retient l'eau de pluie nécessaire au développement des végétaux; la dernière, imperméable mais discontinue, laisse pénétrer l'eau qui ne ressort qu'en certains points. Selon les chercheurs, ce béton absorberait une partie du CO₂ atmosphérique et capterait mieux les rayons du soleil, ce qui permettrait une meilleure conductivité thermique à l'intérieur des bâtiments. Pour l'instant, le béton en est encore au stade expérimental, mais son concept est déjà breveté et il pourrait être intégré aux façades de bâtiments d'ici quelques années. J.J.

RÉSOLUTION RECORD!

Filmer des objets de 15 cm, à 6 km de distance: c'est la prouesse de la nouvelle caméra de la Darpa, l'agence de recherche de la Défense américaine. Destinée à équiper de futurs drones, elle comprend 368 capteurs de 5 mégapixels, visant à travers un réseau de télescopes, et prend des images de 1,8 gigapixel. S.F.

DU COTON QUI ABSORBE LE BROUILLARD

Une équipe de l'université de Hong Kong a intégré un polymère, le PNIPAM, à des fibres de coton. Résultat: le tissu absorbe jusqu'à 340% de son poids en eau, contre 18% normalement. Ce matériau pourrait récolter l'eau de la brume, puis la libérer quand la température dépasse 34 °C. F.G.

LES ROUTES ONT DES OREILLES

Analyser le trafic routier à partir du bruit ambiant: c'est ce qu'a accompli un physicien de l'École polytechnique fédérale de Lausanne. Deux micros ont enregistré les sons des pneus sur le bitume. Un algorithme en a déduit le débit, la vitesse et la catégorie des véhicules. F.G.

ÉLECTRONIQUE

DES FILAMENTS BIOLOGIQUES VONT CONNECTER LES PUCES 3D

Ce sont des connexions électriques d'un nouveau genre: elles sont faites de filaments d'actine (une protéine constitutive des cellules humaines), qui ont la particularité de s'assembler tout seuls pour former des cylindres de quelques dizaines de micromètres, et qui ont été rendus conducteurs grâce à des nanoparticules d'or. Conçues par le Commissariat à l'énergie atomique, le CNRS, l'université Joseph-Fourier et l'Institut national de la recherche agronomique à Grenoble, ces connexions biologiques serviront à relier facilement des composants électroniques miniatures, empilés les uns sur les autres... et actuellement difficiles d'accès à l'intérieur des nouvelles puces 3D. L.B.



> Ces connexions sont composées de deux cylindres d'actine qui entrent l'un dans l'autre, à la manière d'une prise mâle/femelle.



Visuel non contractuel

Science & Vie TÉMOIN DU SIÈCLE OÙ TOUT A CHANGÉ

À l'occasion de son centenaire, *Science & Vie* consacre une édition spéciale aux événements les plus marquants des cent dernières années. On y croise les premières automobiles, les débuts de l'aéronautique, on replonge dans de sales guerres, on redécouvre les grands penseurs de la physique moderne, on se rappelle des belles avancées de la biologie et de la médecine, on se souvient des premiers pas du premier homme sur la Lune... *Science & Vie* fut le témoin privilégié de ce siècle profondément façonné par l'essor des sciences et des techniques. **Plus de mille numéros résumés en un seul !** Un numéro exceptionnel...



1956 LA TÉLÉVISION PÉNÈTRE DANS LES FOYERS



1969 LE PREMIER VOL DU CONCORDE



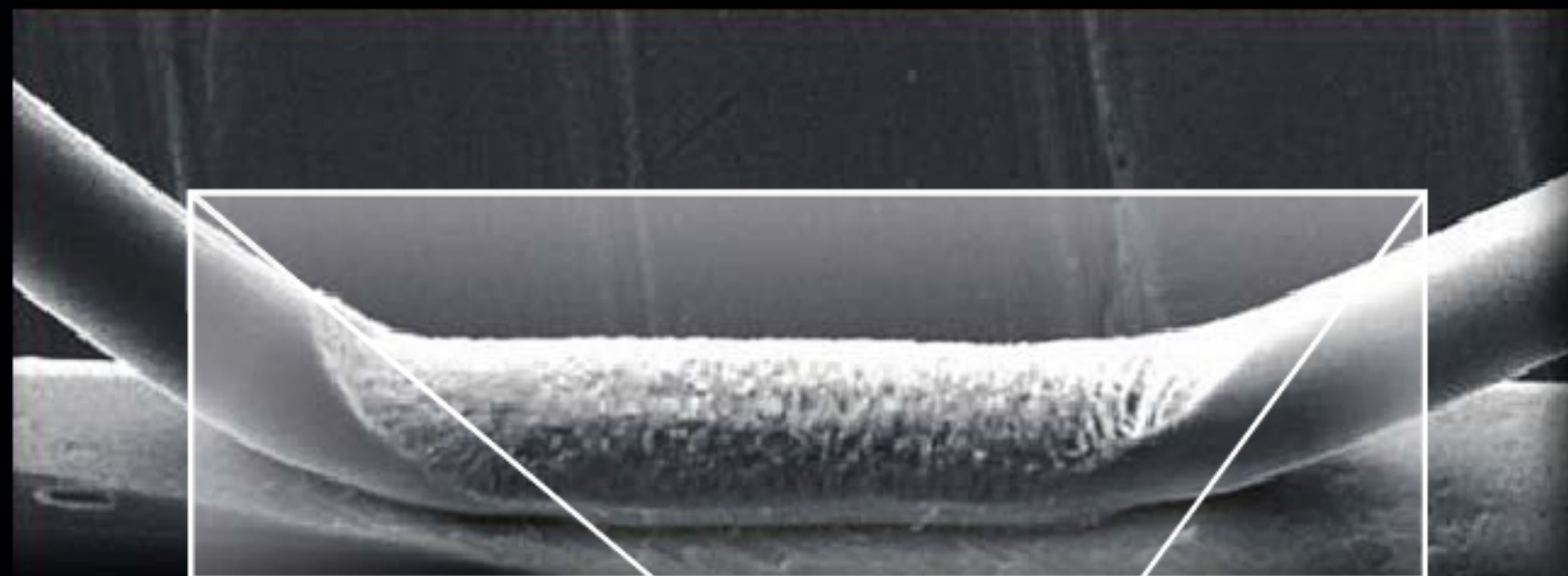
1978 LA NAISSANCE DU PREMIER BÉBÉ-ÉPROUVETTE



1995 LA PREMIÈRE PLANÈTE EXTRASOLAIRE

En kiosque le 10 avril

✓ Chaque longe sera constituée de 4 microfils d'aluminium soudés, longs de plusieurs kilomètres et chargés électriquement.



AÉROSPATIALE

UNE LONGE POUR SONDÉS SPATIALES EST À L'ESSAI

Tracter une sonde spatiale avec de simples fils d'aluminium, longs de plusieurs kilomètres... Sept ans après avoir imaginé ce procédé sans carburant, Pekka Janhunen, de l'Institut finlandais de météorologie, s'apprête à tester son premier prototype, à bord d'un satellite dont le lancement est prévu le 13 avril. Objectif: déployer un fil de 20 m, afin d'étudier sa résistance mécanique et son

comportement face aux particules solaires. Car une fois chargé électriquement, le fil devient un obstacle pour ces particules, qui s'y cognent et transmettent une partie de leur énergie cinétique à la sonde. D'après les calculs, une centaine de fils, longs d'une vingtaine de kilomètres et attachés à une sonde, suffirait à fournir une poussée de 1 newton. C'est un million de fois moins qu'un moteur à

ergols classique, mais dix fois plus que la voile solaire, censée prendre le relais au sortir des environs de la Terre. "L'idée est intéressante, mais le câble testé ne mesure que quelques mètres, et le changement d'échelle est loin d'être gagné d'avance", modère Jean-Yves Prado, du CNES, l'agence spatiale française. Prochains tests en 2014, avec une longe de 100 m. **B.R.**

ROBOTIQUE

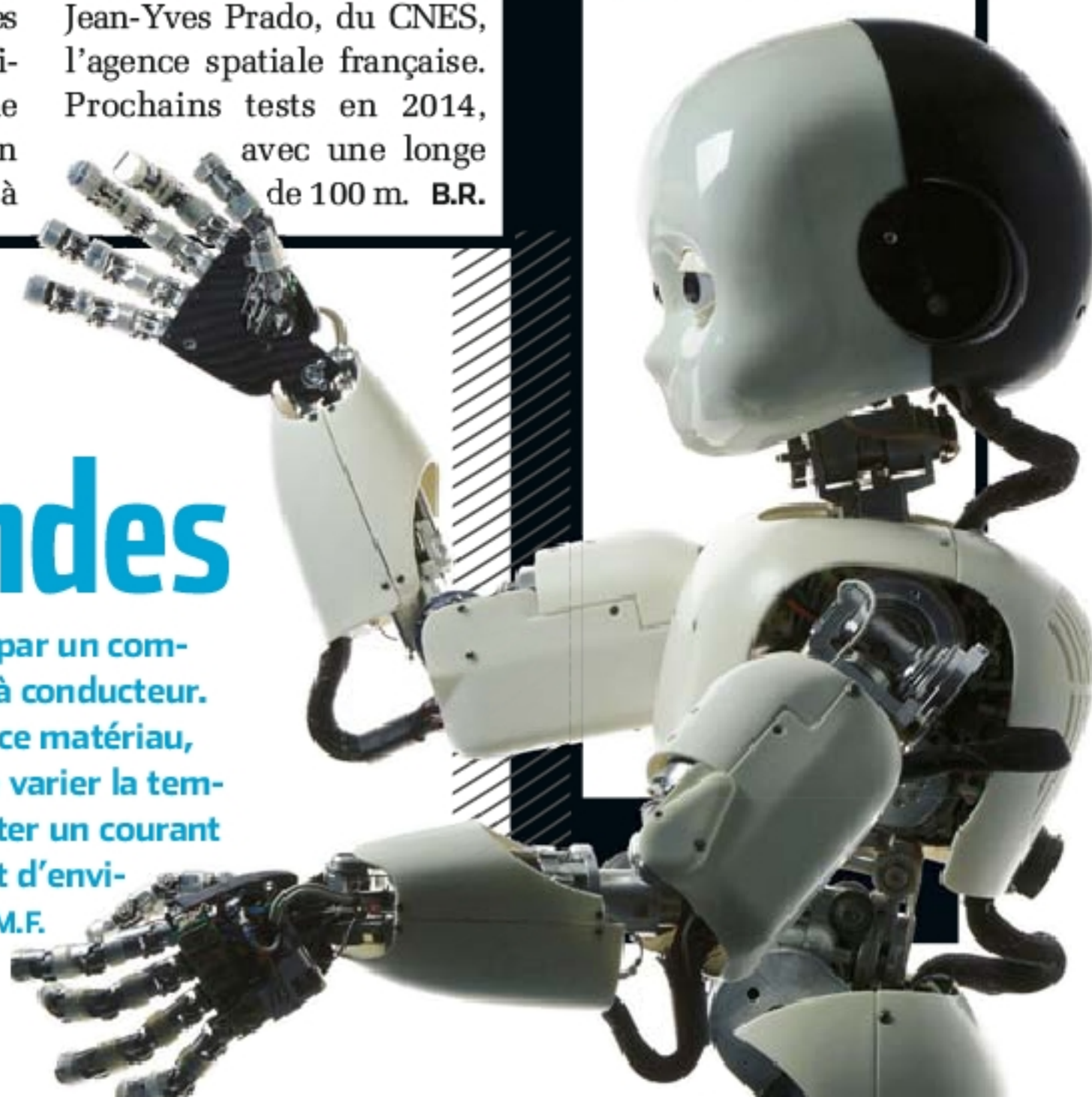
CE ROBOT COMPREND LE LANGAGE

Voici iCub, le premier robot androïde qui vous comprend! Inventé par des chercheurs de l'Inserm, du CNRS et de l'université Lyon-I, iCub possède un cerveau artificiel simplifié, qui reproduit certaines connexions humaines. Il peut apprendre, comprendre des phrases nouvelles, relier deux phrases et même anticiper leur fin! Il active jusqu'à 5000 neurones. "Ce prototype traite 500 à 90000 phrases, mais iCub pourra certainement généraliser son apprentissage à des millions d'autres", s'enthousiasme Peter Dominey, qui a dirigé sa conception à l'Inserm. **J.G.**

E.KULU/TARTU OBSERVATORY - M.BREGA/LOOK AT SCIENCES

20 picosecondes

Soit 0,02 milliardième de seconde: c'est le temps mis par un composé de sulfure de cuivre pour passer de l'état isolant à conducteur. En façonnant des disques de quelques nanomètres de ce matériau, une équipe de l'université Stanford a observé que faire varier la température engendrait un flot d'ions capable de transporter un courant électrique 1000 fois plus vite que prévu. Ce qui permet d'envisager de nouvelles batteries à la charge plus rapide. **M.F.**



OFFRE SPÉCIALE

100 ANS
SCIENCE & VIE

Abonnez-vous vite !

1 AN
12 NUMÉROS

35€
au lieu de 50,40€*



N°1 - Avril 1913



N°1147 - Avril 2013

ET

Tentez de
**GAGNER UN
ABONNEMENT**
de **100 ANS**
à Science & Vie

StudioVerte

A compléter et à renvoyer dans une enveloppe timbrée accompagné du règlement à Science & Vie - B341 - 60647 Chantilly cedex

BULLETIN D'ABONNEMENT À SCIENCE & VIE

☐ **Oui**, je m'abonne à Science & Vie pour 1 an (12 numéros) **pour seulement 35 € au lieu de 50,40 €* soit 30 % de réduction**

NOM : _____
PRÉNOM : _____
ADRESSE : _____
CODE POSTAL : _____ VILLE : _____
TÉL. : _____ Grâce à votre n° de téléphone (portable) nous pourrions vous contacter si besoin pour le suivi de votre abonnement.
E MAIL : _____ @ _____

Je souhaite bénéficier des offres promotionnelles des partenaires de Science & Vie (groupe Mondadori) ☐ C1147

Je joins mon règlement par :

☐ chèque bancaire ou postal à l'ordre de Science & Vie

☐  _____

Date d'expiration _____ Code crypto _____
(les 3 chiffres au dos de votre CB)

Date et signature obligatoire


*Prix public et prix de vente en kiosque. Offre valable pour un 1^{er} abonnement livré en France métropolitaine jusqu'au 31/12/13 et dans la limite des stocks disponibles. Je peux acquérir séparément chacun des numéros mensuels de Science & Vie au prix de 4,20 €. Conformément à la loi informatique et libertés du 6 janvier 1978, vous disposez d'un droit d'accès aux données vous concernant. Il vous suffit de nous écrire en indiquant vos coordonnées.

Service Abonnements - Science & Vie - 8 rue François Ory 92543 MONTROUGE Cedex. RCS B 452 791 262 - Capital : 1 717 360 €.

Grand jeu concours
**100^{ème} Anniversaire de
SCIENCE & VIE**

OUI, Je souhaite participer au tirage
au sort pour gagner un abonnement de
100 ans à Science & Vie

Extrait du règlement : 1. LA SOCIÉTÉ MONDADORI MAGAZINES France, Société par actions simplifiée, inscrite au registre du commerce et des sociétés de Nanterre sous le numéro 452 791 262, dont le siège social est sis au 8, rue François Ory - 92543 MONTROUGE CEDEX (ci-après la « Société Organisatrice »), organise du 01/03/2013 au 31/12/2013 inclus un jeu gratuit et sans obligation d'achat intitulé « Science & Vie 100 ans » (ci-après dénommé le « jeu »). Le jeu est ouvert à toute personne physique, majeure au jour de sa participation et résidant en France métropolitaine à l'exclusion des salariés de la Société Organisatrice et/ou des sociétés sous-traitantes ainsi que des membres de leur famille. Un tirage au sort parmi les bulletins réceptionnés sera effectué par Maître Manceau, huissier de justice à Paris, dépositaire du règlement, lequel peut être obtenu gratuitement en écrivant à l'adresse ci-dessous. (Timbre de demande de règlement et/ou de participation remboursé au tarif lent sur simple demande conjointe à l'envoi initial). Pour les participants via le site www.science-et-vie.com, les frais de connexion (à l'exclusion des connexions par câble, ADSL ou tout autre accès haut débit à Internet) seront remboursés sur la base forfaitaire de 0,5€ sur simple demande écrite à Science & Vie 100 ans - B342-60648 Chantilly Cedex (timbre remboursé au tarif lent en vigueur sur demande conjointe). Conformément à la loi "informatique et libertés" du 6 janvier 1978, tout participant dispose d'un droit d'accès, de rectification et de radiation des informations le concernant en écrivant à Science & Vie 100 ans - B342 - 60643 Chantilly Cedex.



SPÉCIAL 100 ANS

EN ROUTE VERS LE XXI^e SIÈCLE
LE MEILLEUR EST À VENIR

Depuis ses débuts, il y a cent ans, c'est peu dire que Science & Vie a vu le monde changer ! Et tout indique que les cent prochaines années ne seront pas moins riches en découvertes scientifiques, en innovations technologiques, en bouleversements de tous ordres... Voici ce qui ressort de notre dossier Spécial Centenaire qui, s'appuyant sur le siècle passé, prend résolument le pari de l'avenir. A l'horizon du xxi^e siècle, le meilleur est à venir... Oui, mais à la condition qu'il relève les défis qui l'attendent. Bienvenue dans un nouveau monde.

78 VERS UN NOUVEAU MONDE

Climat, population, ressources, biodiversité et modes de vie : panorama de la Terre de 1900 à 2100.

88 VERS DE NOUVEAUX PROJETS

Energie, transports, industrie, ressources et exploration : 20 grands chantiers parmi les plus prometteurs.

HORIZON 2100
LE DÉFI DE LA MAÎTRISE

104 VERS DE NOUVEAUX DÉBATS

Manipulation du climat, extra-terrestres, robotique... : 6 grandes polémiques du siècle.

HORIZON 2100
LE DÉFI DE LA DÉCISION

118 VERS DE NOUVELLES DÉCOUVERTES

Physique, biologie... : 18 chercheurs parient sur les découvertes à venir.

HORIZON 2100
LE DÉFI DE LA CONNAISSANCE

À

quoi ressembleront les 100 prochaines années? A l'heure où *Science & Vie* fête son siècle d'existence, pouvons-nous nous attendre à nourrir nos colonnes d'histoires aussi passionnantes que celles des cent ans passés? De nouvelles découvertes changeront-elles aussi profondément notre vision du monde que la

de nouvelles fascinantes terres vierges à explorer pour les chercheurs prêts à relever ce défi.

Deuxième conviction: le développement scientifique et technologique fera émerger dans la société de nouvelles questions, porteuses de grands débats. Des exemples? Nous en avons sélectionné six. Six questions éthiques qui ne se sont encore jamais posées jusqu'ici, mais qui seront inévitables à l'avenir tant certaines innovations interrogent la société tout entière. De quoi mieux cerner les défis que les politiques auront à relever pour mettre en place des processus de décisions équilibrés. A commencer par celui d'une confiance retrouvée dans les garanties fournies par les experts et les industriels, plusieurs scandales sanitaires et alimentaires ayant, en la matière, jeté pour le moins le doute.

Enfin, nous sommes convaincus que de grands projets verront le jour. Les cartons des ingénieurs en regorgent. A preuve, ceux que nous vous présentons dans ce dossier. Sachant que nous n'avons recensé ici que ceux qui nous ont

ET LE MONDE À VENIR, DÉJÀ,

découverte de l'ADN ou du big bang? Verra-t-on d'autres projets donner autant de sens au mot "exploit" que l'envoi d'un homme sur la Lune ou la première greffe du cœur? Des avancées scientifiques susciteront-elles autant de débats que ceux déclenchés par la procréation artificielle, la bombe atomique ou les OGM?

Sans doute le jeu de la futurologie est-il périlleux... Mais au moins sommes-nous persuadés d'une chose: le xxi^e siècle sera riche en révélations scientifiques. C'est ce qu'affirment les chercheurs que nous rencontrons au fil de nos articles, et qui nous ont confié les raisons de leur foi en l'avenir. Dans ce dossier spécial consacré à notre centenaire, nous avons donné la parole à une vingtaine d'entre eux, choisis parmi les meilleurs spécialistes de leur domaine. Bien sûr, aucun n'affiche de certitudes – comment prévoir ce qui est censé surprendre? Mais les écouter se prêter à cet impossible jeu de prédiction permet déjà d'imaginer l'espace des découvertes potentielles. Et de se convaincre que les cent ans passés ont beau être auréolés de prodigieuses découvertes, il ne manque pas

paru à la fois les plus crédibles, les plus utiles et les plus radicalement nouveaux dans cinq grands domaines – énergie, transports, industrie, ressources et exploration. Si certains sont plus spectaculaires que d'autres, tous portent en eux une même promesse, quoique chacun à sa manière: celle d'améliorer le monde. A condition cependant que les ingénieurs puissent relever le défi de la maîtrise de la complexité en tirant les leçons des grands chantiers du passé, que ces leçons soient bonnes, comme pour le grand accélérateur du Cern, ou mauvaises, comme pour la navette spatiale.



10 476 km

C'est la distance moyenne que parcourra chaque habitant en 2050.

92,5 ans

C'est l'espérance de vie record que devraient atteindre les Japonais en 2100.



Améliorer le monde? Mais de quel monde s'agira-t-il d'ici vingt, soixante, cent ans? Si tous les futurs sont possibles, tous ne sont pas envisageables. Car c'est l'un des nombreux héritages du xx^e siècle: l'art récent de la modélisation, associé à la compréhension toujours plus fine du monde, permet de prédire nombre d'évolutions. Ainsi, même si l'homme arrêta d'émettre des gaz à effet de serre, le réchauffement climatique se poursuivrait sur sa lancée: ce qui a déjà été injecté dans l'atmosphère n'a pas encore produit tous ses effets. De même, les enfants

50 jours

C'est la durée, par année, de canicule supplémentaire qu'il faudra supporter en 2100 sur l'ensemble du globe.



0,19 ha

Ce sera la surface de terres cultivables par personne en 2050.



SE PROFILE...

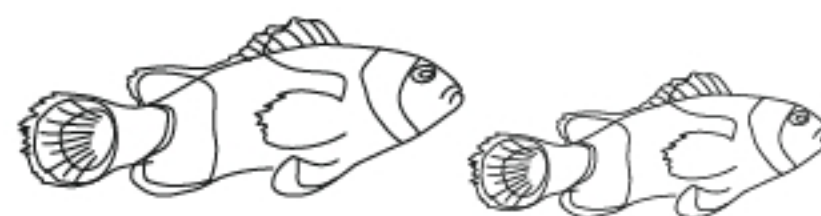
d'aujourd'hui seront les parents de demain: l'humanité ne comptera pas des dizaines de milliards d'habitants à la fin du siècle, mais plus ou moins 10 milliards. Plongez-vous dans les pages qui suivent: vous découvrirez ce à quoi ressemblerait le monde lorsque *Science & Vie* est né, au début du xx^e siècle, et ce vers quoi il tendra à ressembler d'ici à la fin du xxi^e.

UN ÉVENTAIL D'HORIZONS POSSIBLES

Comment ont évolué et comment évolueront le climat, la population, les ressources, la biodiversité et les modes de vie? Si la réponse à la première partie de cette question est aisée, car l'histoire est déjà écrite et les données accessibles, répondre à la seconde est peut-être moins hasardeuse qu'il n'y paraît, même si elle ne peut prétendre avoir valeur de certitude. Pour entrevoir le détail de ces horizons possibles, nous avons puisé aux sources de ce que la science sait de demain, en plongeant dans des centaines de projections émanant de chercheurs ou d'institutions internationales. Toutes ces projections reposent sur différents scénarios à

partir desquels des trajectoires sont empruntées, laissant à l'humanité la possibilité de prendre telle voie plutôt qu'une autre. Bien sûr, des événements imprévisibles pourraient bouleverser le tableau dressé. Mais tout porte à penser que, dans cent ans, l'espérance de vie des Japonais atteindra un record, de même que la productivité agricole ou la taille des poissons... Tout laisse aussi penser que, en de nombreux domaines, le xxi^e siècle porte en lui déjà bien des défis.

Au final, à grands coups de courbes, de cartes et de chiffres, les premières pages de ce dossier dessinent le monde que le passé nous a laissé en héritage. Et les pages suivantes esquissent ce que nous pourrions en faire. De grandes découvertes, de grands débats, de grands projets... C'est à nous de tirer le meilleur de ce monde en devenir.



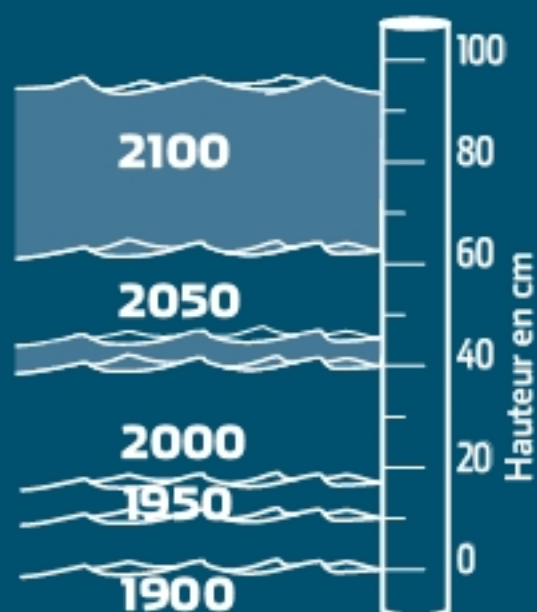
-22 %

Ce sera le taux de diminution de la taille des poissons, en réaction à une hausse de la température du globe de 1 °C.

Océans

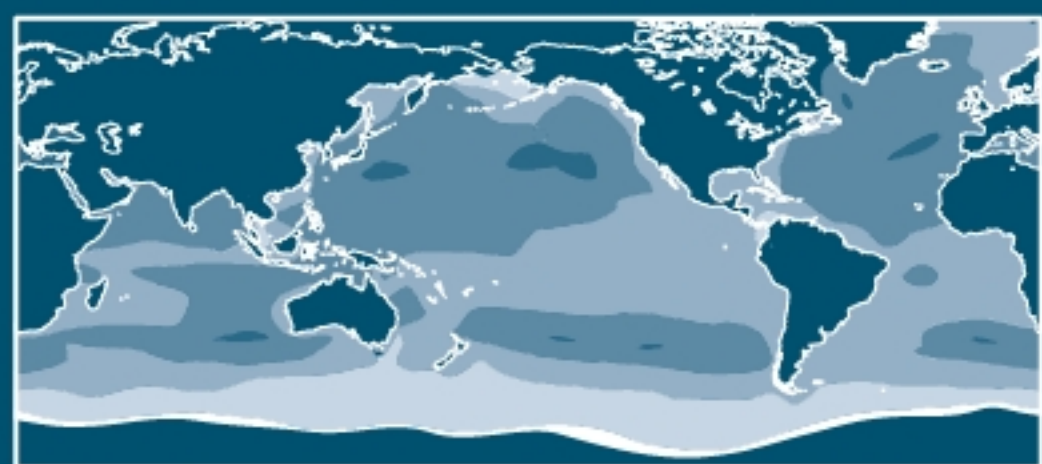
La montée du niveau des mers s'accélère

L'augmentation de la température de la surface des océans, ainsi que la fonte des glaciers et des calottes polaires devraient entraîner une élévation du niveau des mers de plusieurs dizaines de centimètres.



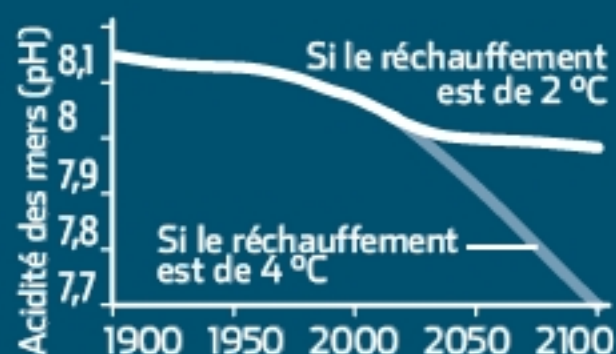
Les vagues vont changer de taille

Des modifications du régime des vents pourraient provoquer une réduction ou une augmentation de la hauteur des vagues.



Des océans très acides

La hausse de la teneur en CO₂ de l'air s'accompagnera d'une acidification des mers... qui provoquera la dissolution des coquilles de certains organismes marins.



Glaciers

Il n'y aura plus de banquise durant l'été

L'océan Arctique pourrait ne plus avoir de glace de mer en septembre à partir du milieu du siècle.



50 %

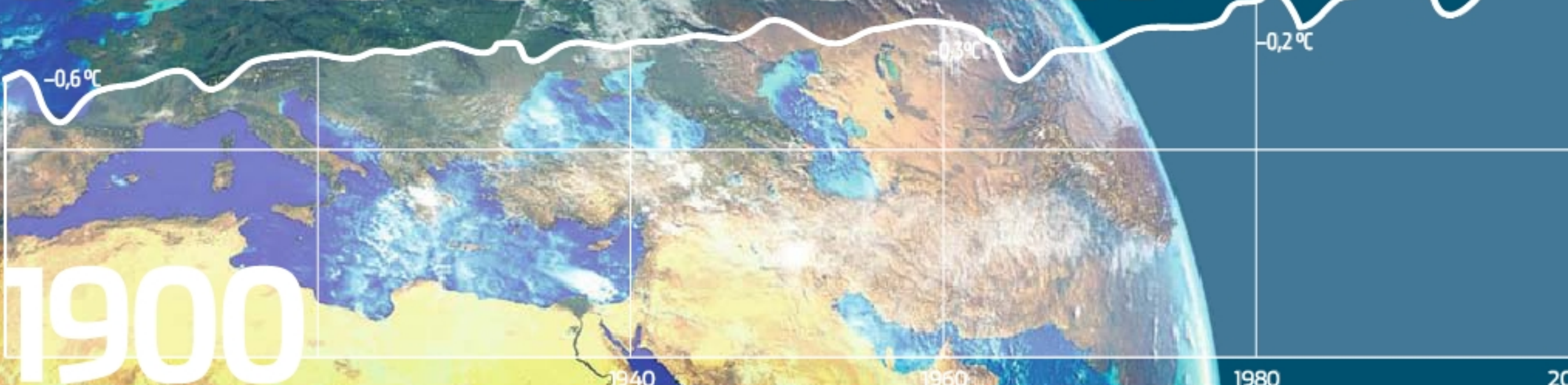
C'est le pourcentage de petits glaciers de montagne (surface inférieure à 5 km²) qui auront disparu dans le monde d'ici à 2100. Ce pourrait même être, en Europe, 90 % des glaciers des Alpes.

Le pergélisol recule partout

Plus de la moitié de la surface du pergélisol pourrait avoir dégelé d'ici à 2100. Ce qui induirait la libération d'importantes quantités de carbone dans l'atmosphère, un phénomène qui accélérera encore le réchauffement.



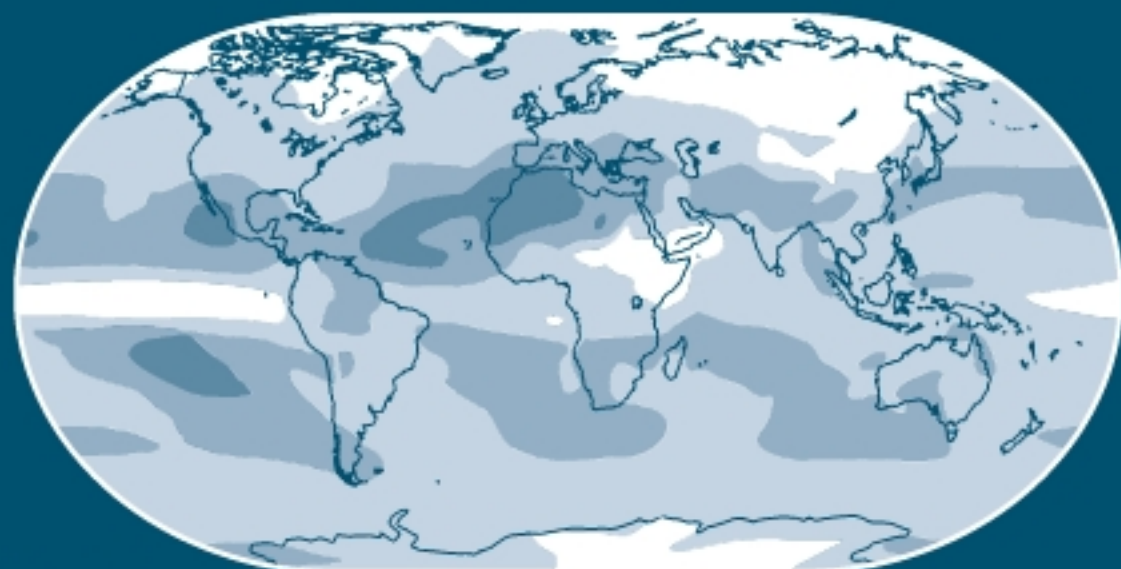
VERS UN CLIMAT PLUS CHAUD...



Atmosphère

Un régime des précipitations de plus en plus déséquilibré

Les hautes et moyennes latitudes de l'hémisphère Nord devraient recevoir plus de pluie qu'aujourd'hui, tandis que le bassin méditerranéen serait encore moins arrosé.

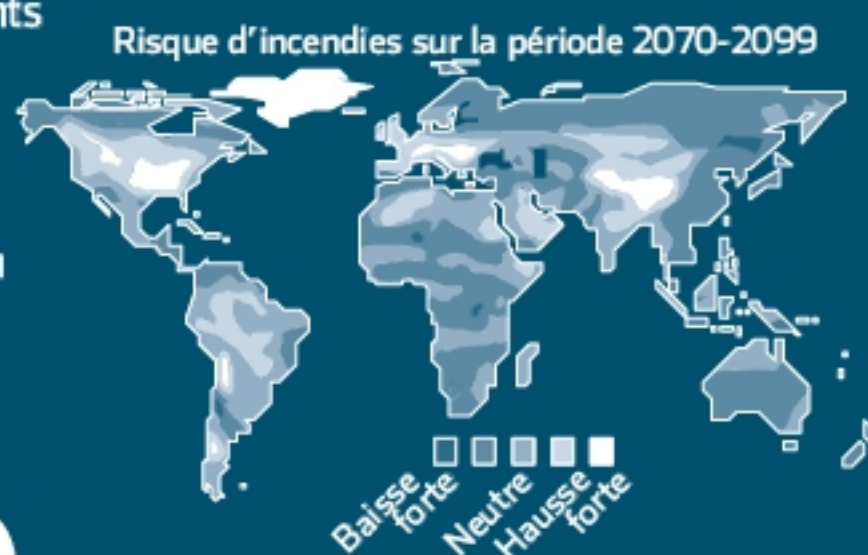


Modification des précipitations ■ -60 à -30% ■ -30 à 0% ■ +0 à 30% ■ +30 à 60%

Continents

Un risque d'incendies qui se déplace

Les changements climatiques devraient se traduire par un risque accru de feux de forêt en Europe et en Amérique du Nord.



110 microgrammes

C'est, par mètre cube d'air, la concentration d'ozone qui, sur le territoire français, pourrait être relevée à l'été 2100 (près du double d'aujourd'hui).

39 %

Telle est la proportion de terres qui pourraient connaître des conditions climatiques inédites.

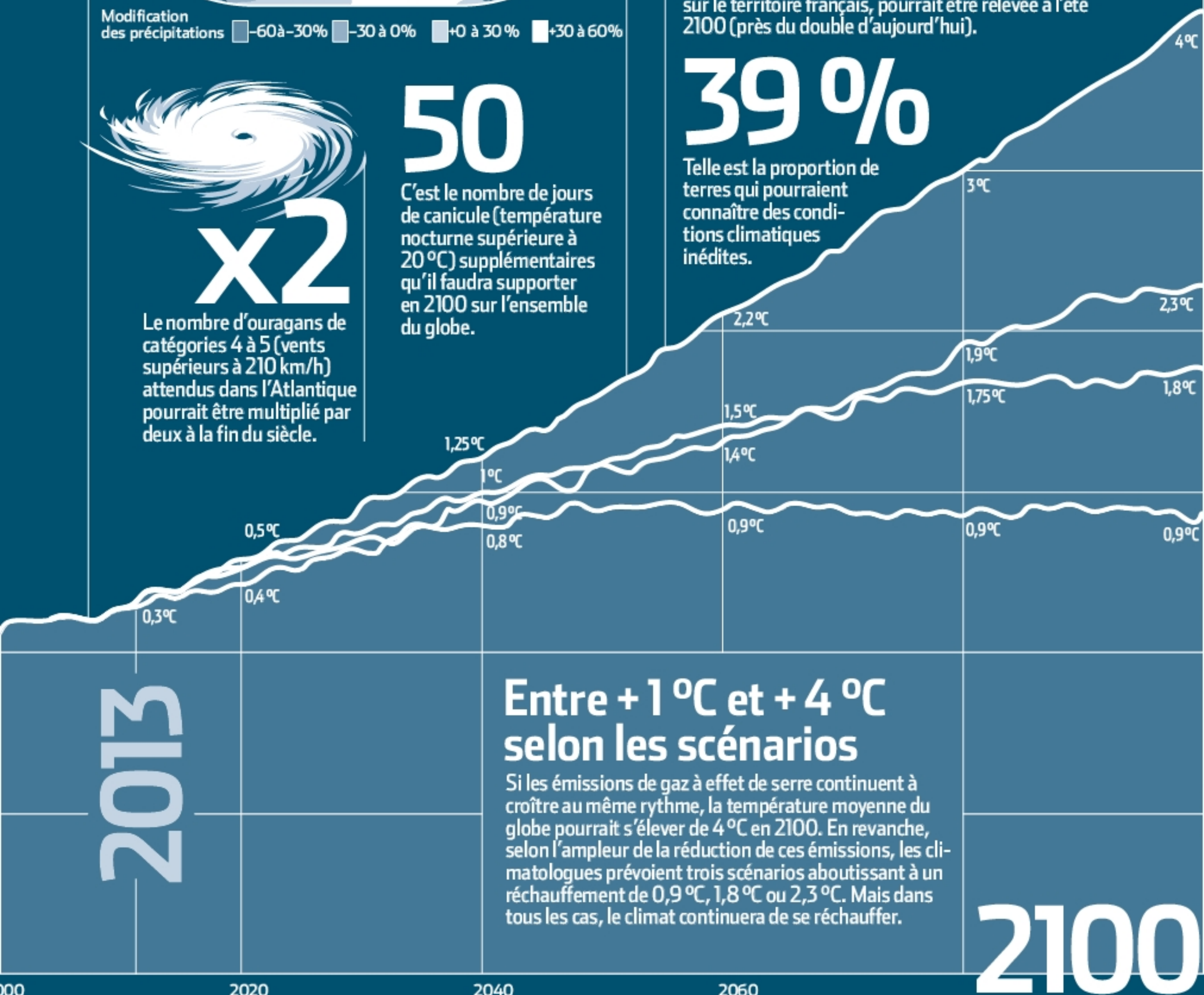


x2

Le nombre d'ouragans de catégories 4 à 5 (vents supérieurs à 210 km/h) attendus dans l'Atlantique pourrait être multiplié par deux à la fin du siècle.

50

C'est le nombre de jours de canicule (température nocturne supérieure à 20 °C) supplémentaires qu'il faudra supporter en 2100 sur l'ensemble du globe.



Entre +1 °C et +4 °C selon les scénarios

Si les émissions de gaz à effet de serre continuent à croître au même rythme, la température moyenne du globe pourrait s'élever de 4 °C en 2100. En revanche, selon l'ampleur de la réduction de ces émissions, les climatologues prévoient trois scénarios aboutissant à un réchauffement de 0,9 °C, 1,8 °C ou 2,3 °C. Mais dans tous les cas, le climat continuera de se réchauffer.

2100

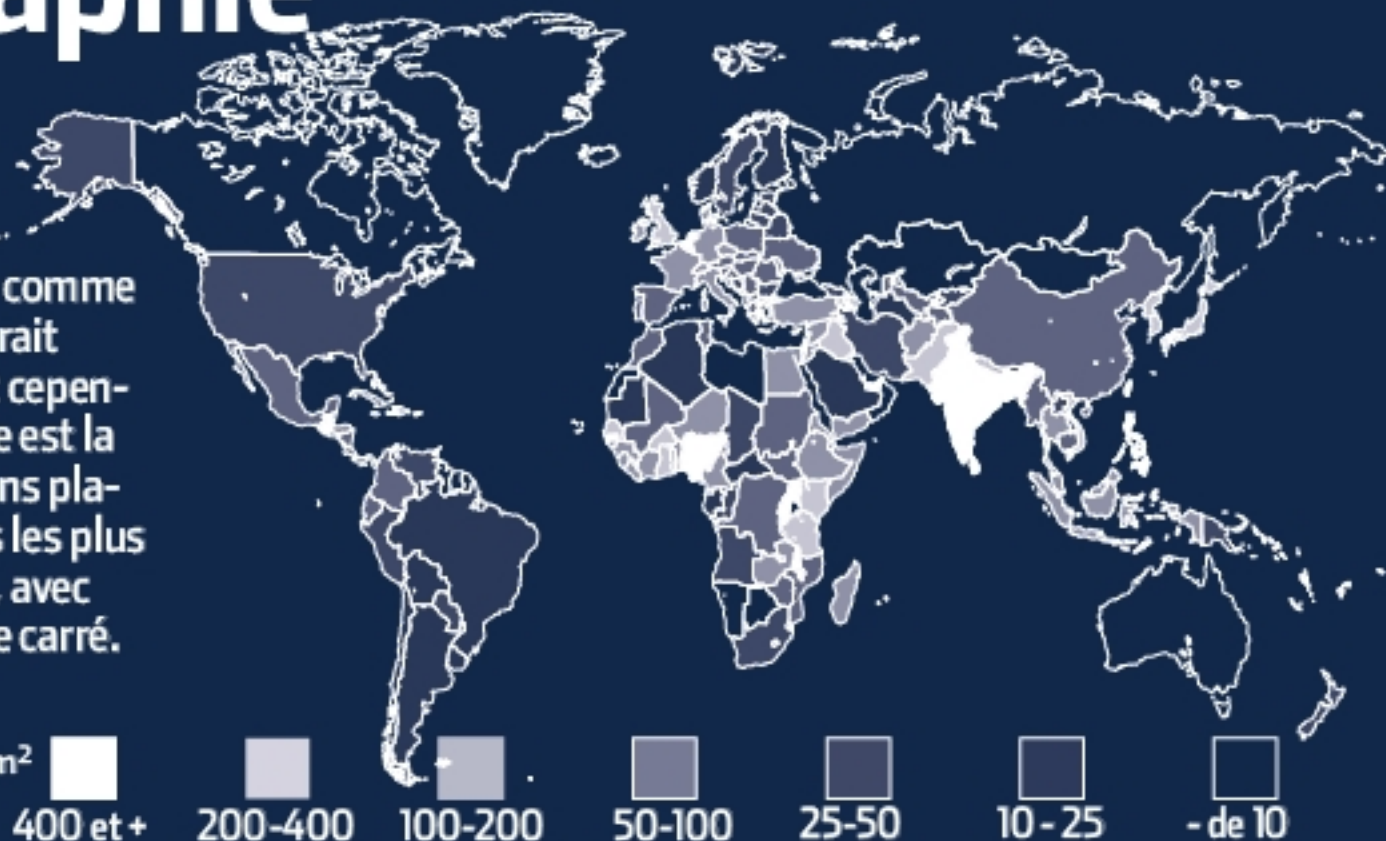
SOURCES: GIEC; NATURE CLIMATE CHANGE (2012); BANQUE MONDIALE (2012); NSIDC (2013); NATURE GEOSCIENCE (2011); TELLUS (2011); NATURE CLIMATE CHANGE (2010); PLOS ONE (2009); ENVIRONMENTAL SCIENCE & POLICY (2010); PNAS (2007).



Démographie

L'explosion aura lieu en Afrique

Alors que la densité de population diminue en Chine comme en Europe, celle de l'Inde devrait continuer d'augmenter. C'est cependant en Afrique que la hausse est la plus importante : les prévisions placent le Nigeria parmi les pays les plus densément peuplés en 2100, avec 790,2 habitants au kilomètre carré.



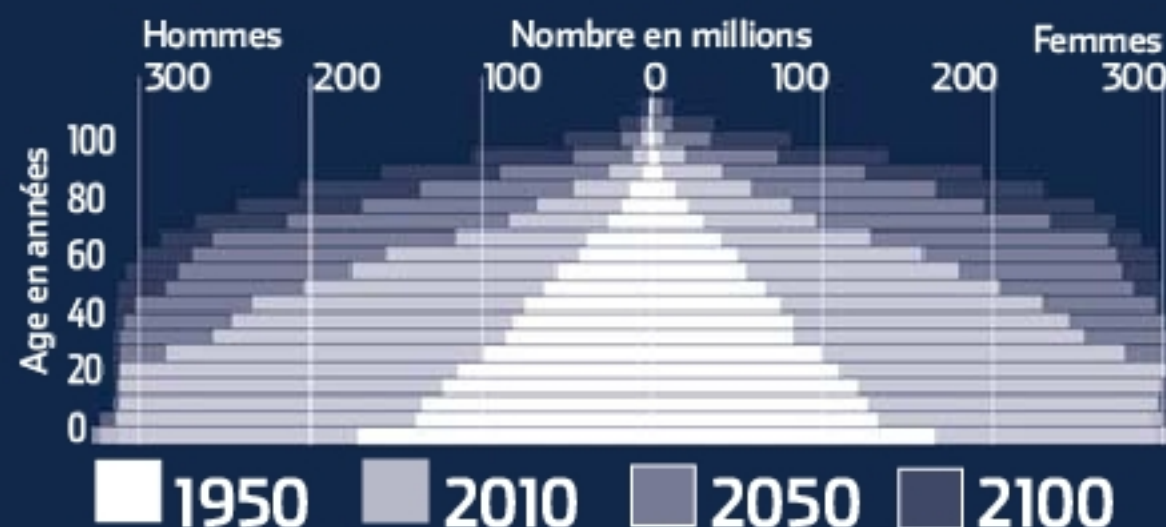
De moins en moins d'enfants par femme

La diminution du nombre d'enfants par femme devrait ralentir au cours de ce siècle.



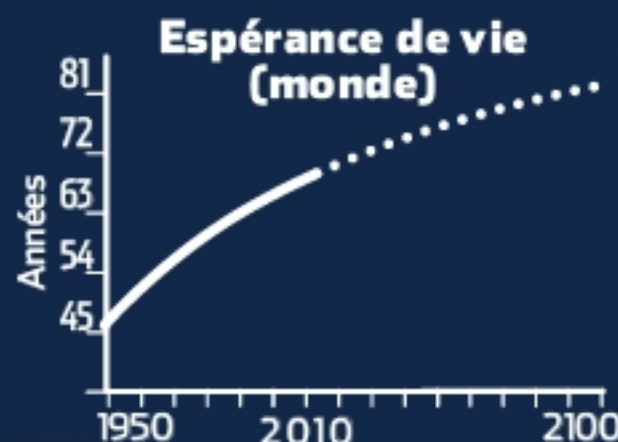
Tous les âges cohabiteront

En 2100, la pyramide des âges mondiale devrait prendre partout la forme qu'elle a aujourd'hui dans les pays riches, soit autant d'individus de 20, 40 ou 60 ans. L'âge médian de la population mondiale serait 41,9 ans.



On vivra de plus en plus vieux

L'espérance de vie devrait fortement augmenter, en particulier dans les pays en développement, où elle se rapprochera fortement de celle des pays riches. L'espérance de vie la plus faible prévue pour 2100 est ainsi de 74,5 ans, au Sierra Leone (48,5 ans en 2013).



92,5 ANS

C'est l'espérance de vie record que devrait atteindre le Japon en 2100.

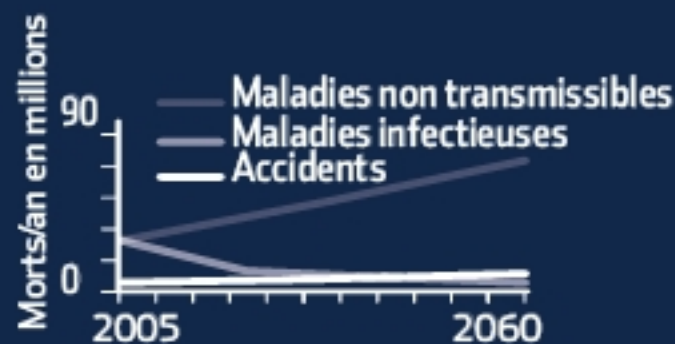
VERS 10 MILLIARDS D'INDIVIDUS...



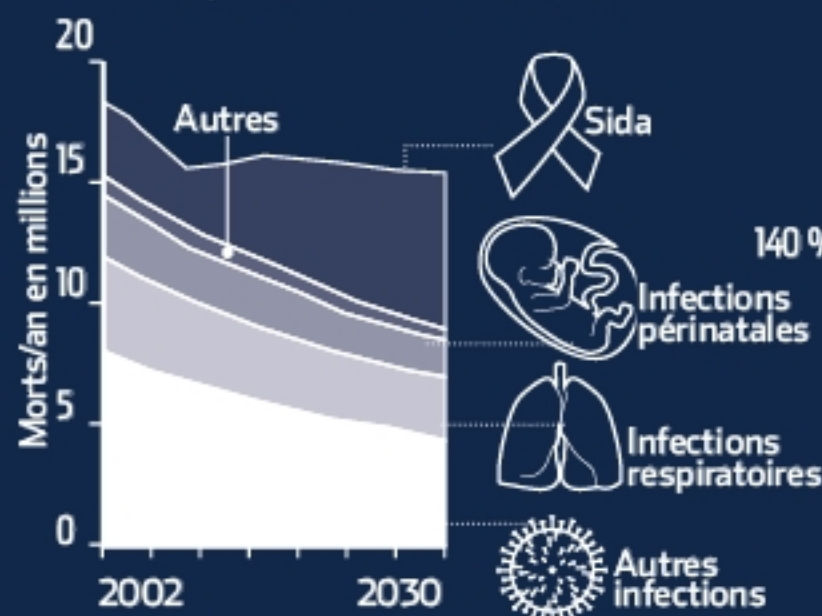
Santé

Les maladies non transmissibles vont s'étendre au Sud

Si la mortalité liée aux maladies infectieuses continue de baisser – elles ne causent plus que 5 % des décès en 2060 –, les morts dues aux maladies non transmissibles (diabète, cancers...) vont augmenter, en raison de la hausse de l'espérance de vie et de l'occidentalisation du mode de vie des populations du Sud.

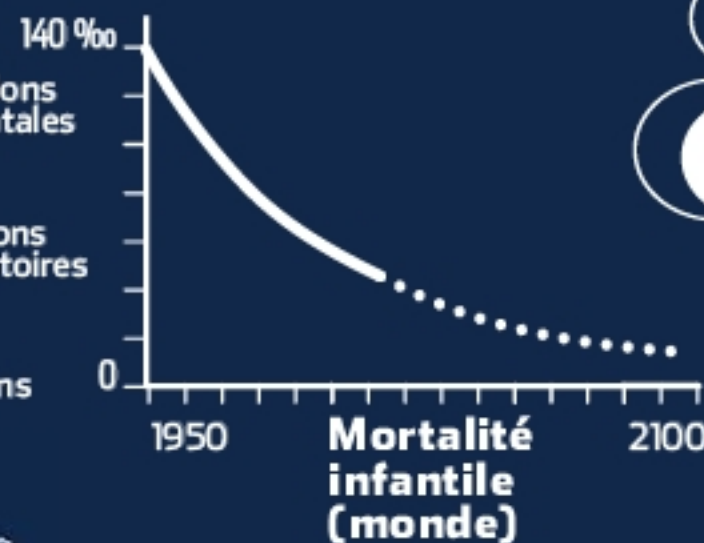


Maladies transmissibles



Des naissances plus sûres

La mortalité infantile devrait continuer de chuter, grâce à un meilleur accès aux soins périnataux dans les pays pauvres.



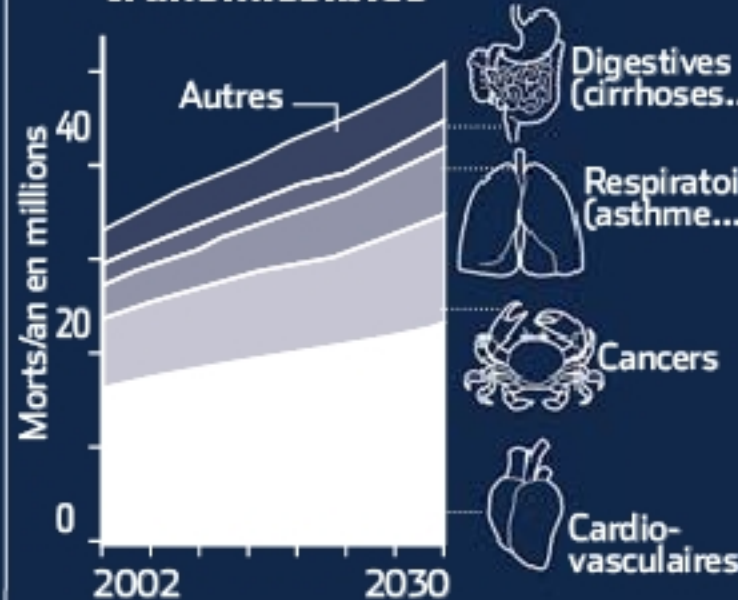
33‰

C'est le taux de mortalité infantile le plus élevé attendu en 2100, en Afghanistan.

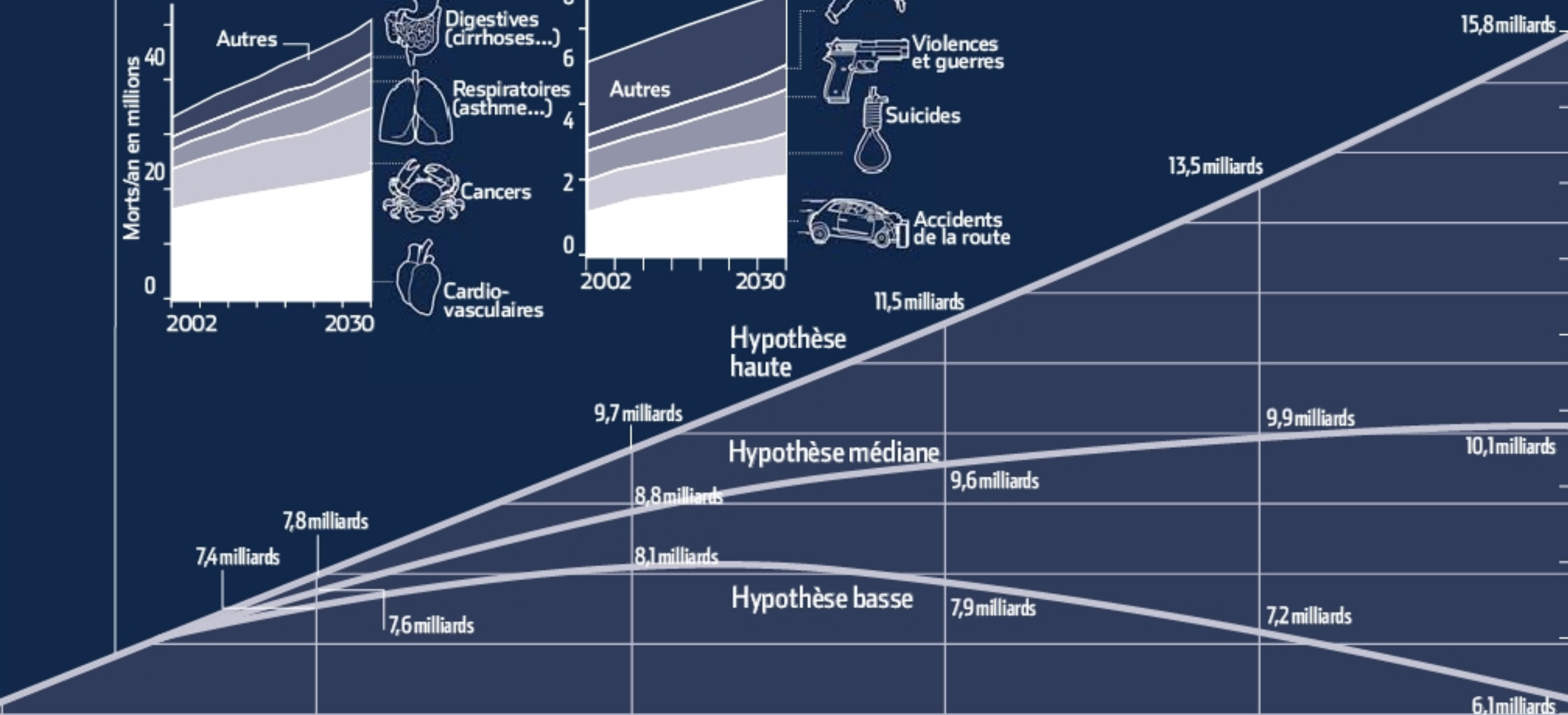
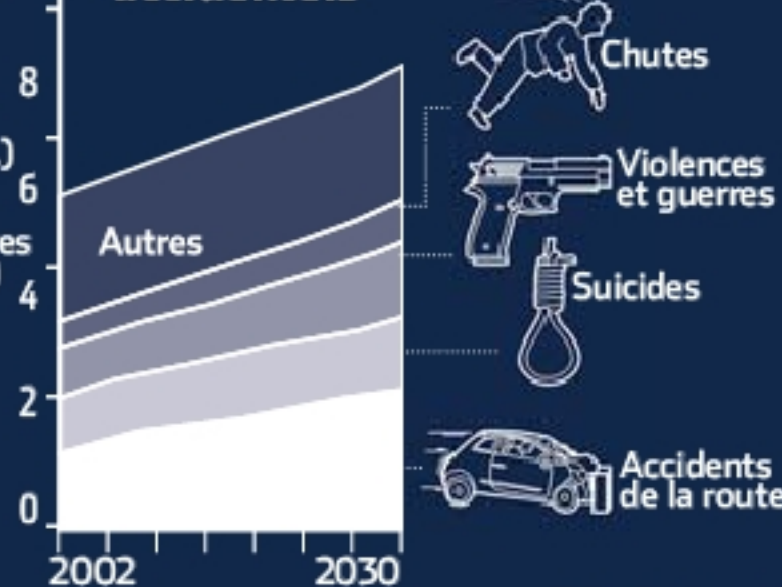


C'est, en millions, le nombre de morts dues à la pollution prévu pour 2050, contre 1 million en 2004.

Maladies non transmissibles



Décès accidentels



... à 4 ou 6 milliards près

Dix milliards d'humains : c'est le scénario principal envisagé par l'Onu en 2011, sur la base d'une baisse de la fécondité à 2,17 enfants par femme en 2050. Deux autres scénarios sont cependant envisagés, l'un prévoyant un maximum de 2,67 enfants par femme, l'autre un minimum de 1,67.

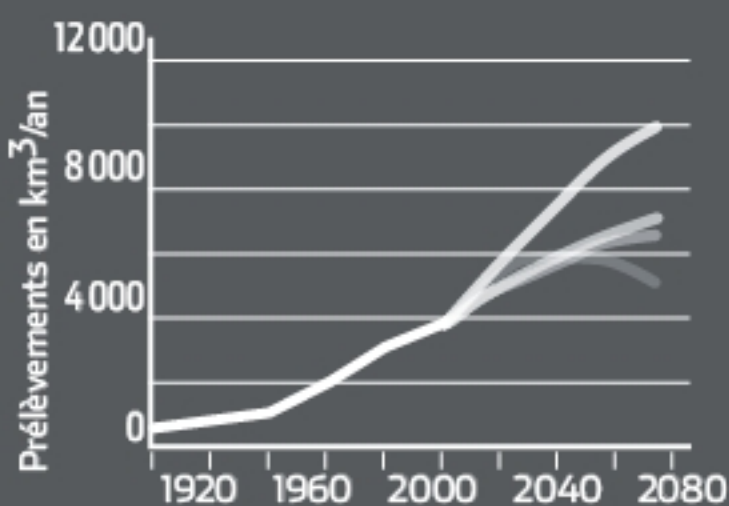
2013

2100

Eau

Sa consommation va presque doubler

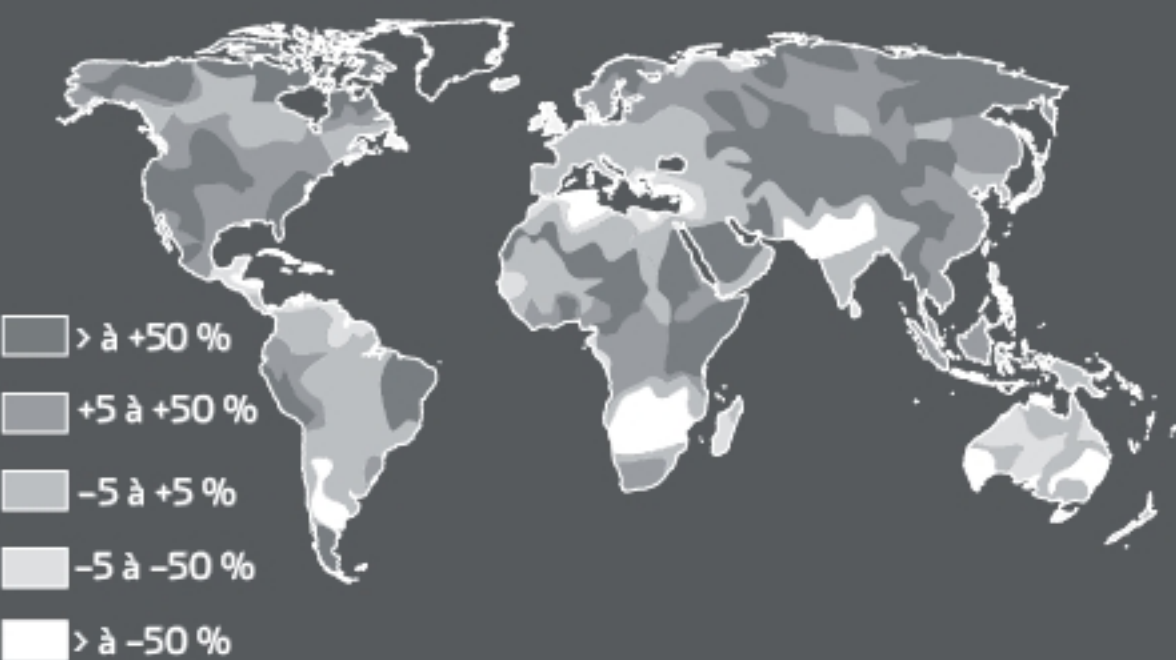
Selon les 4 scénarios socio-économiques envisagés, il faudra pomper près de deux fois plus d'eau douce en 2080 qu'aujourd'hui. Plus de la moitié de cette eau servira à l'irrigation des terres agricoles.



Un accès de plus en plus déséquilibré

Les changements climatiques vont modifier, à la baisse ou à la hausse selon les régions, les quantités d'eau douce disponible. Alors que l'Inde et l'Afrique verront leurs besoins fortement augmenter du fait de leur croissance démographique, l'accès à l'eau devrait y devenir plus difficile.

Modification de la disponibilité de l'eau en 2100

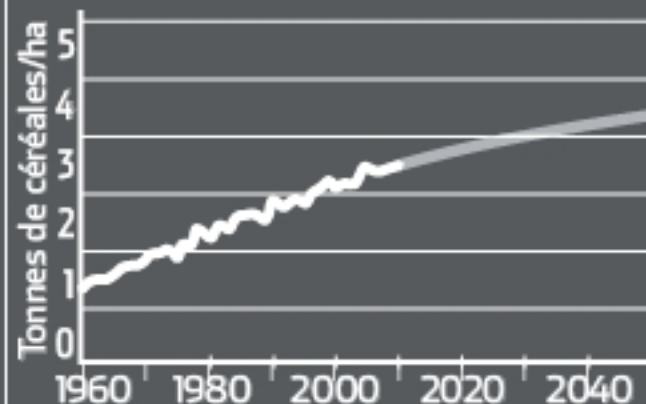


M. KONTENTE - G. CIRADE

Nourriture

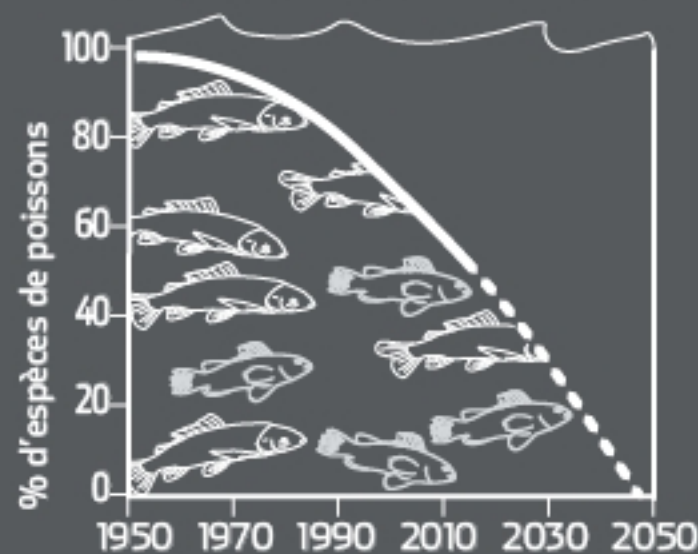
Les rendements devront croître

Nourrir 9 milliards de personnes nécessitera d'améliorer les rendements agricoles. Ceux-ci devraient progresser, mais à un rythme moindre que par le passé. La surface des terres cultivées ne devrait, elle, que peu augmenter.



Des stocks de pêche extrêmement menacés

En extrapolant la tendance déjà observée depuis les années 1950, la surpêche pourrait entraîner l'effondrement total des stocks de poissons dans les océans dès l'année 2048.



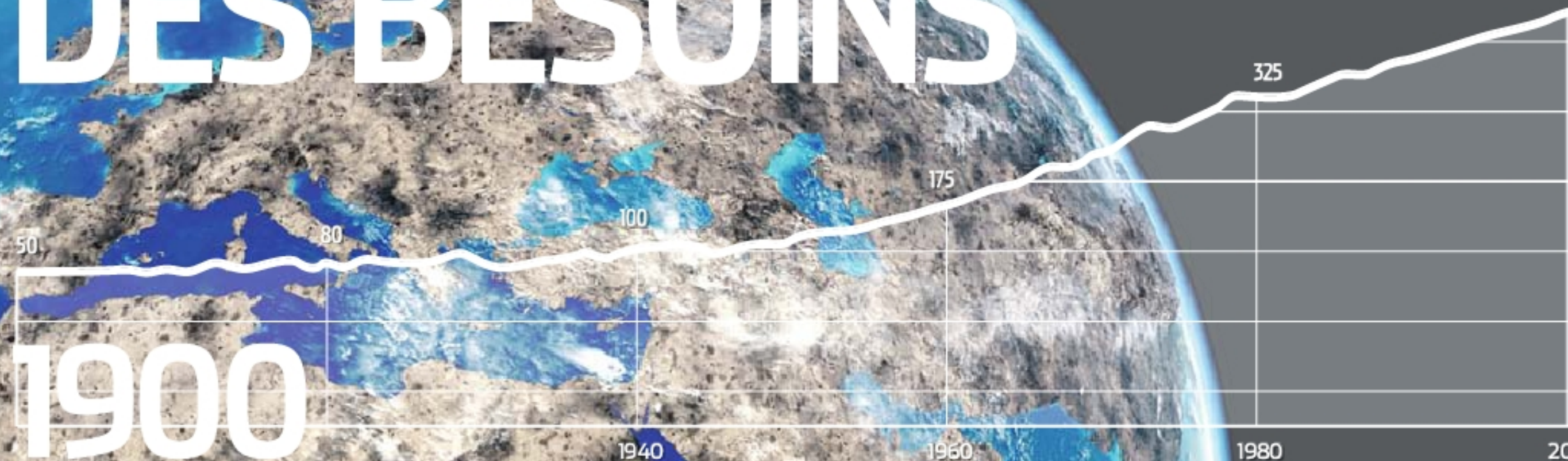
Surface cultivable par personne



x2

La production de viande devrait doubler dans le monde d'ici à 2050, atteignant 455 millions de tonnes.

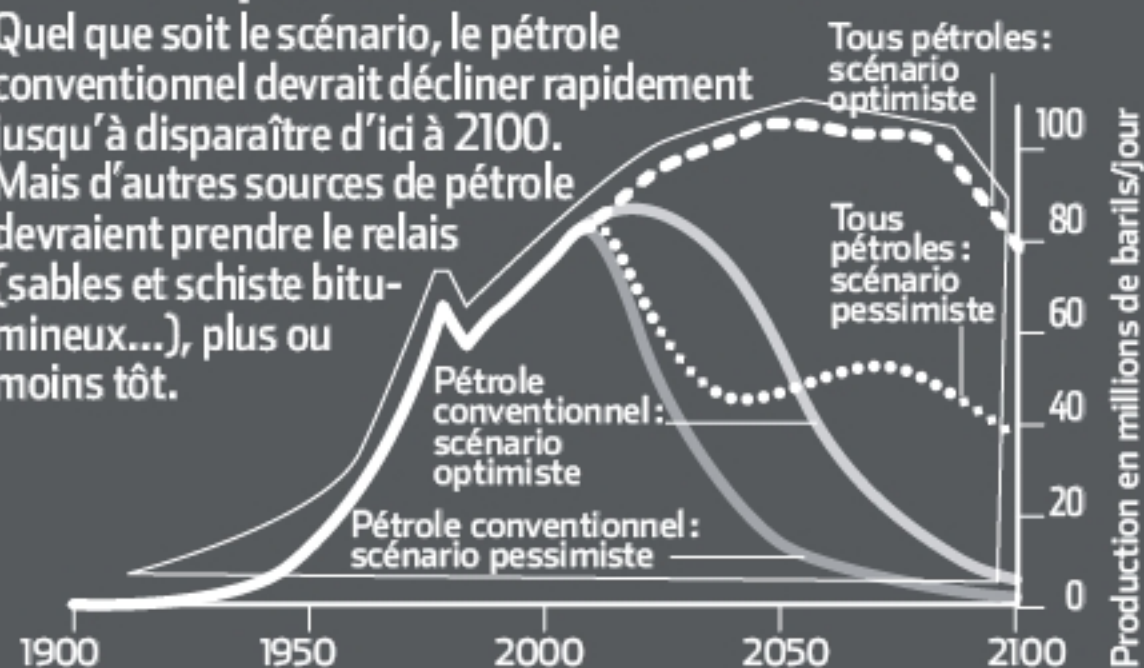
VERS L'EXPLOSION DES BESOINS



Sources d'énergie

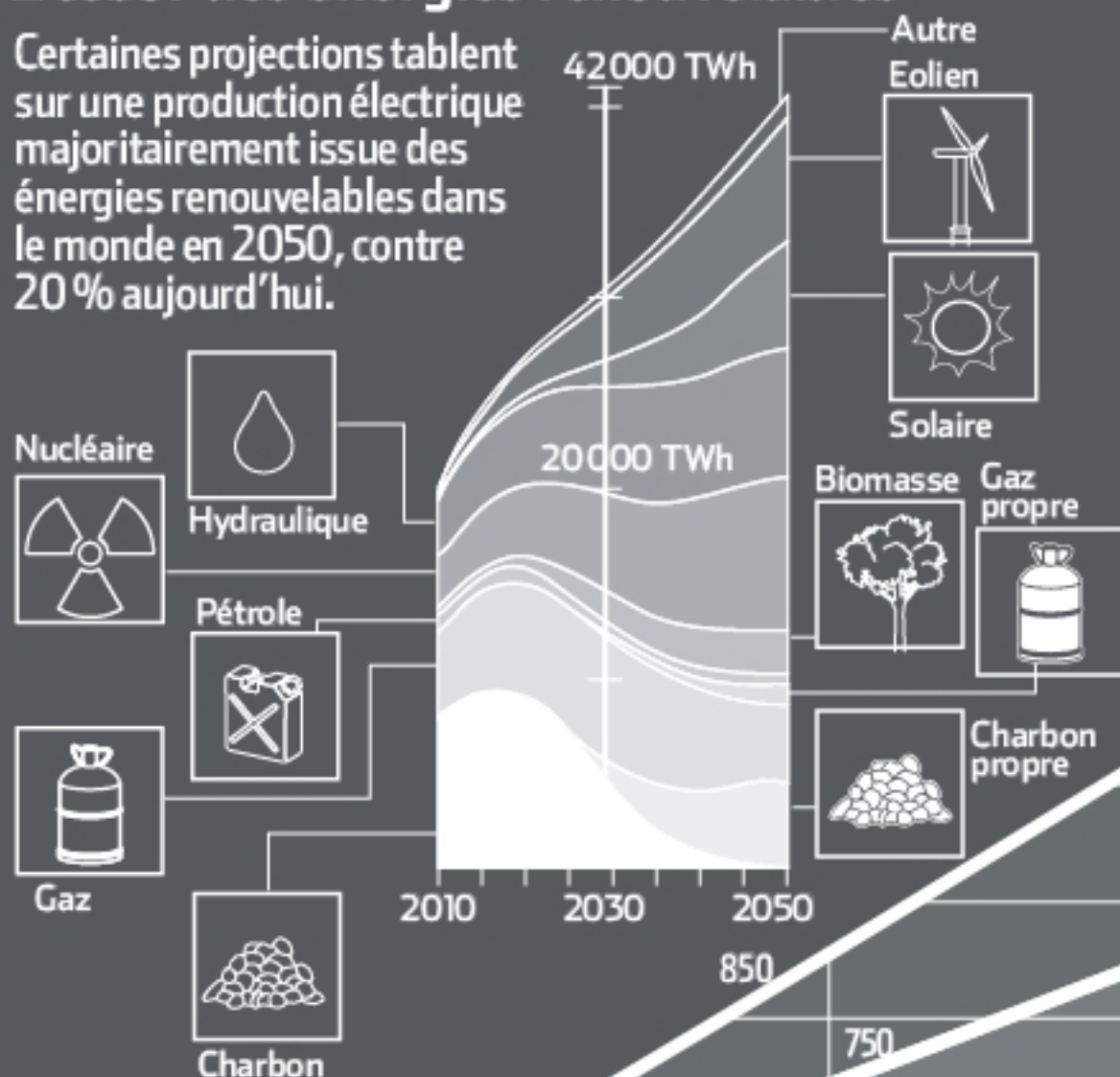
La fin du pétrole conventionnel

Quel que soit le scénario, le pétrole conventionnel devrait décliner rapidement jusqu'à disparaître d'ici à 2100. Mais d'autres sources de pétrole devraient prendre le relais (sables et schiste bitumineux...), plus ou moins tôt.



L'essor des énergies renouvelables

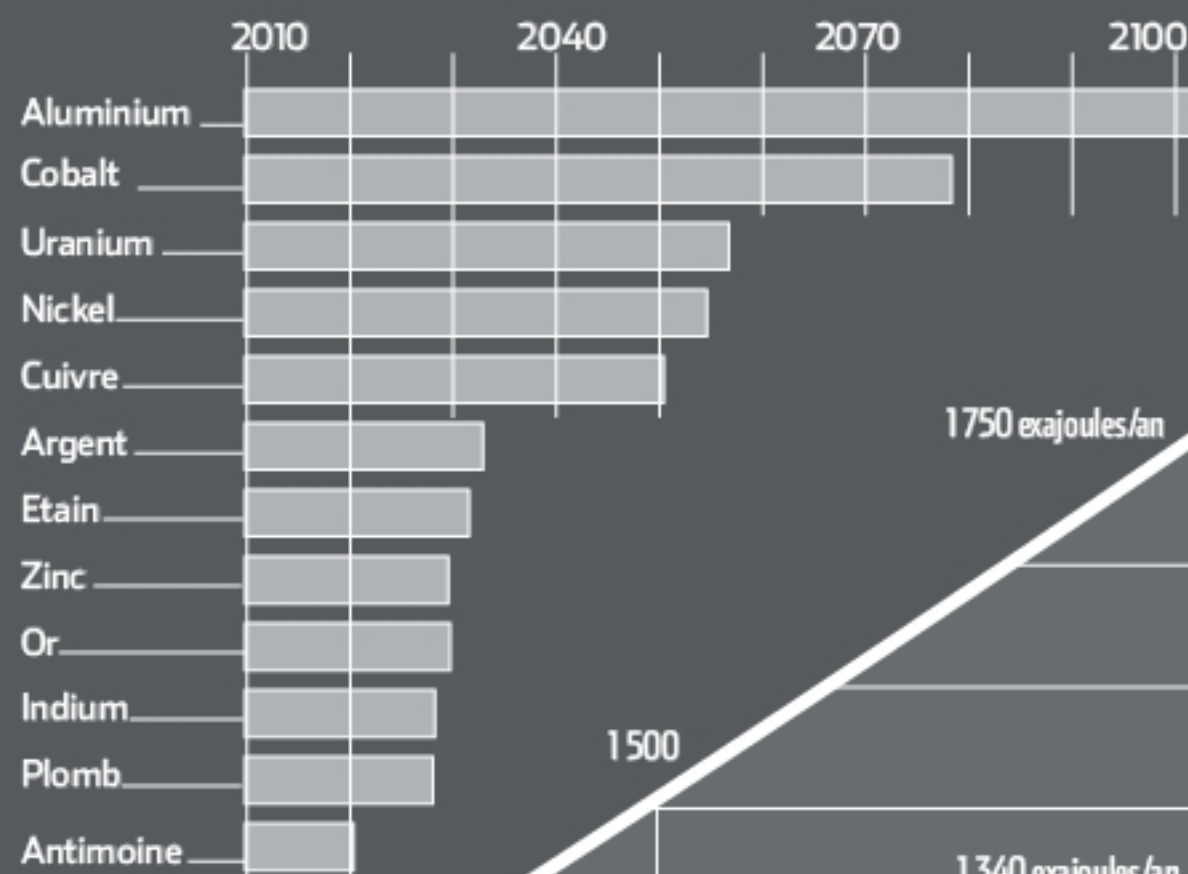
Certaines projections tablent sur une production électrique majoritairement issue des énergies renouvelables dans le monde en 2050, contre 20 % aujourd'hui.



Minerais

Il faudra découvrir de nouveaux gisements

Pour nombre de minerais, les gisements exploitables aujourd'hui ne permettront, au rythme actuel de consommation, de couvrir que quelques décennies de demande. Un effort d'exploration devrait être engagé, et de nouvelles technologies d'exploitation développées.



Les besoins en énergie vont au moins doubler

A partir de trois scénarios de croissance économique et de développement technologique différents, les modèles ont permis d'évaluer les besoins énergétiques de la population mondiale en 2100 : ceux-ci pourraient être multipliés par deux, voire par quatre, et atteindre 1750 exajoules (10^{18} J) par an.

2013

2100

SOURCES : WORLD ENERGY ASSESSMENT (2000) ; MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT (2005) ; HYDROLOGICAL SCIENCE (2008) ; FAO (2011) ; SCIENCE (2006) ; ENERGY POLICY (2010) ; IEA (2012) ; USGS (2013).



Faune et flore

Des menaces de plus en plus localisées

Les divers écosystèmes de la planète sont inégalement altérés, mais tous ont été modifiés par l'homme. Certaines régions sont déjà fragilisées avec des espèces devenues rares, comme sur le pourtour de la Méditerranée ou dans une partie de l'Afrique.

■ Critique ou menacé ■ Vulnérable ■ Assez stable et intact ■ Pas de menace permanente

La carte de l'état actuel des écosystèmes



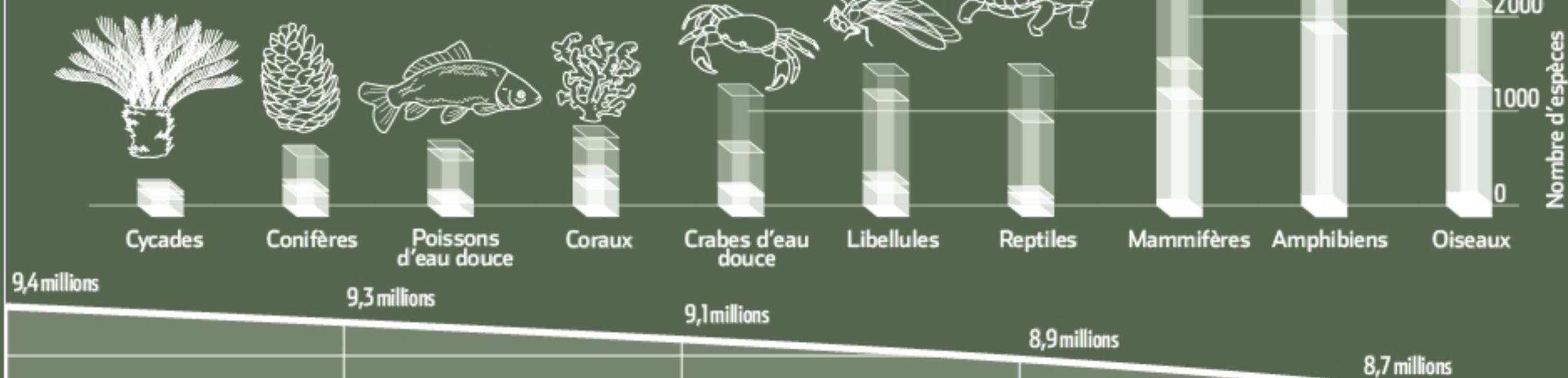
Des milliers d'espèces vouées à disparaître

Tous les groupes d'espèces ne sont pas menacés de la même façon. Très diversifiés, les oiseaux sont proportionnellement beaucoup moins touchés que les amphibiens. Et les mammifères, malgré le risque d'extinction d'espèces emblématiques, résistent bien.

Statut des espèces
■ Pas de données
■ Pas de menace
■ Menace proche
■ Menacée
■ Éteinte

0,25

Taux d'extinction global des espèces au XX^e siècle



VERS UNE CRISE DE LA BIODIVERSITE

1900

1940

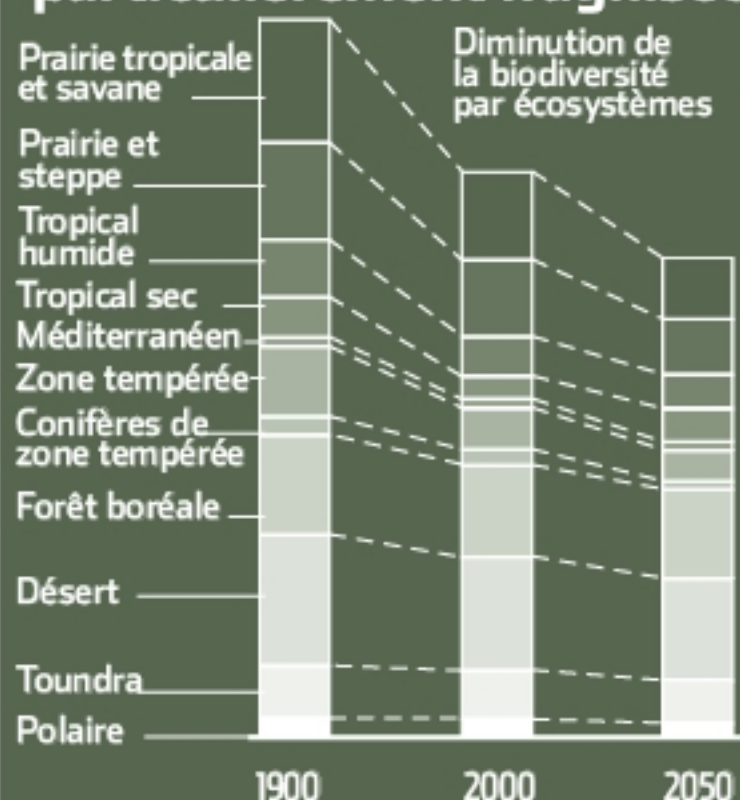
1960

1980

2000

Ecosystèmes

Zones tropicales et tempérées seront particulièrement fragilisées



En un siècle, les écosystèmes ont perdu près de 20 % de leur richesse, et la tendance va se poursuivre. Savane, steppe, forêts tropicale et boréale seront les plus touchées, alors que les écosystèmes désertiques et polaires seront quasiment épargnés.

La majorité des paysages pourrait changer

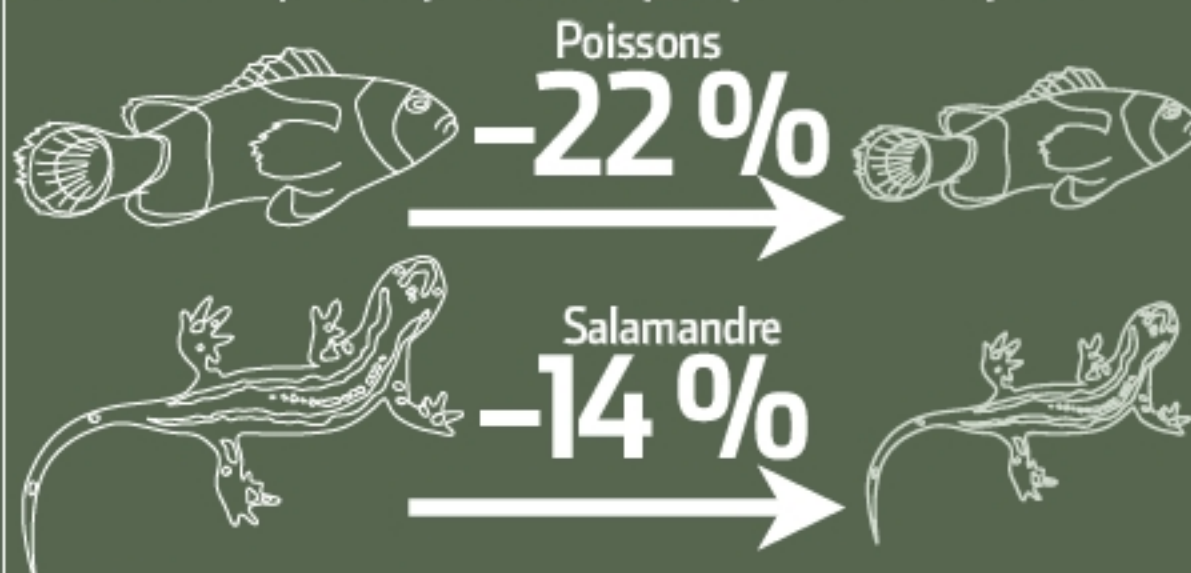
D'ici à 2100, l'évolution du climat, entre autres, aura modifié la plupart des paysages actuels. Les écosystèmes de type prairie, savane ou méditerranéen seront les plus touchés.



Adaptation

Certains organismes vont rétrécir...

Les organismes s'adapteront au réchauffement climatique en diminuant leur taille. Pour 1°C de hausse, poissons et salamandres compteront parmi ceux qui rapetisseront le plus.



... d'autres voir augmenter leurs besoins énergétiques

Chez les poissons, les insectes et les reptiles, une hausse de la température du globe de 1°C accélérera leur métabolisme de 10 % minimum. Ce qui accroîtra leurs besoins alimentaires.



6,1 5

C'est, en kilomètres par décennie, le rythme de déplacement de la faune et de la flore face au réchauffement climatique.

C'est, par décennie, le nombre de jours de croissance en plus provoqué par le réchauffement climatique chez les espèces animales et végétales. Elles se réveilleront plus tôt et entreront en sommeil plus tard.

2013

Le nombre d'espèces pourrait être divisé par 2

Estimée autour de 10 millions d'espèces (dont seules 1,8 million sont connues), la biodiversité ne cesse de diminuer. Selon l'importance qu'ils accordent au réchauffement, à l'impact de l'homme et aux capacités d'adaptation des différentes espèces, les scénarios les plus optimistes envisagent une baisse relativement faible du nombre d'espèces (d'environ 25 %), mais certains sont beaucoup plus pessimistes...



2100

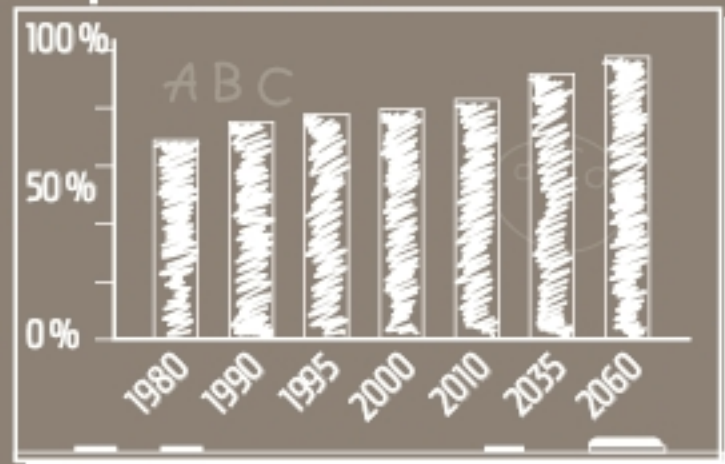


Développement

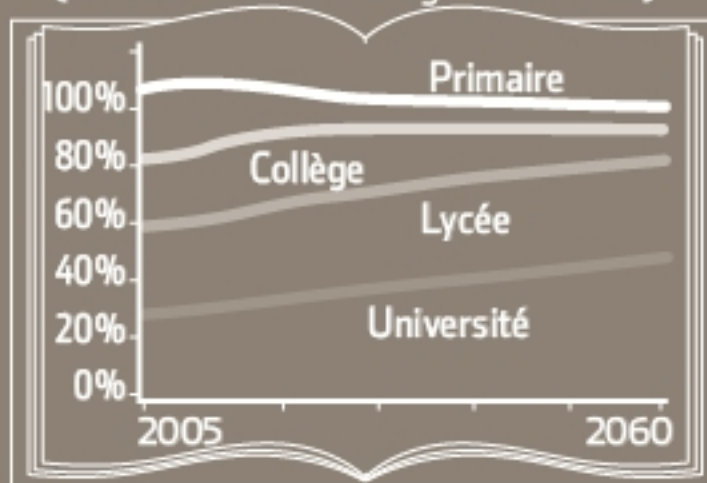
Une éducation plus complète pour tous

En 2060, le taux d'alphabétisation devrait atteindre 97,5 %, et l'accès à l'éducation secondaire augmenter sensiblement. Près de la moitié de la population mondiale pourrait aller jusqu'à l'université.

Alphabétisation



Taux de scolarisation (en % de la classe d'âge concernée)



Le monde entier sera équipé en infrastructures et technologies

Eau potable, électricité, routes, téléphones mobiles et sanitaires devraient se généraliser sur la planète, grâce à un développement important dans les pays du Sud.

Eau potable

2010 **87,8 %** 2060 **96,1 %**



Electricité

2010 **79,2 %** 2060 **94,6 %**



Routes

2010 **72,2 %** 2060 **84,9 %**



Mobiles

2010 **77,9 %** 2060 **150 %**



Sanitaires

2010 **62,7 %** 2060 **86,1 %**

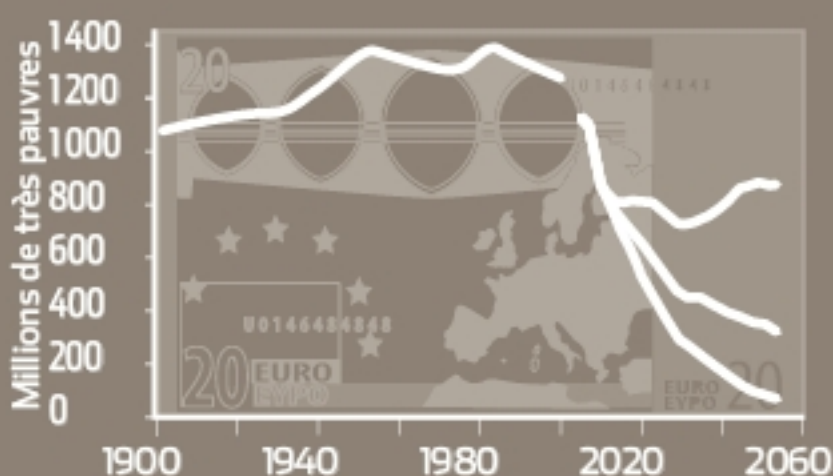


1,3

C'est le ratio homme/femme des inscrits à l'université dans le monde en 2060.

3,4

C'est le nombre de lignes de téléphonie fixe pour 100 habitants qu'il restera en 2060 – contre 17,3 aujourd'hui.



Une pauvreté en baisse

L'extrême pauvreté devrait globalement perdre du terrain. Selon les scénarios de croissance envisagés, en 2060, elle toucherait entre 100 millions et 900 millions de personnes.

VERS UN MONDE DE CITADINS

1900

1940

1960

1980

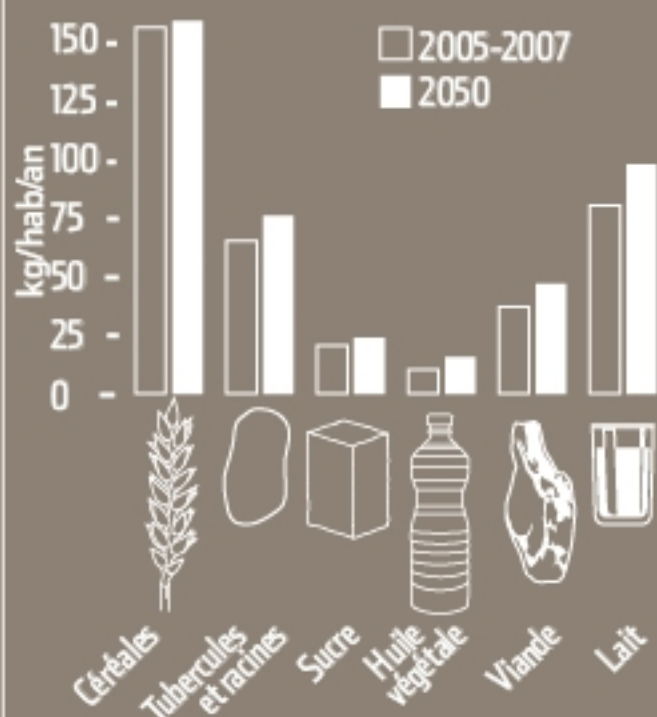
2000



Modes de vie

Partout, on mangera plus, et de tout

La répartition des différentes catégories d'aliments devrait être à peu près la même en 2050, avec cependant une forte hausse mondiale de la consommation de produits animaux. Le nombre de calories absorbées devrait continuer d'augmenter.



Ration alimentaire
1969-1971
2373
kcal/hab/jour

2005-2007
2772
kcal/hab/jour

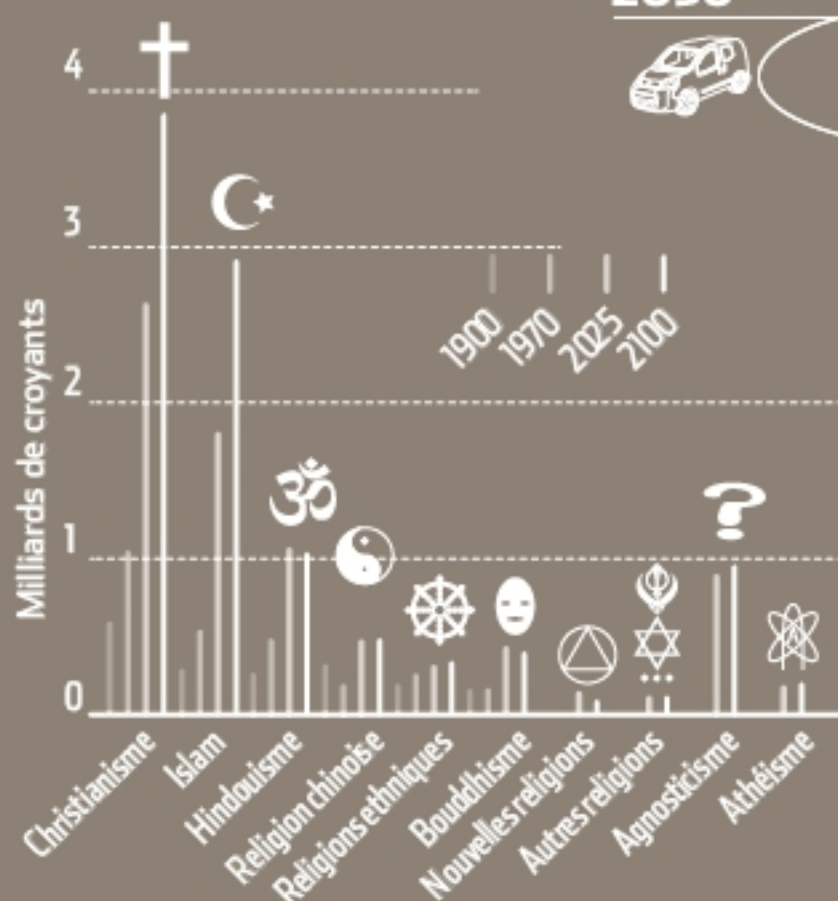
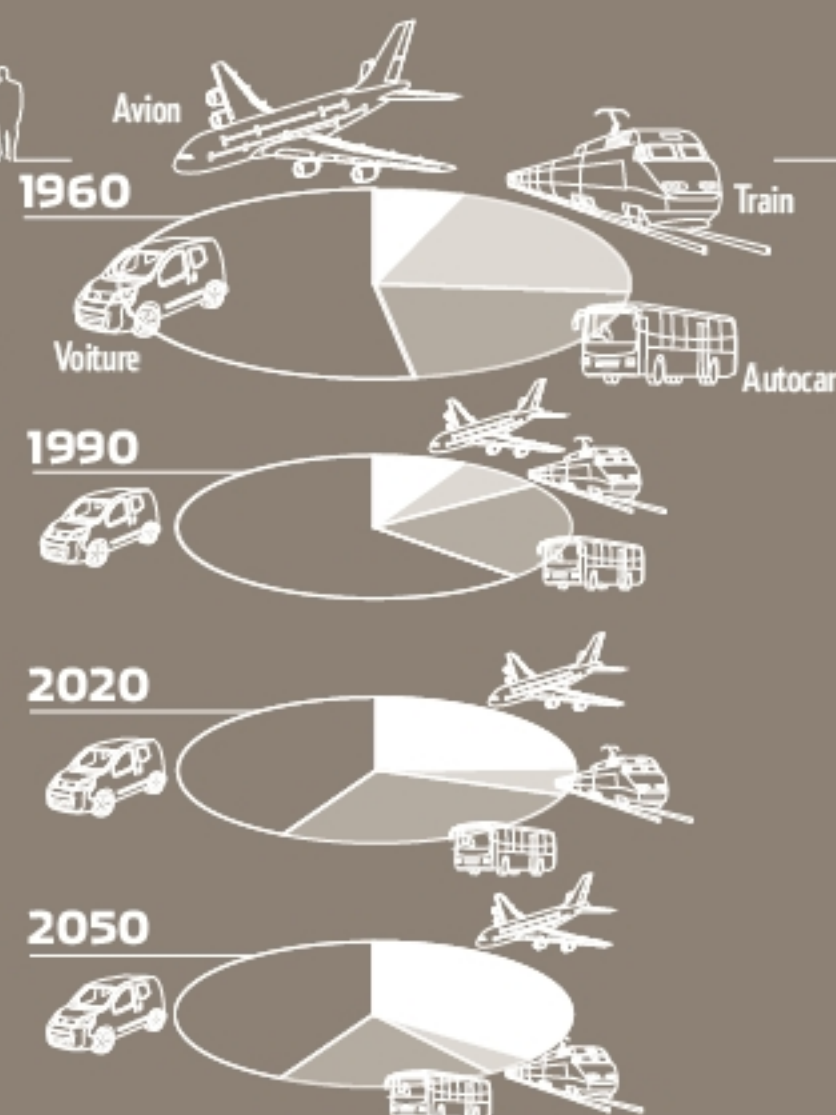
2050
3070
kcal/hab/jour

40 %

C'est le pourcentage des 6 000 langues parlées actuellement qui pourrait avoir disparu en 2100.

Un boom des transports aériens

Depuis 1960 et jusqu'en 2050, tous les modes de transport continuent d'augmenter en valeur absolue. L'avion devrait cependant être très largement favorisé à l'avenir, aux dépens des transports routiers.



De plus en plus de croyants

A partir des données démographiques et d'hypothèses sur les taux de conversions, des chercheurs prévoient une hausse importante du nombre de chrétiens et de musulmans, et une diminution du nombre d'athées et d'agnostiques.

10 476

C'est, en kilomètres, la distance annuelle parcourue par habitant en 2050. Elle était de 1814 km en 1960 et de 4 382 km en 1990.

2013

Les deux tiers de la planète vivront en ville

Si les citadins sont déjà majoritaires dans le monde depuis 2008, ils devraient devenir toujours plus nombreux : ils constitueront les deux tiers de la population mondiale en 2100, d'après les dernières projections de l'Onu. Ils représenteraient de 29,8 % de la population, en Papouasie-Nouvelle-Guinée, à 99,7 %, à Porto Rico.

2100

SOURCES : INTERNATIONAL FUTURES, ONU, OCDE, UNESCO, JOHNSON & BARRETT, FUTURES (2004), CHAFER & VICTOR, TRANSPORTATION RESEARCH (2000)

SPÉCIAL 100 ANS

ILS ONT DÉJÀ FAIT LA UNE



1900 1913

L'Empire State Building, le programme Apollo, le Concorde, le paquebot *France*, la Station spatiale internationale, le cerveau artificiel... Durant cent ans, *Science & Vie* n'a cessé de rendre compte de la nouveauté, de l'ampleur et de l'enjeu de grands chantiers qui, chacun à leur manière, ont repoussé les limites de l'ingéniosité humaine. Les cent ans à venir seront eux aussi marqués par de nouveaux défis, à la fois incroyablement ambitieux dans leurs objectifs et prodigieux dans leur mise en œuvre. Recherches de nouvelles énergies, constructions de nouvelles infrastructures, exploitations de nouvelles ressources, explorations de nouveaux territoires... Nous avons

VERS DE NOUVEAUX PROJETS

sélectionné vingt de ces grands projets du XXI^e siècle, privilégiant ceux qui sont déjà en germe, ici dans les calculs d'un groupe de recherche, là dans les premiers essais d'un élément clé... Certains ne seront peut-être pas réalisés, quand d'autres émergeront, encore inimaginables aujourd'hui. Mais ils dessinent déjà les contours du nouveau monde. Et nourriront, un jour ou l'autre, assurément nos pages.

NASA/GEOSTAR



2013

2100



LA CHALEUR HUMAINE TRANSFORMÉE EN ÉLECTRICITÉ

Vers 2030 – Notre corps produit en permanence chaleur et mouvements. Deux formes d'énergie récupérables que des dizaines de laboratoires dans le monde se préparent, grâce au développement de minuscules composants électromécaniques implantés sur les vêtements ou sur le corps, à transformer en énergie électrique. Objectif : alimenter implants médicaux ou appareils nomades... Si, aujourd'hui, les puissances produites sont encore trop faibles (100 microwatts au mieux), les chercheurs comptent les multiplier par mille d'ici vingt ans grâce aux progrès des matériaux. **M.V.**

UN IMMENSE PARC D'HYDROLIENNES AU LARGE DE LA BRETAGNE

Vers 2020 – Le rendez-vous est pris : en 2020, un champ de turbines hydrauliques devrait recueillir l'énergie des courants qui circulent au large de la Bretagne pour alimenter des milliers de foyers en électricité. Et ce ne serait qu'un début. Les principaux verrous qui empêchaient les hydroliennes de coloniser les fonds marins sautent les uns après les autres : de nouvelles formes adaptées ; des matériaux résistant à la corrosion ; une baisse du coût des raccordements... Une production potentielle de 800 TWh par an est ainsi attendue dans le monde ! **M.F.**





VERS 2045

LES PREMIERS RÉACTEURS À FUSION NUCLÉAIRE

Jusqu'à aujourd'hui, l'énergie nucléaire nous a montré sa face la plus sombre, avec son cortège de réacteurs à fission. Patience: le XXI^e siècle devrait dévoiler son visage le plus lumineux avec la maîtrise de la fusion nucléaire. De fait, cette réaction entre deux noyaux d'hydrogène, qui ne peut pas s'emballer et ne produit pas de sinistres déchets radioactifs à vie longue... Soit la promesse d'une source d'électricité propre, sûre, abondante et continue. Une promesse seulement ? On serait tenté de le croire: la fusion est la réaction qui se produit en temps normal... au cœur des étoiles ! L'humanité s'est pourtant enfin dotée des moyens de la domestiquer grâce à Iter. Ce prototype de machine à fusion mobilise, depuis 2010, 34 pays, 15 milliards d'euros d'investissement et un millier de chercheurs à travers le monde. Tout a été prévu pour que, grâce à lui, la fusion passe du rêve à la réalité au début de l'année 2028. Et l'agenda ne s'arrête pas là. Selon Akko Maas, chargé de l'organisation d'Iter, "des équipes travaillent déjà au dessin de son successeur, Demo, qui devra démontrer qu'on peut produire ainsi de l'électricité à l'échelle industrielle". Rendez-vous dans les années 2040.

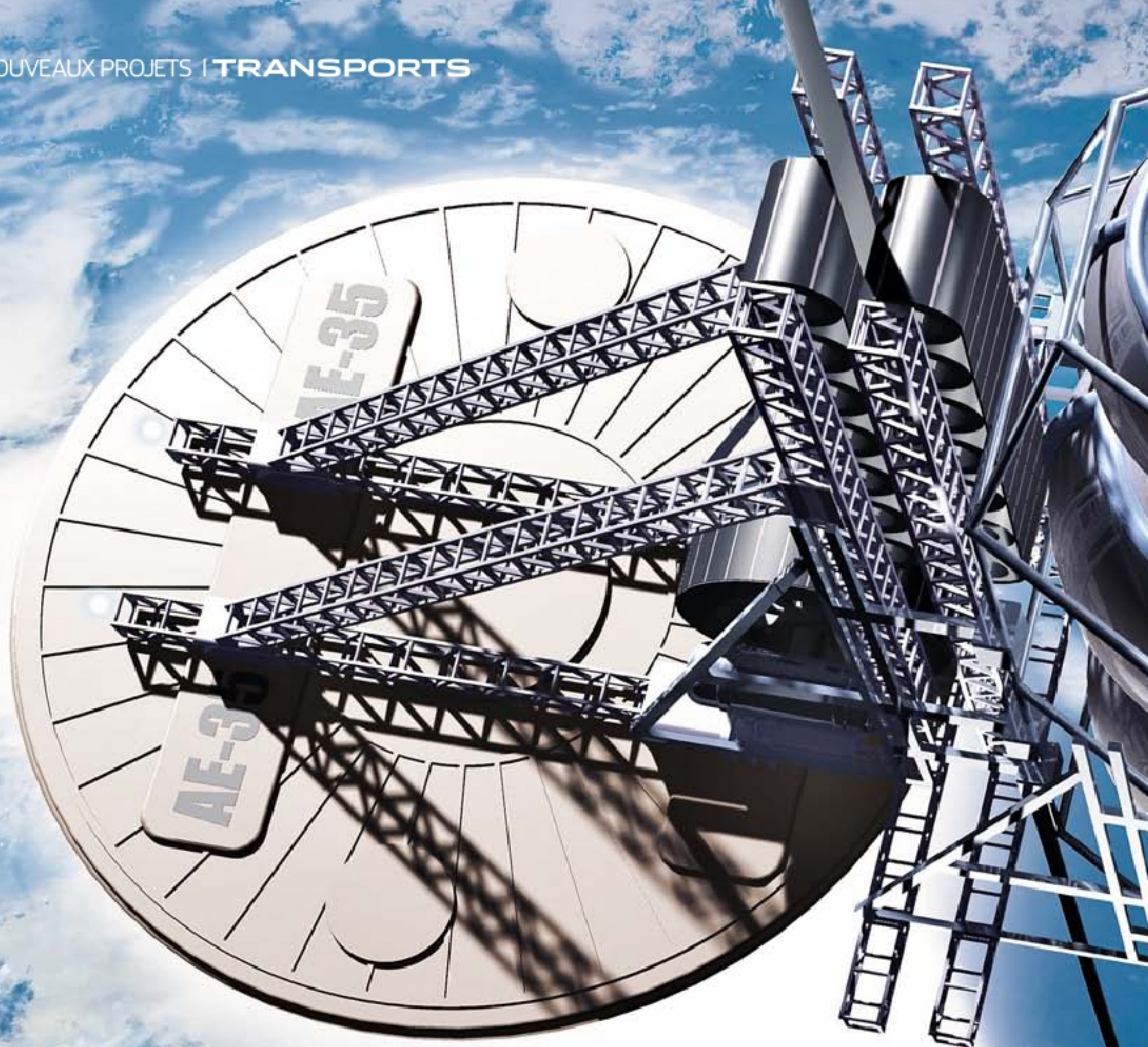
V.N.

DES CENTRALES SOLAIRES À PERTE DE VUE DANS LES DÉSERTS

Vers 2050 – "En six heures, les déserts de notre planète reçoivent plus d'énergie solaire que ce que l'humanité entière consomme en un an." Voilà comment Gerhard Knies, spécialiste allemand des questions énergétiques, défend les centrales solaires géantes qui devraient pousser dans plusieurs zones arides du monde d'ici cinquante ans. L'américain First Solar est le premier à se lancer: avec 9 millions de panneaux photovoltaïques parsemés sur 14 km² en Californie, il dégagerait une puissance de 550 mégawatts (MW) dès 2015 (soit la moitié de la puissance d'un réacteur nucléaire). Un chantier d'une tout autre envergure devrait à son tour aboutir en

2050. Lancé en 2009, impliquant 57 entreprises et institutions internationales (Deutsche Bank, Saint-Gobain Solar...), le projet Desertec prévoit d'installer 360 gigawatts (GW) de miroirs concentrant la lumière solaire et 520 GW de panneaux photovoltaïques dispersés dans une multitude de fermes solaires géantes au Maroc, en Tunisie, en Algérie, en Libye... "Avec cette installation de plusieurs milliers de kilomètres carrés, nous espérons couvrir 25% des besoins de 38 pays d'Europe, d'Afrique du Nord et du Moyen-Orient", précise Noëlie Vegas du projet Desertec. D'ici là, il faudra encore tester la faisabilité et l'efficacité de telles installations, et notamment la manière d'acheminer l'électricité produite vers l'Europe. Première étape: déployer trois essais de 500 à 1000 MW en Algérie, au Maroc et en Tunisie d'ici à 2015-2020.

M.V.



VERS 2060

L'ASCENSEUR SPATIAL POUR PROPULSER DES SATELLITES EN ORBITE

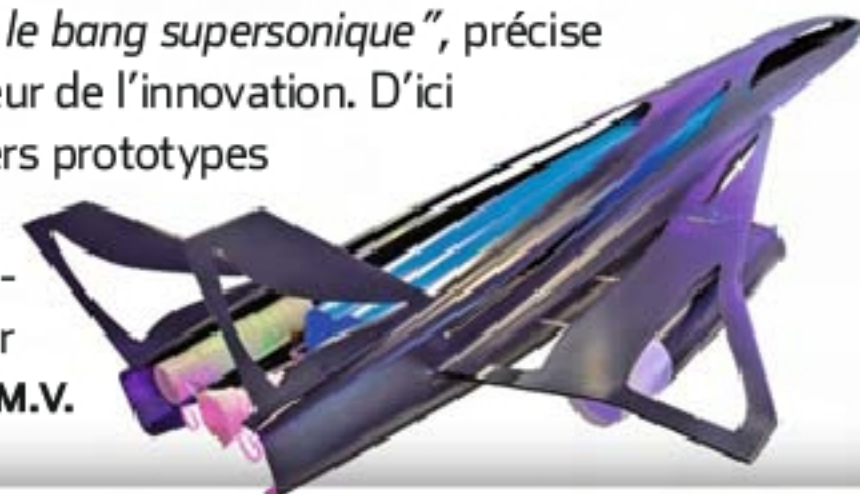
Voici ce qui pourrait devenir la plus grande structure jamais construite par l'homme : un câble de 100 000 km le long duquel filerait en trois semaines vers l'espace une cabine convoyant 10 tonnes, à 200 km/h, pour 1000 fois moins cher qu'une fusée actuelle ! Cette idée folle, le Russe Constantin Tsiolkovski la suggérait dès 1895... Mais elle s'incarne aujourd'hui dans un vrai projet grâce à la découverte, dans les années 1990, des nanotubes de carbone et aux progrès incessants dans leur fabrication. Une trentaine de laboratoires et d'entreprises dans le monde (dont la Nasa) y travaillent, et des prototypes de

quelques centaines de mètres de hauteur existent déjà ! Objectif : faire descendre d'un satellite un câble en nanotubes qui serait arrimé au niveau de l'équateur. L'unique étage de l'ascenseur serait, lui, à 36 000 km d'altitude, où tout objet reste perpétuellement à l'aplomb du sol. "Nous prévoyons de terminer au plus tôt en 2050", annonce Yoji Ishikawa, d'Obayashi Corporation, une entreprise spécialisée dans la construction de gratte-ciel. Les principaux défis du projet : éviter satellites et débris ; propulser la cabine (par laser, sans doute) et, bien sûr, fabriquer un fil de nanotubes aussi fin que long et solide. **M.V.**



DES VOLS PARIS-TOKYO EN SEULEMENT TROIS HEURES

Vers 2060 – Si le Concorde a fait entrer l'aviation dans l'ère supersonique, ses successeurs, à l'étude dans plusieurs laboratoires de recherche (Nasa, EADS, Jaxa, DLR...), devraient, eux, entrer dans l'ère hypersonique : ils voleront à Mach 5, soit 2,5 fois plus vite que le Concorde et 6 fois plus vite que les avions standard actuels... mettant Paris à trois heures de Tokyo ! Le constructeur EADS (Airbus) a consacré trois années d'étude de faisabilité à ce défi. Et le juge réaliste. *"Le plus gros verrou technologique sera la mise au point d'un moteur puissant, capable de faire décoller l'avion, de monter à 25 km d'altitude, puis de redescendre sans trop polluer et en réduisant le bang supersonique"*, précise Yann Barbaux, directeur de l'innovation. D'ici quinze ans, les premiers prototypes devraient ainsi voir le jour, avant un développement industriel pour le tourisme en 2060. **M.V.**



UN TUNNEL SOUS LE DÉTROIT DE BÉRING RELIANT AMÉRIQUE ET RUSSIE

Vers 2045 – L'idée de relier par voie terrestre les États-Unis et la Russie via le détroit de Béring existe depuis... Abraham Lincoln. Mais les soubresauts de l'Histoire et les quelque 80 km qui séparent les deux continents ont fait échouer tous les rêves de pont ou de tunnel. Aujourd'hui, les conditions géopolitiques et techniques paraissent pourtant réunies et la Chine voisine semble à son tour attirée par l'intérêt économique du projet. Les Russes ont ainsi présenté en 2011 une proposition de tunnel de 100 km entre Deznev (Russie) et Cape Prince of Wales (Alaska), esquissant un nouvel axe majeur des échanges mondiaux avec voies ferrées, pipelines... **V.N.**

LES VOITURES AUTOMATISÉES QUI SE PASSENT DE CONDUCTEUR

Vers 2060 – Confier le volant à un automate ? Google, la Darpa (laboratoires de l'armée américaine), Volvo, Continental ou Inria (recherche informatique) y travaillent, peaufinant des prototypes de véhicules sans chauffeur. En ligne de mire, une plus grande sécurité et des économies de carburant grâce à la gestion automatisée du flux routier. Le gouvernement américain change déjà ses lois dans ce sens : il a autorisé, en 2012, la circulation de voitures d'essai dans le Nevada. Une généralisation des voitures sans conducteur sera envisageable en 2060, quand capteurs et algorithmes auront été assez développés. **M.V.**

VERS 2045

LES USINES DE BACTÉRIES À TOUT FAIRE

Des bactéries qui sécrètent des vitamines, d'autres qui détectent l'arsenic ou détruisent sur commande des colonies de microbes indésirables... Les techniques de reprogrammation et d'ingénierie génétiques des micro-organismes nourrissent aujourd'hui des centaines de projets de développement. Une ébullition que les plus grands laboratoires entendent faire passer d'ici à 2045 à l'échelle industrielle. Oubliez les industries polluantes : on prépare l'ère des usines microscopiques et vivantes ! Après être passées entre les mains des généticiens, bactéries, algues et levures cultivées en bioréacteurs produiront médicaments, biomasse, alcools, matériaux, carburants... Mais avant cela, il faudra compiler des centaines de milliers de fragments d'ADN, et relever les milliers de rôles qu'ils jouent dans le vivant, pour établir une extraordinaire base de données génétiques. Pour ce faire, il faut recenser les génomes des centaines de milliers d'espèces de micro-organismes de la planète ; identifier les gènes qui leur confèrent les capacités les plus diverses, et développer les outils génétiques permettant de les associer au sein de bactéries "réinventées". **E.R.**

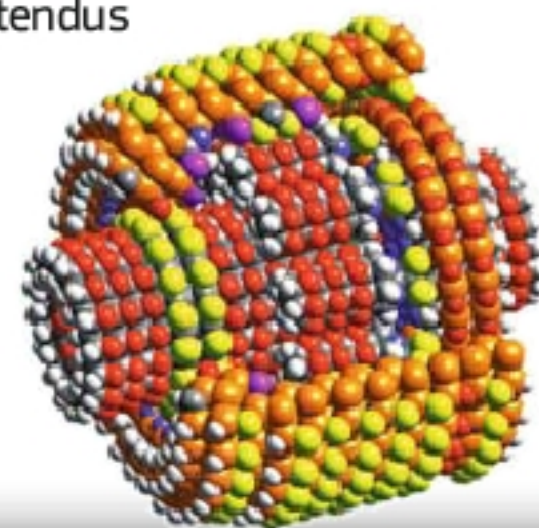




GRÉGOIRE CIRADE - FORESIGHT INSTITUT/IMM

LA NANO-FABRICATION AUTOMATIQUE D'OBJETS INDUSTRIELS

Vers 2060 – Ne plus façonner des objets en travaillant la matière brute avec des outils, mais programmer la matière pour qu'elle s'organise d'elle-même en l'objet souhaité... le tout dans une enceinte pas plus grande qu'un micro-ondes ! C'est ce que promettent les nano-assembleurs. Ils abriteront dans leurs réservoirs de vastes quantités de fragments d'ADN ou d'autres molécules complexes de taille nanométrique, choisis pour leur capacité à s'associer : ils seront ainsi capables d'assembler des atomes et des molécules différents, ou de s'assembler entre eux pour former des tissus et des blocs de matériaux. Les premiers "nano-assemblages" complexes, mais de taille microscopique, sont attendus vers 2020. Dix à vingt ans plus tard, les ingénieurs comptent pouvoir associer les fonctions de plusieurs nanosystèmes autonomes dilués dans le sang, l'air ou l'eau... Les premières nano-usines sont, elles, espérées vers 2060. **R.I.**



DES FERMES AGRICOLES ÉDIFIÉES AU CŒUR DES VILLES

Vers 2025 – En forme de tour, de pyramide ou d'escalier, les fermes verticales vont se multiplier dans les villes, ouvrant une nouvelle ère de l'agriculture hors sol. "Je suis sûr qu'elles connaîtront leur essor d'ici dix ans", s'enthousiasme le microbiologiste Dickson Despommier, un pionnier de ce concept. Et pour cause. Il s'agira, en 2050, de nourrir 9 milliards d'humains, dont 80 % de citadins, tout en limitant l'impact sur l'environnement. Or, élevage et culture verticales permettront de limiter l'emprise et les trajets, faciliteront la production locale d'énergie solaire ou éolienne et le recyclage des déchets. Testés depuis 2009, des prototypes d'exploitations se multiplient dans le monde entier, notamment au Japon. **J.G.**

DES IMPRIMANTES 3D POUR TOUT FABRIQUER CHEZ SOI

Vers 2030 – Déposez plastique ou métal en couches selon un plan en 3D, attendez quelques secondes. Vous obtiendrez un jouet, des lunettes de vue, un lave-vaisselle... au centième de micromètre près ! Voilà l'objectif des spécialistes de la "fabrication additive", autre nom de l'imprimante 3D. D'après eux, ces machines, qui existent déjà, mettront la fabrication de qualité industrielle à portée de tous, tout en ménageant les ressources (il n'y a plus de pertes) et en offrant des coûts et des délais de production imbattables ! **M.V.**



DES PLANTES QUI SE PASSENT TOTALEMENT D'ENGRAIS

Vers 2035 – Les prochaines générations de plantes OGM pourraient se passer, pour tout ou partie, de fertilisants. Le centre John Innes (Royaume-Uni) travaille à développer des céréales dotées de gènes de bactéries et de plantes légumineuses, ce qui leur permettrait de fixer l'azote présent dans l'air, plutôt que d'en absorber, par les racines, la forme soluble délivrée par les engrais. *"Je pense que nous pouvons aboutir dans 20 à 30 ans, estime Giles Oldroyd, responsable du projet. Nous pourrions alors remplacer la majorité des engrais et améliorer largement les rendements des petites exploitations dans les pays en développement."*

F.L.

RÉCUPÉRER L'EAU DOUCE AU CŒUR DES SOURCES SOUS-MARINES

Vers 2020 – Chercher l'eau douce au fond des mers : voilà qui pourrait soulager la soif des pays côtiers, à bien moindres frais que la dessalinisation. Car il n'y a pas que les fleuves qui se jettent dans la mer ! L'eau douce peut aussi se frayer un chemin dans le calcaire pour ressortir à quelques dizaines de mètres de profondeur. *"Le challenge, ce n'est pas son captage mais, comme pour un trésor, de savoir la trouver !", explique Thierry Carlin, directeur de la société Nymphaea Environnement, qui a déjà repéré une trentaine de sources au large de la Libye. Or, 98 % des zones susceptibles d'abriter ces sources restent encore inexplorées.*

B.B.



VERS 2070

LES MISSIONS D'EXPLOITATION DES ASTÉROÏDES

L'idée paraît extrême: exploiter les minerais contenus dans les astéroïdes, ces cailloux d'une centaine de mètres de diamètre qui errent dans le froid du système solaire! Sauf que, depuis un an, deux entreprises américaines (Planetary Resources et Deep space Industries), financées par des grands noms de la Silicon Valley, se sont créées dans l'espoir d'ouvrir d'ici à 2070 des mines spatiales entièrement automatisées. Peu crédible? *"Leurs ingénieurs sont compétents et motivés, soutient pourtant John Lewis, planétologue à l'université d'Arizona, grand avocat du concept. Je dirais qu'ils n'ont pas choisi de le faire parce que c'est facile, mais justement parce que c'est difficile, et potentiellement juteux."* De fait, certains de ces corps célestes semblent gorgés de métaux (platine, rhodium) rares sur Terre. Et nombreux sont ceux qui s'avèrent "faciles" à atteindre... Pour l'heure, ces compagnies en sont au stade de la prospection et prévoient de lancer en orbite des minitéléscopes d'ici à 2015. La suite reste floue, mais devrait bénéficier des travaux de la Nasa, dont la prochaine grande mission habitée vise justement, en 2025, un astéroïde. Preuve qu'après la Lune et Mars, ces cailloux sont devenus de nouvelles cibles de l'espace.

V.N.

DES EXTRACTEURS DE MINERAIS AU FOND DES ABYSSES

Vers 2030 – Il fallait s'y attendre: à l'image des compagnies pétrolières qui multiplient depuis plus de cinquante ans les puits offshore, les compagnies minières s'intéressent désormais aux nombreux dépôts de minerais qui affleurent sur le plancher des océans. La compagnie canadienne Nautilus Minerals annonce ainsi vouloir exploiter dès cette année, au large de la Papouasie-Nouvelle-Guinée, de mirifiques "sulfures polymétalliques", précipités provenant de cheminées hydrothermales: un gisement riche en cuivre, en or et en argent... Mais d'autres dépôts regorgent également de terres rares. Cette première expérimentation, par

1600 m de profondeur, permettra de tester des robots sous-marins d'excavation inédits. Sans attendre, *"nombre de pays, très dépendants de leurs importations de métaux, ont déjà acquis des permis d'exploration dans leurs zones maritimes, dont la France, à Wallis-et-Futuna"*, révèle Pierre Cochonat, de l'Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer. D'autant qu'il existe d'autres types de formations sous-marines, telles que les "encroûtements cobaltifères" ou les curieux "nodules polymétalliques" des abysses. Les projets de mines offshore ont donc toutes les chances de se multiplier d'ici à 2030. A condition, avertit le chercheur, *"que cette activité d'extraction ne perturbe pas trop les écosystèmes des abysses, souvent d'une richesse exubérante, et jusqu'ici préservés du monde"*.

V.N.

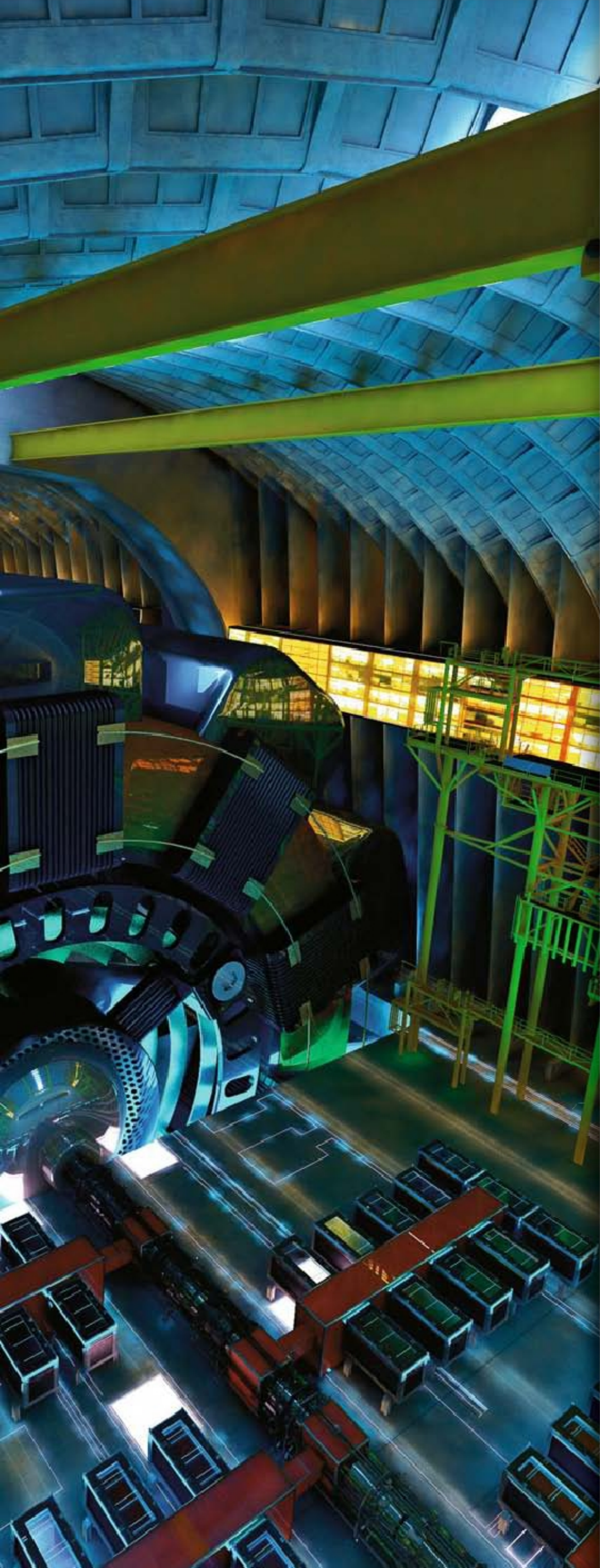
VERS 2080

LES ACCÉLÉRATEURS DE PARTICULES À PLASMA

La conception d'accélérateurs toujours plus puissants et plus grands pour percer toujours plus avant les mystères de l'infiniment petit atteindra bientôt ses limites. Comme l'explique Frédéric Bordy, chef du département technologique du Cern, *"si on peut imaginer une machine de 80 km, trois fois plus grande que LHC du Cern, on ne pourra pas aller au-delà. A moins d'une rupture technologique majeure"*... L'accélération plasma. Qui devrait faire entrer, passé 2080, la physique des hautes énergies dans une ère inconnue. Grâce à des impulsions laser ultrapuissantes émises dans des gaz ionisés, les accélérateurs à plasma engendreront des champs électriques 10 000 fois plus intenses, communiquant à des électrons la même énergie en quelques centimètres qu'une machine actuelle en plusieurs kilomètres. Certains imaginent déjà des accélérateurs à plasma 100 fois plus puissants que le LHC, ce qui avec les technologies actuelles nécessiterait une machine faisant le tour de la Terre! *"Du point de vue de la démonstration du principe, le plus gros a été fait"*, indique Victor Malka, au Laboratoire d'optique appliquée, à Palaiseau. En pratique, la forme qu'ils prendront reste à préciser...

M.G.





MICHEL SAEMANN

LE LASER QUI CRÉE DE LA MATIÈRE À PARTIR DU VIDE

Vers 2030 – L'ambition du projet IZEST est quasiment démiurgique: créer de la matière à partir de rien. Plus précisément, arracher au vide des particules qui, selon la théorie quantique, n'y existent qu'à l'état virtuel. Pour cela, un consortium de laboratoires à travers le monde entend produire des impulsions laser ultra-énergétiques et ultra-courtes pour atteindre des intensités lumineuses faramineuses, de l'ordre de 10^{29} watts/cm². Le champ électrique engendré serait alors suffisant pour séparer des paires virtuelles électron/positon, et leur donner une existence réelle. Il faudra, pour ce faire, d'ici à 2030, diviser par cent la durée des impulsions délivrées par le laser Petal du Commissariat à l'énergie atomique, à Bordeaux, afin de concentrer assez d'énergie pour "claquer le vide". *"On a une vue très primaire du vide, confie le directeur d'IZEST. Si ce qu'on observe est différent de ce que prévoit la théorie, on aura des informations sur le contenu de l'Univers qui nous échappe, notamment la matière noire."* De quoi tenir le cosmos dans une impulsion laser... **M.G.**

UN TÉLESCOPE GÉANT CAPABLE DE DÉTECTER LA VIE EXTRATERRESTRE

Vers 2050 – Il attend depuis dix ans au fond des cartons de la Nasa et de l'Agence spatiale européenne... De fait, l'instrument capable de repérer E.T. existe déjà sur le papier. Il s'agit de cinq petites sondes formant un télescope virtuel de 50 m, capable d'extraire les spectres chimiques des atmosphères des autres terres. Reste à trouver le milliard d'euros nécessaire à son envol. *"Si les télescopes JWST ou E-ELT, prévus en 2018 et 2020, captent un signal évoquant une activité biologique, ça changera tout, prédit Franck Selsis à l'observatoire de Bordeaux. Les agences mobiliseront les fonds car ce sera le seul moyen de savoir si on a trouvé de la vie extraterrestre!"* **M.F.**

LE DÉCRYPTAGE COMPLET DU GÉNOME HUMAIN

Vers 2050 – En 2001, la lecture des 6 milliards de lettres de notre ADN ouvrait la voie à la compréhension du vaste programme qu'il contient. Surprise, seuls 2 % du "texte" génétique s'avère coder nos 21 000 gènes. Le projet Encode, lancé il y a dix ans, est dédié aux 98 % restant... Mais les dizaines de laboratoires internationaux mobilisés pour ce faire n'auront sans doute pas fait le tour de cette "matière noire" du génome avant 2050. Ils ont commencé l'étude de 147 types cellulaires et y ont trouvé la trace "d'interrupteurs" régulant nos gènes... Mais il y en a des millions à trouver et à mettre en relation. **E.R.**

Horizon 2100

LE DÉFI DE LA MAÎTRISE

Pour être à la hauteur de ses ambitions technologiques, le XXI^e siècle va devoir composer avec l'héritage du XX^e siècle : entre technos toujours plus complexes et impératifs de sécurité, ses ingénieurs vont devoir innover et, surtout, maîtriser l'innovation ! Une vraie nouvelle donne.

PAR VINCENT NOUYRIGAT
ET MATHIEU GROUSSON

Un ascenseur donnant accès à l'espace, des réacteurs à fusion nucléaire éclairant le monde, des robots arrachant les minerais des astéroïdes, mais aussi des avions de ligne hypersoniques, un tunnel reliant deux continents, un mégaccélérateur de particules... Nos ingénieurs ne manquent décidément pas d'ambition pour le XXI^e siècle ! Une ambition que l'on ne peut s'empêcher, en avril 2013, de juger quelque peu démesurée... Et ce n'est pas là faire preuve de conservatisme borné : il suffit d'ouvrir n'importe quel journal pour constater que les hommes peinent déjà à maîtriser leurs grands projets du moment. Ici, ce sont les nouveaux avions de la puissante firme Boeing, les Boeing 787, cloués au sol cet hiver en raison

de la défaillance difficilement explicable d'une petite batterie ; là, ce sont les pilotes d'une expérience internationale de physique (baptisée Opera) qui mesurent, interloqués, des neutrinos voyageant plus vite que la lumière... avant de découvrir que le résultat avait été faussé par un simple branchement défectueux ; c'est encore le réacteur nucléaire EPR, dont le premier chantier en France accuse quatre années de retard pour un coût quasiment triplé, etc. De quoi s'interroger sur nos capacités à mettre en œuvre des systèmes toujours plus grands, toujours plus puissants, toujours plus sophistiqués.

SUR LE PAPIER L'OPTIMISME EST DE MISE

Certes, on sait à quel point l'humanité a su se transcender par le passé : tutoyer le ciel *via* les pyramides, puis les cathédrales ; s'affranchir de la géographie grâce à de grands canaux et des tunnels ; s'extraire de la planète Terre avec des fusées, et on en passe... On sait aussi que les acteurs motivés ne manquent pas aujourd'hui, précise Arnulf Grübler, technologue à l'université Yale (Etats-Unis), "*spécialement la Chine, dotée d'un pouvoir central fort, d'une élite technocratique très dense et d'une main-d'œuvre énorme, volontaire, disciplinée*". Sans parler des compagnies privées bouillonnantes, comme Google. Or, pour voir le jour, les grands chantiers engagés pour le XXI^e siècle (voir p. 78) devront relever un certain nombre de défis, qui sont autant l'héritage des grands projets du XX^e siècle, que la leçon qu'il s'agit d'en tirer.

Ainsi, une chose apparaît déjà certaine : leur réalisation sera nettement plus compliquée que ne le clament leurs promoteurs. Comme le fait

remarquer Bent Flyvbjerg, analyste des grands projets à l'université d'Oxford (Royaume-Uni), *"le coût initial affiché est sous-estimé et les incertitudes minimisées afin de présenter le projet sous un jour favorable"*. Une manière d'attirer dans l'aventure de nouveaux partenaires, entreprises ou Etats. Mais ce manque de réalisme se traduit ensuite, au fil du chantier, par des dérives budgétaires abyssales... Akko Maas, coordinateur du projet Iter, ce prototype de réacteur à fusion nucléaire dont le prix est passé de 5 à 15 milliards d'euros, en convient: *"Au début, les concepteurs se montrent trop optimistes, d'autant plus qu'aux premiers stades du dessin, tous les détails n'apparaissent pas."*

TOUJOURS PLUS LONGS ET COMPLIQUÉS

Le problème tient en un mot: complexité. Pensez que la machine à fusion Iter *"comportera près d'un million de composants, des pièces très sophistiquées qui sont pour beaucoup des premières dans leur genre"*, relève Akko Maas. Mais le plus difficile sera de comprendre, puis de maîtriser les interactions entre tous ces éléments rassemblés dans un espace restreint". Autre exemple d'installation inouïe: le LHC, le célèbre accélérateur de particules de l'Organisation européenne pour la recherche nucléaire (Cern), long de 27 km. *"Plus encore que ses dimensions pharaoniques, c'est la combinaison de ses composants qui en fait l'extraordinaire complexité"*, expose Vincent Bontems, philosophe des sciences au Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA) et spécialiste des instruments de l'extrême. Ici, l'exigence de perfection se communique d'un élément à l'autre; les ingénieurs sont au maximum de ce qu'ils savent faire." Frédérick Bordy, chef du département technologie du Cern, confirme que *"le LHC est une machine si complexe qu'aucun cerveau humain isolé n'est capable de la comprendre dans sa globalité"*.

Ce constat vaut dans bien d'autres domaines. *"Il est devenu impossible d'appréhender la totalité d'un projet d'avion moderne"*, assure Claude Le Tallec, chargé des innovations à l'Office national d'études et de recherches aérospatiales (Onera). En réalité, Boeing ou Airbus ne peuvent pas tout concevoir et doivent partir en quête des meilleurs spécialistes mondiaux

LES LEÇONS DU XX^e SIÈCLE

L'ÉCHEC DE LA NAVETTE

Sur les cinq navette spatiales conçues par la Nasa, deux se sont désintégrées en vol ! En 1986, *Challenger* (photo) fut victime de la rupture d'un simple joint, tandis qu'en 2003, le vaisseau *Columbia* paya la perte d'une de ses 27 000 tuiles de protection thermique. Autant de signes que la puissante agence n'est jamais parvenue à maîtriser cet objet, le plus complexe du monde avec 2,5 millions de composants.



de tel ou tel domaine, comme le moulage des matériaux composites." Dans cette foule de sous-traitants ultrapointus, le moindre retard peut avoir des conséquences en chaîne. Jean-Yves Le Gall, directeur d'Arianespace, confie: *"Lors d'une mission Ariane 5, le plus délicat est de parvenir à ce que tous les composants soient prêts en même temps sur le pas de tir: de la fusée, qui a demandé trois ans de fabrication, au satellite."* Ereintant ! Pour Akko Maas, l'un des grands défis de ces tours de Babel est *"d'assurer la circulation de l'information parmi les équipes de milliers de chercheurs et techniciens à travers le monde"*.

Les grandes réalisations à venir se distinguent également par leur durée hors normes. Selon Bent Flyvbjerg, *"leur long temps de construction pose problème, notamment dans le secteur des télécommunications, où la mise en place d'une infrastructure peut durer sept à dix ans, alors que leurs composants deviennent obsolètes... au bout de deux ans"*. Or, les décennies pèsent aussi sur les hommes. C'est particulièrement vrai des grandes expériences scientifiques, si lentes à édifier puis à lancer, *"sur lesquelles on peut travailler vingt-cinq ans sans obtenir un seul résultat scientifique"*, souffle Bruno Mansoulié, responsable du groupe des physiciens de l'expérience Atlas, au Cern. Deux générations de physiciens seront amenées à travailler sur →

CERTAINS PROJETS SONT SI COMPLEXES QUE PERSONNE NE PEUT PLUS LES COMPRENDRE DANS LEUR GLOBALITÉ

→ le LHC, ce qui n'est peut-être pas anodin, souligne-t-il encore : *"Les utilisateurs de demain, qui n'ont pas conçu la machine, sauront-ils l'utiliser aussi bien ?"* Un sujet à prendre au sérieux, comme en témoigne notre incapacité à retourner sur la Lune, liée, notamment, à la perte du savoir-faire des premiers techniciens du programme Apollo. Et le temps qui passe accomplit aussi son œuvre avec l'élévation inéluctable des exigences de sécurité – aucun astronaute ne voudrait plus embarquer aujourd'hui dans ces antiques capsules. Bref, les contraintes se multiplient sous l'accumulation de normes toujours plus strictes, et parfois sous la pression de populations qui s'estiment menacées par certains gros chantiers.

Taille, complexité, savoir-faire, sécurité...
Devant tant de paramètres à superviser, une

AUJOURD'HUI, L'ORGANISATION HUMAINE DE GRANDS PROGRAMMES DE DIMENSION INTERNATIONALE EST UN PROBLÈME CLÉ

organisation au cordeau est à prévoir. Mais trouver le bon cadre de fonctionnement pour apprivoiser puis surveiller le monstre est déjà, en soi, un défi. Pour des raisons de coût, ces grands programmes s'opèrent souvent à une échelle mondiale. Une "Internationale des cerveaux" qui draine son lot de complications. Ne serait-ce qu'en raison du décalage entre les années fiscales américaine, japonaise ou européenne ! Même au seul niveau européen, *"lorsqu'on évoque l'idée d'un drone commun, les 27 Etats membres expriment des besoins différents ou font valoir des exigences de propriété intellectuelle"*, déplore Claude Le Tallec. Rares sont les projets qui trouvent la bonne formule de gouvernance, la juste répartition des centres de décision, d'achats et de contrôle. Au final, ils sont devenus un enfer dont les meilleures

équipes de savants sortent exsangues. Comment alors espérer, dans les cent ans à venir, repousser encore les limites du raisonnable ? Saura-t-on s'adapter à cette complexité galopante ? Sachant que la menace de s'embourber guette à chaque instant...

Les informaticiens en savent quelque chose : près de 20 % des grands projets informatiques sont tout bonnement abandonnés en cours de route (source Standish Group). Comme si on renonçait au chantier d'une cathédrale une fois les piliers érigés... *"Nous ne savons tout simplement pas encore comment construire les systèmes informatiques que la société nous réclame"*, justifie Kevin Sullivan, chercheur au Software Engineering Institute (université Carnegie Mellon, Etats-Unis). *Ces demandes sont trop complexes et trop dynamiques à satisfaire pour nos méthodes actuelles d'ingénierie logicielle.* Exemple ? Dès les années 1950, les autorités américaines fantasmaient sur l'automatisation complète du trafic aérien, promesse d'une circulation fluide et efficace des avions... Un projet gigantesque qui n'est toujours pas près de voir le jour, malgré les dizaines de milliards de dollars investis depuis des décennies. *"Cela exigera encore beaucoup de recherches fondamentales"*, prévoit Kevin Sullivan.

À L'IMPOSSIBLE NUL N'EST TENU

Une leçon qui concerne aussi le monde matériel : gare aux tentatives d'innovations trop rapides ou aux changements d'échelle trop brutaux ! Faut-il rappeler que la cathédrale de Beauvais s'est élevée trop haut trop vite, s'effondrant à deux reprises en 1284 et 1573... Toute la question est de connaître ses capacités du moment, et de ne pas brûler les étapes. Dans les années 1990, les astronomes européens s'étaient aventurés à dessiner un télescope dont le miroir affichait... 100 m de diamètre (OLT). Avant de revenir à la réalité : *"Dans la mesure*

CE QU'ON EN PENSAIT IL Y A 100 ANS

Les ingénieurs de l'époque se sont heurtés de plein fouet au mur de la complexité lors de la construction du canal du Panama. Inaugurée en 1914, cette œuvre était *"la plus grandiose que le génie humain ait réalisée pour l'aménagement de la planète"* s'enthousiasmait

alors *Science & Vie* : imaginez un fleuve de 77 km de long creusé à travers une forêt dense et montagneuse. Mais à quel prix ! Les travaux entamés en 1882 par les Français, sous l'impulsion de Ferdinand de Lesseps, ont viré au désastre faute d'une planification suffisante

– sans parler des problèmes de financement et de corruption. En 1904, les ingénieurs de l'US Army ont pris le relais et achevé un projet qui a finalement coûté la vie à 25 000 ouvriers, victimes d'épidémies ou de crues éclairs. Un tribut que nous ne serions plus prêts à payer.

où le télescope précédent ne faisait que 8 m de diamètre, ce saut nous a finalement paru trop important à maîtriser techniquement, raconte Laurent Vigroux, de l'Institut d'astrophysique de Paris. D'où le choix actuel d'un télescope de 39 m de diamètre. Ce qui nous permettra, éventuellement, d'envisager par la suite les 100 m."

Les télescopes ont peut-être encore de la marge, mais qu'en est-il des accélérateurs de particules? Avec ses 27 km de circonférence, le LHC n'est-il pas arrivé au bout de la logique des grands outils d'exploration? *"Pas tout à fait. Les chercheurs français qui se sont penchés sur le rythme d'évolution de cette lignée technique ont calculé que le LHC aurait un dernier descendant, vers 2037"*, annonce Vincent Bontems (CEA). Ce que Frédérick Bordy (Cern) confirme: *"Si l'on ne saurait pas aujourd'hui construire un LHC dix fois plus puissant dans un tunnel de 80 km, ni un accélérateur linéaire [voir p. 86], ça ne me paraît pas impossible après dix ou quinze ans de développement."* De fait, les réflexions sont en cours, dont une grande partie concerne l'organisation humaine à imaginer pour dompter pareil monument de sophistication. Au-delà? Personne ne veut croire à un accélérateur de 300 km. Ne serait-ce que *"pour des raisons de consommation d'énergie trop élevée, politiquement inacceptable"*, avance Philippe Lebrun, l'un des concepteurs du LHC. Au vrai, la volonté ne sera peut-être pas au rendez-vous: *"On sent déjà en physique une ambiance de fin des cathédrales, liée au besoin d'une plus grande diversité d'expériences"*, remarque Vincent Bontems. Dans le même ordre d'idées, notez qu'il n'y a pas de successeur désigné à la Station spatiale internationale, dont la fin de vie approche dans l'indifférence...

RENVERSER LE COURS DE L'HISTOIRE

Car voici le dernier défi qui attend les grands travaux du futur: l'achèvement d'un grand projet au prix de mille efforts n'apporte aucune garantie de renverser le cours de l'Histoire. Le rêve d'ingénieur enfin concrétisé peut encore se transformer en cauchemar parce que mal adapté aux besoins, trop cher, trop ingérable, trop dangereux... Direction: le musée! Souvenez-vous de feu la navette spatiale américaine, l'objet le plus complexe jamais conçu à ce jour, fort de 2,5 millions de composants. Dans les années 1970, la Nasa annonçait que ce vaisseau assurerait un accès facile et bon

LES LEÇONS DU XX^e SIÈCLE

LA RÉUSSITE DU LHC

Le défi était titanesque: construire, puis faire fonctionner un accélérateur de particules long de 27 km, guidé par 1 700 énormes aimants supraconducteurs, alimentés par un circuit cryogénique dont les 40 000 soudures étanches ne peuvent faillir... Un défi rempli grâce à une organisation bien huilée et au progrès des méthodes de contrôle. Depuis le printemps 2010, les résultats s'accumulent, dont le fameux boson de Higgs.

marché à l'espace. Non seulement l'objectif ne fut jamais rempli, malgré 20 000 employés mis sous pression, mais deux appareils sur cinq se sont crashés avec leurs astronautes. *"En l'état actuel des connaissances, le concept de lanceur réutilisable reste une fausse bonne idée, car cela conduit à trop de complications"*, tranche Jean-Yves Le Gall (Arianespace).

Les programmes annoncés dans les pages précédentes ne seront pas à l'abri de tels déboires. Et si, par exemple, la fusion nucléaire s'avérait une forme d'énergie trop peu fiable ou coûteuse à produire? *"On peut en effet l'envisager, reconnaît Akko Maas du projet Iter. Simple-ment, la fusion est l'une des rares solutions possibles au problème énergétique mondial, et mes petits-enfants m'en voudraient de ne pas l'avoir au moins tenté!"*

C'est d'ailleurs là le secret de tous les projets réputés impossibles, d'hier comme de demain: être portés par des hommes convaincus que le défi mérite absolument d'être relevé, aussi démesuré soit-il. Car après tout, le LHC a bien été construit – et il a découvert le boson de Higgs! –, le tunnel sous la Manche creusé, l'immense barrage chinois des Trois-Gorges érigé... Preuve que, quand les besoins sont essentiels, voire vitaux, comme garantir l'accès aux ressources énergétiques et alimentaires, assurer les liens entre les hommes en faisant fi de la géographie, comprendre les secrets de la matière ou de l'Univers... la motivation humaine peut être sans limite et l'impossible toujours repoussé plus loin. Peut-être que, plus que n'importe quel autre siècle avant lui, le XXI^e siècle sera le plus à même, non seulement de tenter l'impossible, mais de le réaliser: ne reste plus aux futurs ingénieurs qu'à apprendre des erreurs du passé.

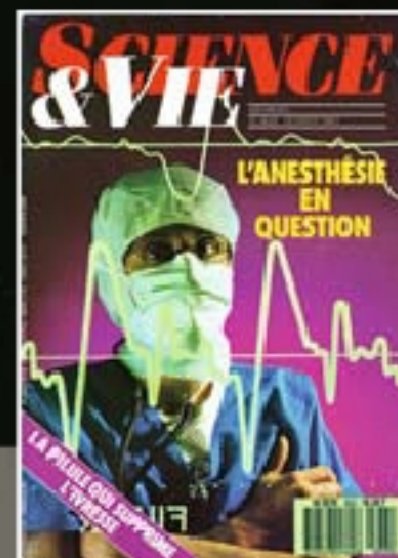


EN
SAVOIR
PLUS**

L'analyste Bent Flyvbjerg retrace dans *Megaprojects and Risk: An anatomy of Ambition* (Cambridge university press, 2003) les vicissitudes rencontrées par les grands projets passés.

SPÉCIAL 100 ANS

ILS ONT DÉJÀ FAIT LA UNE



1900 1913

Peut-on autoriser les nouvelles méthodes de procréation ? Est-il raisonnable de se chauffer à l'énergie nucléaire ? A-t-on le droit de modifier génétiquement la nature ? Et de faire revivre des espèces disparues ? Durant les cent dernières années, les développements scientifiques, techniques et médicaux ont fait surgir au cœur de la société des questions éthiques radicalement nouvelles, qui ont bouleversé des principes, secoué des repères et bousculé des opinions. Sur toutes ces questions restées longtemps inimaginables avant de devenir inévitables, *Science & Vie* a tâché de donner au lecteur les moyens de se faire son propre jugement. Dans les

VERS DE NOUVEAUX DÉBATS

cent ans à venir, l'avancée des techniques et des connaissances va, de toute évidence, imposer de nouveaux débats éthiques, qui seront tout aussi clivants et inattendus. Des débats que les progrès scientifiques et techniques vont là encore imposer à la société. En voici six exemples. De quoi inviter, déjà, à y réfléchir...

NASA/GEOSTAR



2013

2100

L'HOMME OSERA-T-IL DÉLIBÉRÉMENT MANIPULER LE CLIMAT ?

Par Boris Bellanger

Malgré le protocole de Kyoto, l'humanité a exhalé 35 milliards de tonnes de CO₂ en 2012, contre 22 milliards en 1990. A ce rythme, certains entrevoient une hausse de la température du globe de 4 °C dès 2060 ! Face à la menace, et faute de parvenir à endiguer les émissions de gaz à effet de serre, le XXI^e siècle sera contraint de réagir. Et, tôt ou tard, se posera la question qui promet de faire des vagues, celle de manipuler délibérément la machinerie climatique terrestre pour contrer le réchauffement. Car les idées ne manquent pas : ensemercer les océans avec du fer pour favoriser le pompage biologique du CO₂ ; injecter des particules de soufre dans la stratosphère ; placer des miroirs en orbite pour bloquer les rayons du soleil... Une fois déployées, certaines de ces techniques de géo-

ingénierie aboutiraient à un refroidissement général en quelques années seulement. Revers de la médaille, cela perturberait le régime des précipitations. Sans compter d'autres effets secondaires... Seule certitude : il y aura des gagnants et des perdants. Et c'est là que le débat se cristallise ! "A l'image du changement climatique induit par l'homme par inadvertance, les conséquences ne seront certainement pas les mêmes pour tous les pays et toutes les populations, soulevant ainsi des préoccupations d'ordres légal, éthique, diplomatique", note la

Société américaine de météorologie. Sachant qu'il ne peut en limiter l'impact pour les autres, un pays peut-il décider seul de modifier le climat ? *A contrario*, de quel droit empêcher un pays victime du réchauffement de tenter d'améliorer le sort de ses citoyens ? "Certains pays, comme la Russie, pourraient accueillir favorablement un peu de réchauffement. Pourraient-ils du coup décider d'abattre des fusées indiennes ou chinoises visant à stabiliser la mousson en Asie ?", s'interroge le climatologue allemand Hans Joachim Schellnhuber.

Anticipant de futures tensions, des voix s'élèvent déjà pour que la mise en place d'une gouvernance internationale précède

le développement de ces technologies. D'autant que certaines seraient à portée de toutes les bourses. La bataille a, du reste, déjà commencé : en 2011, plus

ON SAIT COMMENT RÉGULER LE CLIMAT MAIS... IL Y AURA DES PERDANTS !

de soixante-dix ONG ont signé une pétition réclamant l'arrêt d'une expérience d'injection de particules à haute altitude. Et la résistance pourrait s'intensifier. "De la même façon que des essais en plein champ de cultures transgéniques ont été détruits, il est prévisible que des actions similaires soient entreprises contre des expérimentations de géo-ingénierie", anticipe la Royal Society. Dangereuse manipulation de la nature ou dernier espoir d'échapper à la catastrophe climatique annoncée ? Une chose est sûre : ça va chauffer.



FAUDRA-T-IL ACCORDER DES DROITS AUX MACHINES INTELLIGENTES ?

Par Román Ikonicoff

C'est inévitable. Si les progrès de l'intelligence artificielle et de la cybernétique permettent un jour de fabriquer des robots à l'intelligence comparable ou supérieure à celle des humains, la question s'imposera. Mais parions que le droit des machines agitera les sociétés bien avant. *"Les roboticiens s'accordent sur l'imminence d'un débat éthique"*, affirme même Kate Darling, chercheuse au Massachusetts Institute of Technology (MIT). En cause: l'irruption attendue dans les hôpitaux, les écoles ou les maisons de retraite, des robots sociaux, des machines autonomes programmées pour simuler un comportement social en communiquant et interagissant avec les humains au niveau émotionnel. Et en quoi ces machines qui ne sont pour l'instant que des grille-pain améliorés, sans une once de conscience ou de sensibilité, vont-elles faire débat? *"Les roboticiens savent que les gens 'anthropomorphisent' fortement les robots sociaux: ils les perçoivent et les traitent différemment des autres objets"*, explique la chercheuse. Au point de projeter sur eux leurs propres qualités de conscience, de volonté, de sensibilité...

Son recensement des études sur l'interaction entre ces robots et ceux qui les côtoient montre que ce lien est aussi fort qu'avec nos animaux de compagnie (même les robots démineurs briseraient le cœur des soldats quand ils sautent...). Dès lors, torturer ou mettre à mort un robot, même s'il est aussi peu brillant qu'un grille-pain, c'est faire souffrir... ceux qui s'y sont attachés! Avec la multiplication prévue des robots sociaux, on peut imaginer l'impact délétère sur la société. D'où l'intérêt, selon Kate Darling, d'établir au plus vite un droit des machines: *"Cela éviterait à la société de voir ses valeurs se dégrader."* Au-delà

d'initiatives locales, comme la Société américaine pour la prévention de la cruauté envers les robots (ASPCR), fondée en 1999, ce sont surtout les pays asiatiques qui y sont pour l'instant sensibles. La Corée du Sud travaille ainsi à intégrer à la loi, à l'horizon 2020, des articles instituant le droit des robots à *"exister sans la peur d'être blessé ou tué"* et à *"vivre une existence libre d'abus systématiques"*. Rien de tel, pour l'instant, en Europe. Mais parions qu'il y aura de belles empoignades politiques, religieuses et juridiques.





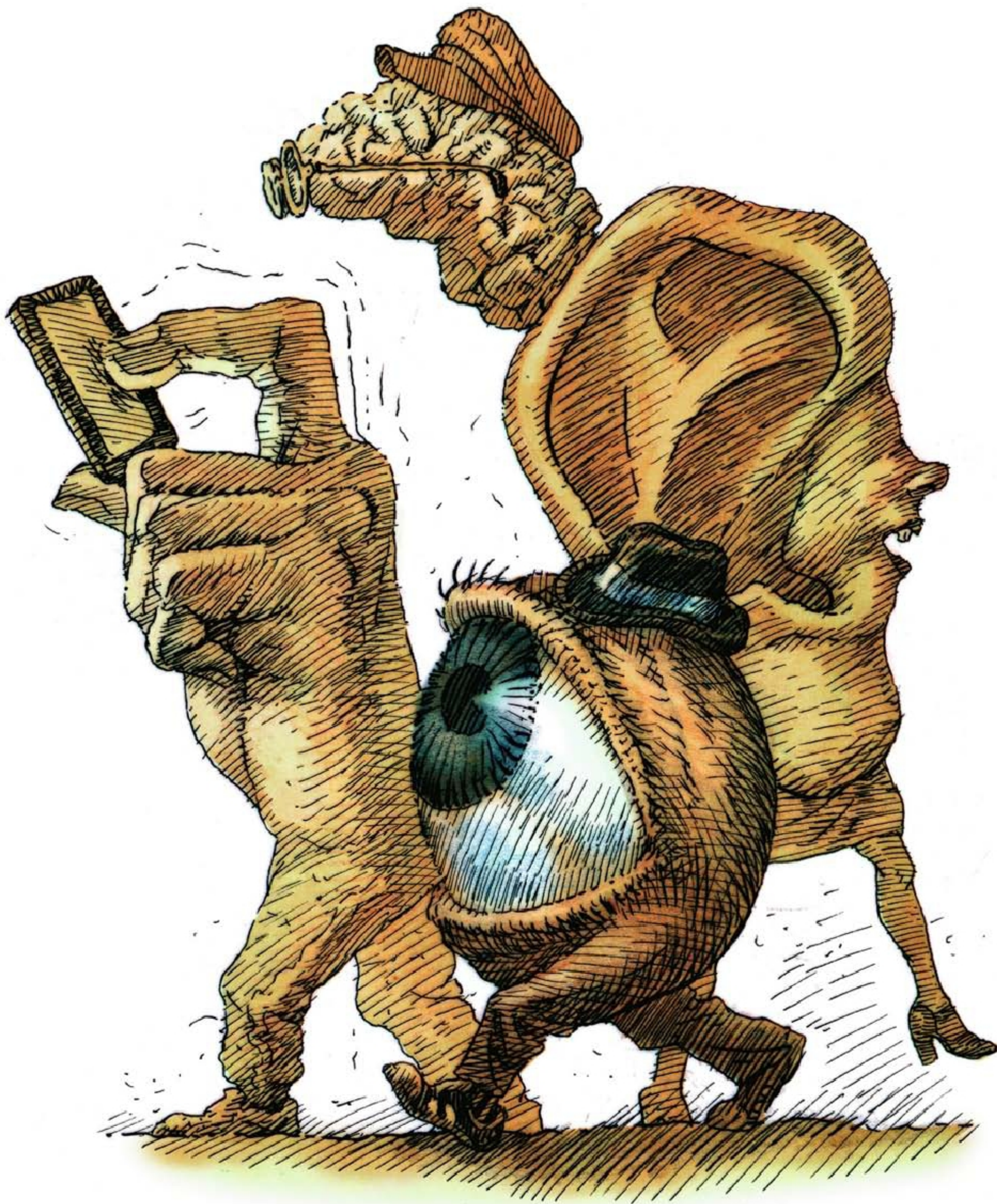
LES RESSOURCES DE L'ESPACE DEVIENDRONT-ELLES PRIVATISABLES ?

Par Muriel Valin

Hélium 3, platine, silicium... Le siècle à venir pourrait voir s'ouvrir les premières mines de l'espace (voir p. 96). Et la question se posera alors inéluctablement : à qui appartiennent les richesses de l'eldorado spatial ? A l'entreprise qui aura su les récupérer ? Au pays dont elle est issue ? A tous les Etats du monde, sous un statut de bien international ? Jusqu'ici, la problématique ne s'est pas vraiment posée puisque personne n'est encore capable de rapporter du cosmos autre chose que... quelques centaines de kilos de roches lunaires. Le traité de l'espace de 1967, seul texte appliqué pour l'heure par l'ensemble de la communauté spatiale, interdit d'ailleurs toute appropriation d'astre. Oui, mais il ne dit rien de ses ressources. Il y a bien eu une tentative, en 1979, initiée par les Nations unies, pour faire passer un nouvel accord sur la notion

de non-propriété étatique ou individuelle des ressources de la Lune et des autres corps du système solaire. Mais ni les Etats-Unis, ni la Russie ni la Chine n'ont souhaité le ratifier... Ce qui en dit long sur les joutes à venir et leur âpreté lorsque, les technologies devenant au point, la question se posera véritablement.

Comment va se dérouler le débat ? A coups de lois ou de faits accomplis ? *"Dans le domaine spatial, une règle prédomine, corollaire de la liberté d'exploration et d'utilisation : 'Premier arrivé, premier servi !' "*, souligne Julien Mariez, chef du service juridique de l'agence française de l'espace (Cnes). Parions donc que dans un premier temps, surfant sur le flou juridique, les grandes puissances fonceront sur tout eldorado spatial, avant que de nouveaux venus dans l'espace, comme l'Inde, réclament à leur tour une part du gâteau. Mais parions aussi que le traité de 1967 sera vite remis en débat. Des pays non spatiaux et des instances internationales, telles que l'Onu, avanceront probablement que les richesses de l'espace appartiennent à tout le monde, et pas seulement à ceux qui ont ce trésor à leur portée. De beaux débats en perspective sur la notion de propriété d'Etat et de propriété individuelle, entre médiations diplomatiques et Far West spatial... avec les besoins de l'humanité en toile de fond !



JUSQU'OU L'INDIVIDU POURRA-T-IL SE MODIFIER LUI-MÊME ?

Par Elsa Abdoun

Dans 100 ans, cette question aujourd'hui saugrenue sera prise très au sérieux. Car le XXI^e siècle sera celui des greffes cérébrales améliorant les capacités intellectuelles, des exosquelettes métalliques démultipliant la force, des thérapies cellulaires qui repoussent les limites de l'espérance de vie... Autant de technologies qui nous donneront les moyens d'augmenter artificiellement nos facultés physiques et intellectuelles et de dépasser notre condition naturelle. Emergera alors une humanité augmentée, ou "transhumanité", et, avec elle, d'intenses débats. Les arguments croisés des théoriciens transhumanistes, rêvant à l'amélioration future de l'homme, et de quelques éthiciens et philosophes s'y opposant, en donnent déjà un aperçu.

Première interrogation : ne va-t-on pas dénaturer l'humain ? Voire le faire tout bonnement disparaître au profit d'une autre espèce ? Ce à quoi les partisans du transhumanisme répondent que la nature humaine est, justement, de toujours chercher à dépasser ses limites naturelles. Autre point qui devrait déchirer les sociétés de demain à propos des technologies d'amélioration de l'humain : le risque d'explosion des inégalités. De fait, ces technologies seront coûteuses et tout le monde n'y aura donc pas accès. De quoi diviser l'humanité en presque deux espèces distinctes avec, d'un côté, les humains améliorés, ou transhumains, et de l'autre, les "non-

augmentés". Ces derniers se retrouveraient alors en marge, dans une société réorganisée autour des nouvelles capacités partagées par le reste de la population. Une personne dénuée d'implants rétiniens permettant de voir la nuit, par exemple, serait perdue dans un monde où l'éclairage public serait, du fait de ces implants, devenu désuet. Ce qui soulève un troisième problème : la liberté de choix, face à la pression sociale, de ceux qui ne souhaiteraient pas de telles améliorations pour eux-mêmes. Face à ces arguments, les partisans du transhumanisme rétorquent qu'on ne doit pas interdire, au nom de l'égalité, aux personnes qui le souhaiteraient, et le pourraient, d'améliorer leurs conditions de vie. De plus, chacun n'est-

il pas libre de disposer de son corps ? Si cette question est déjà au cœur de virulents débats (euthanasie, prostitution, gestation pour autrui...), elle est vouée à prendre une

**FIXER UN CADRE
À L'ESSOR D'UNE
"TRANSHUMANITÉ"
VA BIENTÔT
DEVENIR CRUCIAL**

ampleur totalement inédite au cours du siècle qui s'ouvre. Car se posera alors la question nouvelle de fixer un cadre aux améliorations technologiques du corps, *a priori* parfaitement positives pour la personne qui peut les choisir librement.

Emergence de nouvelles questions éthiques, résurgence d'interrogations millénaires... S'il y a bien une caractéristique humaine que les technologies du XXI^e siècle n'altéreront pas, c'est la propension de l'homme à toujours s'interroger sur lui-même.



QUE FAIRE LORSQU'ON AURA DÉTECTÉ DE LA VIE EXTRATERRESTRE ?

Par Mathilde Fontez

Nul ne sait si on trouvera, mais quand ce sera le cas, il sera trop tard pour débattre. Car ça y est : les télescopes capables de détecter la vie sont sur le point de prendre leur place en orbite ; et dans moins de dix ans, ils commenceront à éplucher l'atmosphère des milliards et des milliards de planètes hospitalières qui peuplent la Voie lactée, dans l'espoir de découvrir la trace d'une autre biologie... Du coup, des questions jusque-là théoriques deviennent on ne peut plus brûlantes : que faire le jour où la découverte d'E.T. fera la une des journaux ? Communiquer avec lui ? Et si oui, que lui dire ? Qui tranchera ?

Pour l'instant, seuls quelques chercheurs débattent. Certains préconisent le silence total, en vertu du principe de précaution ; d'autres élaborent des encyclopédies entières qui ne taisent rien de l'humanité, de son métabolisme à son histoire guerrière ; ou, à l'inverse, rédigent des messages mathématiques afin, surtout, de ne dévoiler que notre capacité à raisonner...

Pourtant, lorsque l'humanité aura enfin détecté un signal indiquant la présence d'une vie extraterrestre, le débat ne pourra pas rester la propriété de quelques experts. Ce jour-là, il sera même déjà bien tard pour se poser les bonnes questions, au risque qu'un gouvernement ou une firme ne décide unilatéralement d'envoyer ses propres salutations. Les membres du comité Seti (Search for Extra-Terrestrial Intelligence) en sont conscients, qui ont déjà prévu un garde-fou : ils ont rédigé un protocole qui stipule qu'aucun message ne devra être émis avant que des consultations internationales soient engagées. Il a été signé par de vénérables institutions telles que l'Union astronomique internationale, mais, pour l'instant, il n'engage ni la responsabilité des Etats ni celle des entreprises privées. *"L'idéal serait qu'il soit ratifié par un organisme international tel que l'Onu. Cela garantirait que le débat pourra avoir lieu lorsque la question se posera"*, estime Douglas Vakoch, du Seti. Et peut-être, alors, assistera-t-on au premier référendum à l'échelle de l'humanité.

L'EXPLOITATION DES TERRES VIERGES DE L'ANTARCTIQUE AURA-T-ELLE LIEU?

Par Vincent Nouyrigat

Mardi 14 janvier 2048. La date est déjà inscrite sur les agendas des grands de ce monde. Car ce jour lointain marquera la réouverture des discussions sur le protocole de Madrid, signé en 1991, ce complément implacable du traité sur l'Antarctique qui fait du pôle Sud une réserve naturelle à l'abri de toute exploitation économique, en particulier minière.

Oui, mais! En 2048, les 9 milliards d'habitants de la planète ne manqueront pas d'exprimer, Chine, Inde et Russie probablement en tête, leurs besoins pressants. Besoin de nourriture... alors que l'océan Austral regorgera de 500 millions de tonnes de krill, ces crevettes qui constituent la dernière grande source sauvage de protéines animales. Besoin de matières premières aussi... car ce serait bien le diable si l'Antarctique ne recelait pas quelques

gisements mirifiques: pétrole, charbon, uranium, fer, cuivre, platine. Tentant, non? Vital même, et inéluctable, pour les partisans de son exploitation, arguant que l'humanité ne peut plus se payer le luxe d'un tel sanctuaire. Ce à quoi les défenseurs d'un Antarctique intouchable opposeront les dégâts commis par cette logique folle de surexploitation des ressources fossiles: de fait, la montée des eaux liée au réchauffement climatique sera patente dans 35 ans. Ils brandiront aussi l'image révoltante du continent blanc virant au gris industriel, ou alerteront sur la possible disparition du krill, nourriture de base des baleines, phoques, manchots... Et puis, autoriser l'exploitation de l'Antarctique ne reviendrait-il pas à ouvrir une zone de conflits? Personne n'a oublié qu'avant le traité sur l'Antarctique, signé en 1959, sept pays, dont la France, revendiquaient une partie de ce territoire.

Preuve de l'importance de cette échéance de 2048, les deux camps affûtent déjà leurs arguments. D'un côté, la Russie et la Chine cherchent à évaluer les formidables ressources en présence, quitte à flirter avec l'illégalité, la prospection étant interdite en Antarctique. De l'autre, l'Australie, l'Espagne et la France tentent de rallier au protocole de Madrid, tel qu'il existe, une dizaine d'Etats retardataires afin de rendre sa remise en question plus difficile. Ce débat n'aura beau s'ouvrir officiellement que dans 35 ans, les diplomates en ont des sueurs froides.



Horizon 2100

LE DÉFI DE LA DÉCISION

Crises alimentaires et sanitaires, catastrophe nucléaire... Autant d'événements qui ont alimenté la méfiance du public face au progrès. Face à cette situation, le XXI^e siècle va devoir repenser la façon dont se décident les avancées technologiques. Comment ? Tel est bien le défi.

PAR EMMANUEL MONNIER

Plus efficaces qu'un long discours, les photos de rats déformés par d'impressionnantes tumeurs, exhibées par le biologiste Gilles-Eric Séralini comme autant de pièces à charge, martelaient en septembre dernier leur message: le maïs OGM dont les rats avaient été nourris durant deux ans était bel et bien dangereux. Les contre-arguments d'experts en toxicologie ont été entendus par les autorités de régulation, en même temps qu'était admise la nécessité de remettre à plat certaines procédures de test, mais cela n'a pas fait le poids, dans les médias, face au choc des photos. En mars 2011, c'étaient les réacteurs inondés de Fukushima qui rouvraient la question de la sécurité du nucléaire. Tandis qu'un an plus tôt, les nanotechnologies soulevaient en

France un front du refus si radical que le débat public alors organisé dans plusieurs villes virait au fiasco (lire l'encadré p. 117).

Sans en arriver à ces extrémités, les deux dernières décennies ont vu se multiplier les manifestations de méfiance du public face aux technologies. Non que le progrès ait auparavant échappé à la suspicion (lire "Ce qu'on en pensait il y a 100 ans")... Mais l'accumulation accélérée de crises sanitaires et environnementales (vache folle, médicaments aux redoutables effets secondaires, pesticides dangereux, etc.) a tant grignoté le crédit accordé à ceux qui promeuvent ou encadrent l'usage des produits incriminés que la crise de confiance est aujourd'hui chronique. Et vient rebattre les cartes de la décision. Les sociétés développées peinent à accepter l'idée que les technologies de demain soient décidées au sein de cercles restreints d'experts, les grandes orientations technologiques appartenant autant à ceux qui les promeuvent qu'à ceux susceptibles d'en profiter... ou d'en pâtir.

La porte ouverte à la dictature de l'opinion ? Loin s'en faut ! Le besoin de juger par soi-même des qualités, des risques, de l'intérêt public des technologies fait plus que jamais appel à la science. Quelle que soit la controverse, rares sont les appels à interrompre la recherche. "Sur les questions de santé environnementale, terrain où il y a beaucoup d'incertitudes, les mouvements associatifs réclament au contraire, le plus souvent, davantage de science", observe Yannick Barthe, sociologue des controverses environnementales au CNRS (Institut Marcel Mauss, Ecole des hautes études en sciences so-

ciales – EHESS). Ainsi, en 2009, la présidente d'une association de victimes du DMFu (un antimoisissure utilisé dans des fauteuils ou des chaussures) a entamé une grève de la faim pour pousser le ministère de la Santé à ordonner des analyses évaluant la toxicité du produit, soupçonné de causer de graves brûlures. Le débat n'est donc finalement pas pour ou contre la science, mais quelle science, quel progrès, pour quels bienfaits ou quels méfaits.

Seulement voilà, pour trancher, le XXI^e siècle hérite du XX^e siècle une question en forme de défi : à quelle expertise se fier, avant toute prise de décision ? Les instances usuelles – organismes d'Etat, laboratoires dépendant des grandes firmes industrielles – sont désormais suspectes, faute de n'avoir su ni anticiper ni gérer de graves crises sanitaires. *“L'exemple emblématique, en France, c'est Tchernobyl, détaille Dominique Pestre, historien des sciences à l'EHESS. Quand l'Institution de sûreté nucléaire déclare que le nuage radioactif n'a pas affecté la France, cela crée une réaction d'incrédulité totale : évidemment que le nuage a traversé la frontière !”*

LA NÉCESSITÉ DE COMITÉS INDÉPENDANTS

Autre domaine au crédit sérieusement entamé : l'agroalimentaire. *“On ne trouve qu'une poignée de nutritionnistes en France dont la recherche ou le passage dans tel ou tel congrès n'a pas été financé, à un moment ou un autre, par l'industrie agroalimentaire”, s'alarme Francis Delpeuch, spécialiste en nutrition publique. Et l'argent n'est pas le seul problème. “Les commissions contrôlant les biotechnologies n'étaient composées, au départ, que de biologistes moléculaires. Evidemment qu'ils étaient d'accord sur tout ! Ils sont convaincus qu'ils font des choses extraordinaires, ils n'en voient pas les dégâts, donc ils disent : scientifiquement, on ne voit pas de problème. Mais dès que vous changez la composition de la commission, d'un seul coup les avis sont différents”, constate Dominique Pestre. En réponse aux faiblesses de l'expertise officielle, se sont constituées récemment des organisations indépendantes, comme la Commission de recherche et d'information indépendantes sur la radioactivité (Criirad), qui établissent leurs propres ser-*

LES LEÇONS DU XX^e SIÈCLE

LE CONSENSUS MONDIAL DU GIEC SUR LE CLIMAT

En 1988 est créé le Groupe intergouvernemental sur l'évolution du climat, la plus large instance d'expertise scientifique du XX^e siècle (2 500 chercheurs, 130 pays). Depuis, le Giec a produit 4 rapports qui établissent le réchauffement et l'influence majeure de l'homme. Mais sans réussir à répondre, dans les faits, à l'urgence climatique... Trop consensuel ?



vices de mesure et publient leurs résultats ; ou, en médecine, des associations de patients, qui agrègent données et analyses sur certaines maladies et certains traitements.

Mais le problème demeure : comment s'assurer que les experts produisent des faits et des arguments recevables par tous ? Yannick Barthe repère ici deux tendances contradictoires, avec lesquelles le XXI^e siècle va devoir composer. La première consiste à renforcer l'indépendance des experts, en étant beaucoup plus rigoureux, par exemple, sur l'absence de conflit d'intérêt, ou en privilégiant les études sur fonds publics. Sauf que *“cela ne garantit pas l'absence de critique”, prévient le sociologue. Qui, à titre personnel, voit plus d'avenir dans l'idée de “ne pas chercher systématiquement à éviter tout conflit d'intérêt, mais à avoir des comités d'experts équilibrés, où toutes les positions seraient représentées”.* Une démarche qui a elle-même ses défauts. Jean-Baptiste Fressoz, historien des sciences à l'Imperial College London, y voit un piège : *“C'est accepter une politique des lobbies. Parce que quand on va consulter, qui va répondre ? Les plus puissants. Toute la masse des sans-grade et des silencieux, qu'est-ce qu'on en fait ? Faire en sorte que tous les intérêts puissent s'exprimer, c'est très compliqué.”*

Se passer alors tout à fait d'instances de délibération et d'arbitrage ? Difficilement concevable. Qui pourrait se prononcer, en son âme et conscience, le lundi sur la norme à fixer →

À QUI SE FIER, QUAND LES EXPERTS OFFICIELS SONT DEVENUS SUSPECTS ?

→ pour les émissions de particules des moteurs diesel, le mardi sur le taux maximal de sucre dans les laits infantiles, etc. ? Malgré leurs imperfections, les institutions – universités, académies, assemblées représentatives... – dont relèvent les experts sont essentielles. Comme le rappelle l'anthropologue des sciences Bruno Latour dans son dernier ouvrage (voir "En savoir plus"), *"les institutions n'ont d'autre justification que de recueillir les valeurs; sans institution [...], il n'y a que le fondamentalisme qui puisse triompher"*. Or, aussi pointues que soient les considérations scientifiques d'un débat, il s'agit bien de choisir, *in fine*, quelles valeurs emporteront la décision.

On le voit : la forme idéale que devra prendre l'expertise pour mériter d'être dite "démocratique" est encore à inventer. Certes, le Giec, instance d'expertise sur le climat mondial, a réussi

une rapide formation assurée par des experts, questionne des représentants du monde politique, économique, associatif et scientifique – au risque que cela se réduise à un imprimatur de décisions déjà articulées.

POUVOIR REVENIR EN ARRIÈRE S'IL LE FAUT

Mais, au fil des expérimentations, s'esquisse une idée prometteuse. Celle que les décisions technologiques doivent être réversibles, afin de ménager, au fur et à mesure de l'avancée des techniques et des connaissances, la possibilité d'une alternative. Evident ? La gestion des déchets nucléaires prouve que non. Yannick Barthe a longuement étudié comment, par une succession de choix répondant chacun à des contraintes spécifiques, la plupart des experts du nucléaire en sont venus, à la fin des années 1980, à considérer qu'il n'y avait qu'une solution envisageable pour ces déchets : les enfouir dans des couches géologiques profondes. Une conclusion impossible à remettre en question depuis, car cela conduirait à revenir sur quantité d'autres choix – comme le retraitement du combustible, qui répond à des objectifs industriels et politiques d'indépendance énergétique. Et donc, à anéantir de lourds investissements et à affronter une multitude d'acteurs interdépendants. *"La question de l'irréversibilité dépasse largement le nucléaire, fait valoir le sociologue. On a du mal à imaginer revenir en arrière sur le développement des télécommunications, par exemple. Mais il y a d'autres situations pour lesquelles on en est au début de l'histoire, et où les choix sont encore ouverts."*

Au vrai, même en ce qui concerne les déchets nucléaires, la donne est en train de changer. La décision est aujourd'hui actée : le stockage sera géologique. Mais ce stockage devrait être réversible, ménageant, à l'avenir, un retour en

IL RESTE À INVENTER LE CADRE ET LES PROCESSUS D'OU POURRAIT ADVENIR UNE "DÉMOCRATIE TECHNIQUE"

l'exploit de produire des rapports consensuels issus de centaines de chercheurs, imposant au monde l'idée que la planète se réchauffe dangereusement en raison des activités humaines (lire l'encadré p. 115). Mais dépasser le double fossé de nos démocraties représentatives, celui qui sépare représentants politiques et mandataires d'une part, savants et profanes de l'autre, reste un véritable défi. Pour l'heure, cette future "démocratie technique" se dessine très imparfaitement. Sous la forme, notamment, de débats publics – mais l'échec de celui mené sur les nanotechnologies montre qu'il y a encore fort à faire. Sous la forme, aussi, de "conférences de citoyens" où un panel de profanes, après

CE QU'ON EN PENSAIT IL Y A 100 ANS

Il n'y a jamais eu, dans le passé, de confiance béate dans le progrès technique. *"Au contraire, les innovations ont toujours été accueillies avec beaucoup de réserves"*, souligne Jean-Baptiste Fressoz, de l'Imperial College London. Pour preuves ? Le projet français, en 1820, d'interdire la machine à vapeur dans les villes. Ou les centaines de

milliers d'Anglais qui, dans les années 1850, défilaient contre la vaccination obligatoire. Nous n'aurions jamais ignoré, non plus, les dégâts de ce "Progrès" sur notre environnement, dès la révolution industrielle. *"Et pourtant, nous avons réussi à passer outre"*, constate l'historien des sciences. Comment ? Par des compromis, comme

l'apparition de normes de sécurité, au XIX^e siècle. Pour répondre aux craintes sanitaires, les médecins ont argué que ce serait surtout la pauvreté qui favoriserait les maladies. *"C'est un argument très fort en faveur de l'industrie : elle pollue, mais elle produit plus de richesses, donc des individus en meilleure santé"*, analyse Jean-Baptiste Fressoz.

arrière possible et intégrant les incertitudes des experts sur la tenue dans le temps des “colis” de déchets et des galeries souterraines qui les accueilleront. Pour garantir une latitude à revenir sur des choix passés, il existe même, désormais, des outils juridiques, telles les “lois expérimentales”. *“C’est-à-dire celles dans lesquelles se trouve inscrit le caractère provisoire de la loi, qui est votée aujourd’hui mais qui, dans cinq ans par exemple, devra être révisée quoi qu’il arrive, avec un nouveau débat où on essaiera de mesurer ses impacts”*, détaille Yannick Barthe.

Admettons alors que le XXI^e siècle invente les meilleures formes de débat possible, assurant, au minimum, la possibilité de réviser les choix en fonction de l’évolution des connaissances. Encore faut-il trouver le bon tempo. Car dans les faits, le plus souvent, les décisions ne se prennent pas quand, par l’intermédiaire d’associations ou d’ONG, les citoyens manifestent leurs craintes ou leurs récriminations. Mais bien avant, quand ceux qui promeuvent et financent les produits posant problème choisissent de les fabriquer et de les mettre en circulation. *“Lorsqu’il s’agit de mettre à disposition de nouvelles technologies, l’acteur central est toujours l’industrie. Nous sommes d’abord dans des logiques de marché, rappelle Dominique Pestre. Or, les phénomènes participatifs prennent du temps. De plus, souvent, ils ne débouchent pas sur un consensus, mais sur une articulation de positions opposées. Dans une logique économique, c’est un handicap majeur : la concurrence est mondiale, il faut au contraire aller très vite.”*

LE RÔLE DES ACTEURS SOCIO-ÉCONOMIQUES

Résultat ? Les conclusions des délibérations peuvent être sans aucun effet, la réalité économique prenant de court les discussions. Ainsi, en France, de la consultation publique sur les nanotechnologies, qui n’a ralenti ni le rythme des recherches, ni la mise sur le marché de centaines de produits contenant des nanoparticules. Dès lors, trop souvent mis devant le fait accompli, les processus de participation citoyenne s’essouffent.

Et même lorsque les débats se concluent en temps et en heure, le mot de la fin reste suspendu au rapport de force entre acteurs impliqués, en particulier économiques. *“Dans le domaine de la nutrition et de la lutte contre l’obésité, c’est évident. On a beau avoir des*

LES LEÇONS DU XX^e SIÈCLE

LE DÉBAT PUBLIC RATÉ SUR LES NANOTECHNOLOGIES

D’octobre 2009 à février 2010, la Commission nationale du débat public devait être le grand débat citoyen, en France, sur les nanotechnologies. Mais tables rondes et rencontres d’experts ont tourné court. Pour plusieurs associations, le débat tenait de la mascarade, car il ne s’agissait déjà plus de discuter de l’opportunité même de produire des nanotechnologies.

preuves scientifiques, d’excellents avis d’experts et des politiques qui veulent agir, si derrière il y a des acteurs socio-économiques majeurs qui ne sont pas d’accord, rien ne marche”, constate Francis Delpeuch. Les proportions de graisses, sucre, sel, etc., des aliments industriels ne sont à l’évidence pas celles que préconisent les autorités médicales. La responsabilité – de consommer ou non – est alors laissée à l’individu, guère armé pour s’en saisir.

Et que le débat touche à un sujet global, engageant des populations entières, n’y change rien. Parfois, le consensus sur les faits comme sur la nécessité d’agir est établi, mais rien ne se passe. La question du réchauffement climatique est, ici, emblématique : les milliers de pages de rapports écrites, après d’interminables discussions, par les centaines d’experts du Giec pour démontrer la réalité du réchauffement et le lien avec nos émissions de gaz à effet de serre, n’ont toujours pas débouché sur des accords contraignants pour limiter ces émissions.

L’espoir, néanmoins, est permis. Dominique Pestre note en effet que rien n’est jamais totalement bloqué, ni irréversible, dès lors qu’on regarde à l’échelle de plusieurs décennies : *“Aujourd’hui, on peut rendre irréversible dans une grande partie de l’agriculture mondiale le système des OGM. Mais si un référendum obtenait, dans dix ans, en Californie, l’étiquetage obligatoire des aliments qui en contiennent, on pourrait se retrouver très vite dans des situations de type européen, avec certains distributeurs qui commenceraient à ne plus vouloir les mettre en rayon. Quand les paramètres autour changent radicalement, ce qui paraît stable un jour ne l’est plus du tout le lendemain.”* L’avenir promet donc, quoi qu’il arrive, son lot de débats passionnés et de décisions renversantes. ■



* EN SAVOIR PLUS

L’Apocalypse joyeuse, J.-B. Fressoz, éd. du Seuil, 2012 ; *Le Pouvoir d’indécision*, Y. Barthe, Economica, 2006 ; *A contre-science*, D. Pestre, éd. du Seuil, 2013 ; *Enquête sur les modes d’existence*, B. Latour, éd. La Découverte, 2012.

SPÉCIAL 100 ANS

ELLES ONT DÉJÀ FAIT LA UNE



1900 1913

La théorie de la relativité générale, la mécanique quantique, la tombe de Toutankhamon, la structure de l'ADN, les antibiotiques, les trous noirs, le boson de Higgs... Durant ses cent premières années, *Science & Vie*, enthousiaste, a annoncé et décrypté ces grandes découvertes scientifiques, certaines très attendues, la plupart très surprenantes. Dans les cent ans à venir, de nouvelles merveilles du monde, jusqu'ici insoupçonnées ou inaccessibles, seront dévoilées. Lesquelles précisément? Impossible, bien sûr, de le savoir avec certitude à l'avance. Mais pour en avoir un aperçu, nous avons posé la question à dix-huit chercheurs, parmi les meilleurs experts de

VERS DE NOUVELLES DÉCOUVERTES

leur domaine. Et, en se basant sur leur intuition, leur conviction et leurs connaissances, ils ont accepté de nous dévoiler ce que l'avenir, selon eux, va nous réserver comme formidables bouleversements dans tous les domaines. Chacun avance de bonnes raisons de croire qu'il va se produire, ici de grandes découvertes, là de véritables avancées. Lesquelles, toutes ensemble, esquissent déjà une sorte de panorama du XXI^e siècle, aussi riche et fécond que novateur.

NASA/GEOSTAR



2013

2100

Nous allons analyser le vide interstellaire

MERAV OPHER

Spécialiste des vents stellaires, elle est la plus jeune des membres de l'équipe de la sonde Voyager, à la Nasa.

"Nous allons enfin découvrir ce qu'il y a en dehors de notre système solaire ! D'ici quelques années au plus, la sonde *Voyager 1* se sera éloignée de sa frontière au point de ne plus subir l'influence du Soleil. Et la plupart de ses instruments fonctionnent encore. Ils devraient donc pouvoir analyser la matière qui règne dans l'espace interstellaire. Grâce aux télescopes, on a déjà quelques informations, mais elles sont partielles : certaines ne peuvent être mesurées à distance, d'autres sont masquées par le vent solaire... Il est impossible de prédire ce que ces mesures vont nous apprendre, mais je suis sûre que ce sera différent de ce qu'on prévoit. A chaque fois qu'on explore un nouveau territoire, on s'aperçoit que ce n'est pas comme dans les livres."



La force des séismes ne nous surprendra plus

JEAN-PHILIPPE AVOUAC

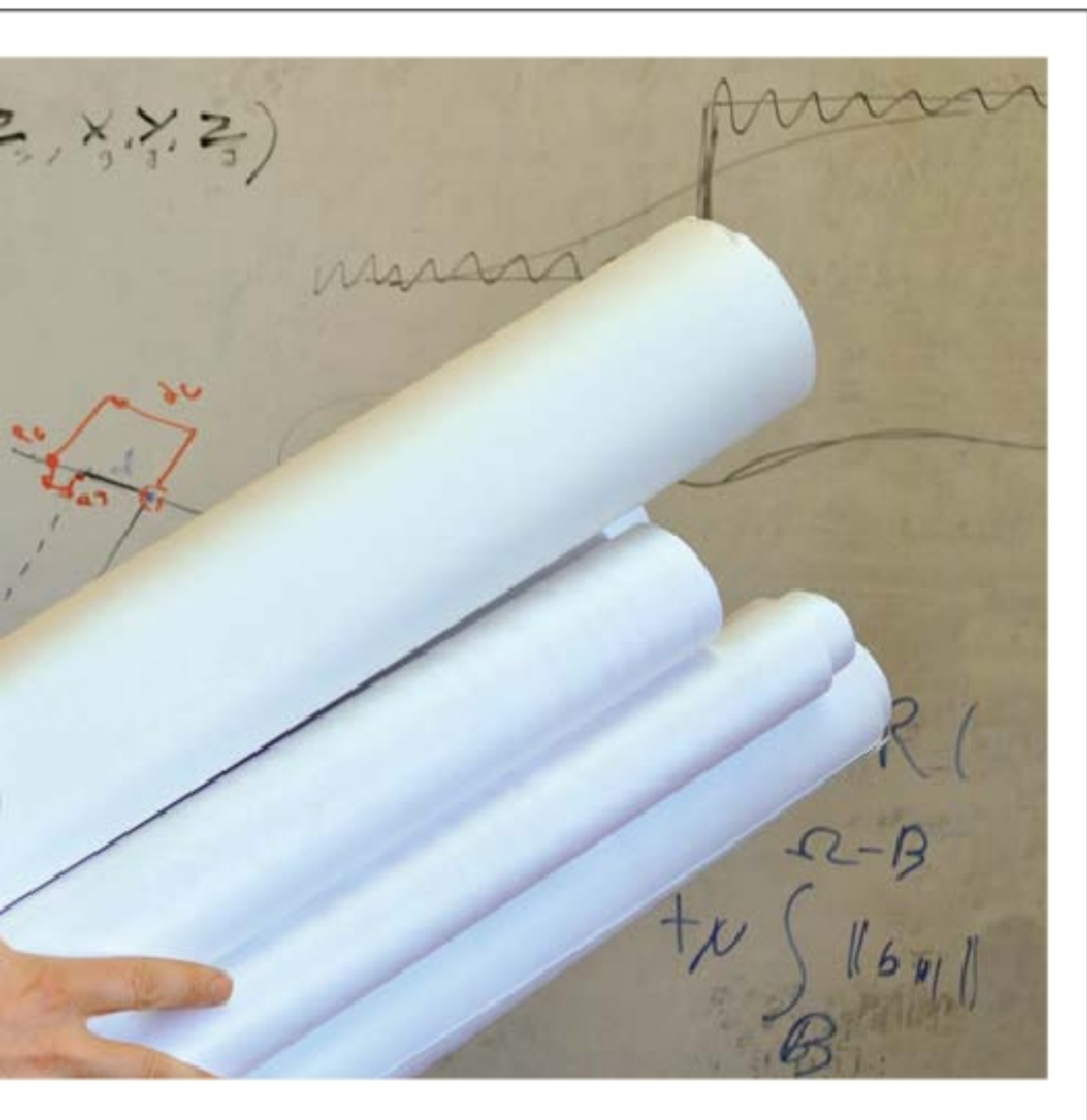
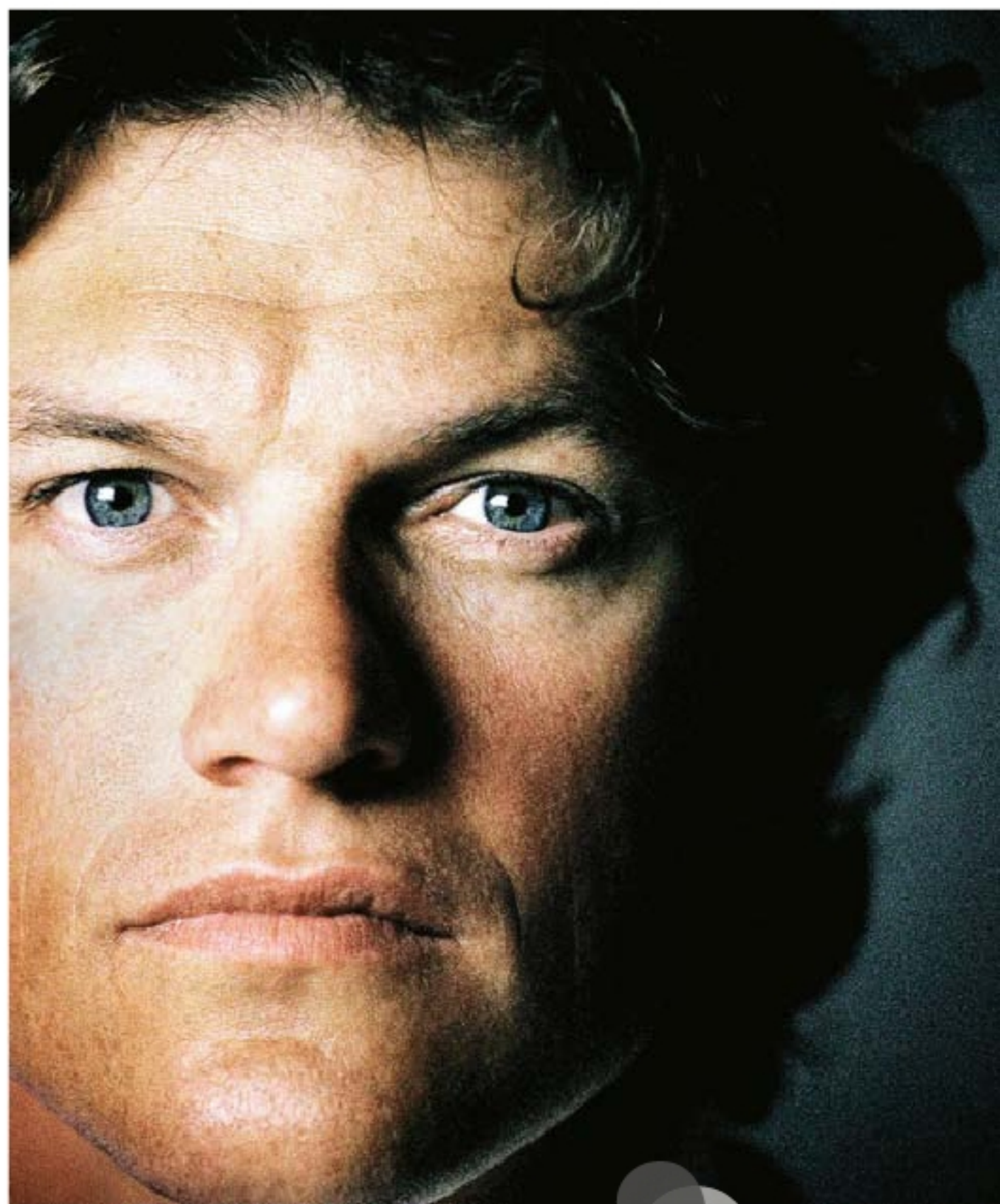
Ce géophysicien étudie les déformations de l'écorce terrestre et la dynamique des séismes en combinant les observations géologiques et géophysiques avec la modélisation numérique.

"On va comprendre pourquoi, sur une même faille, il y a des endroits qui génèrent des séismes, accumulant de l'énergie puis la relâchant brusquement, et d'autres qui glissent lentement, en continu. On saisira enfin les raisons de ces variations dans le comportement mécanique des

failles. Ce sera une grande découverte, car cela nous donnera les moyens d'évaluer le potentiel sismique des failles *a priori*. On ne sera plus limité aux catalogues historiques, qui ne remontent pas assez loin dans le temps. On pourra alors, grâce à des modèles numériques calibrés par

des observations géophysiques et prenant en compte la sismicité passée, simuler tout le spectre des séismes possibles et calculer la probabilité qu'ils se produisent. On s'acheminera ainsi vers l'évaluation de l'aléa sismique par une approche de type météorologique."





On déchiffrera les messages codés des neurones

STEVEN LAUREYS

Grand explorateur des états altérés de la conscience, ce neurologue cherche à déceler des traces de conscience chez les patients victimes de graves lésions cérébrales (coma, état végétatif, "locked-in syndrome"...).

"Tout comme les généticiens ont réussi à déchiffrer le code de l'ADN au siècle dernier, je pense que la prochaine génération de chercheurs parviendra à décrypter le code neural. Les messages que les neurones s'échangent entre eux pourront être traduits, et la manière dont ils interagissent avec l'environnement sera comprise. Nous pourrions ainsi savoir comment les pensées et les perceptions émergent de notre cerveau."



Des équations vont organiser les villes de demain

MARC BARTHÉLÉMY

Ce physicien explore les réseaux complexes dans le but de prévoir aussi bien la propagation des épidémies que l'extension d'un réseau routier.

“La physique va enfin pouvoir accompagner judicieusement le développement des villes. Jusqu’à présent, les villes nouvelles et les grands ensembles ont été dessinés de manière très dogmatique, pour un résultat souvent catastrophique. La plupart des agglomérations ‘agréables à vivre’ sont nées spontanément, dans l’auto-organisation, sans plan central. La science des systèmes complexes devrait permettre de reproduire ce phénomène. D’autant plus que les données nécessaires sont maintenant disponibles. Dans le cas de Paris: trente ans d’images satellite, plans à partir de 1789 numérisés, informations délivrées par les smartphones, etc. De premières analyses définissent déjà les structures les plus stables d’une ville, les voies de communication indéboulonnables. Ce sont là les prémices d’un urbanisme scientifique! Sachant qu’en 2050, 70 % de la population mondiale devrait vivre en milieu urbain...”





Les mathématiques élucideront la mécanique des fluides

JOHN DUDLEY

Spécialiste de l'optique, il a pris le parti d'étudier la turbulence des fluides en observant la propagation de la lumière.

"On va enfin comprendre les équations, connues sous le nom de Navier-Stokes, qui décrivent la mécanique des fluides. Pour l'instant, c'est comme si on était dans une pièce complètement noire: on tâtonne, on se cogne aux meubles... mais on va bien finir par trouver l'interrupteur! Et d'un seul coup, on va comprendre beaucoup de choses. Car ces équations sont à l'origine de toute la physique non-linéaire. En clair, c'est l'outil pour décrire le fonctionnement de réseaux complexes tels... les neurones. Si l'on parvient à comprendre les équations de Navier-Stokes – et je parie qu'on y arrivera au XXI^e siècle, car les mathématiciens ont beaucoup progressé ces dernières années –, le fonctionnement de l'intelligence pourrait être à notre portée."



Nous lèverons le voile sur l'apparition de la vie sur Terre

FRANÇOIS GUYOT

Les recherches de ce minéralogiste ne cessent de mettre en lumière les interactions entre le monde minéral et le monde vivant, notamment le rôle des bactéries dans la formation de certains minéraux.

"Je pense que nous aurons les réponses aux nombreuses questions que pose la récente découverte de micro-organismes vivant à des kilomètres de profondeur au sein de la croûte terrestre.

Que nous comprendrons, par exemple, comment ils survivent, quel rôle ils jouent dans le fonctionnement du système terrestre et, surtout, quels sont leurs liens avec les origines de la vie sur Terre."



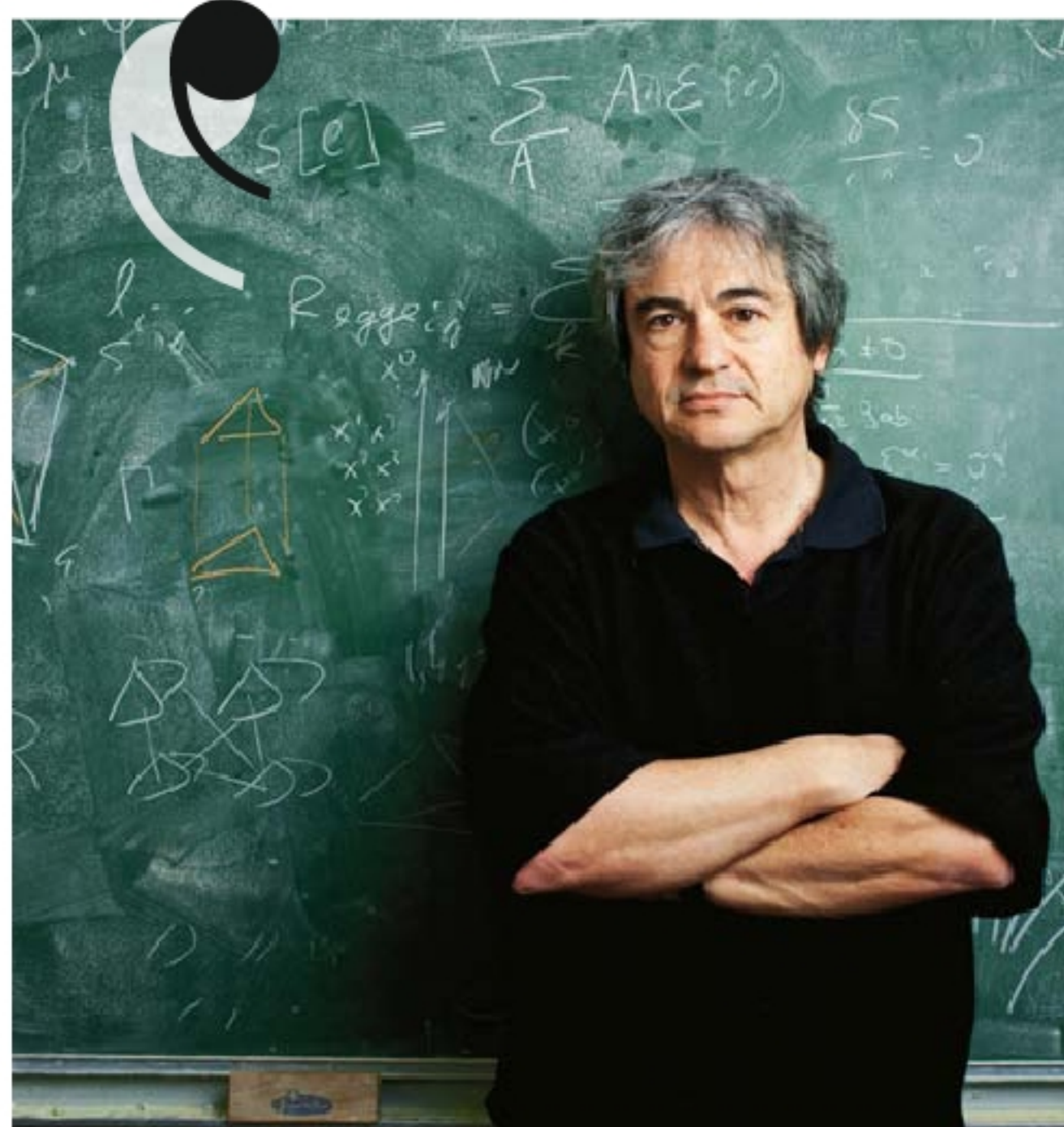
Les exoplanètes nous réservent de grandes surprises

FRANÇOIS FORGET

Spécialiste de Mars, il est à l'origine du modèle climatique global de la planète rouge. Son équipe simule aujourd'hui le climat des exoplanètes pour évaluer les conditions qui y règnent.

“Grâce aux futurs télescopes, tel le JWST, dont la mise en orbite est prévue pour 2018, nous allons nous constituer un véritable ‘zoo’ de planètes extrasolaires, pour lesquelles nous aurons des mesures précises de la composition de l’atmosphère... et c’est

sûr, nous aurons des surprises ! Si nous n’avions pas Vénus ou Titan, la grosse lune de Jupiter, sous les yeux dans notre système solaire, jamais nous n’aurions pu les imaginer ! Cela va nous obliger à revoir notre conception de la machinerie planétaire.”



Nous allons enfin explorer l'avant-big bang

CARLO ROVELLI

Physicien théoricien, il est l'un des pères de la théorie de la gravitation quantique à boucles, qui se propose de réconcilier mécanique quantique et relativité générale.

“Le modèle standard de la cosmologie décrit l’évolution temporelle de notre Univers à partir d’une situation très singulière, qui se serait produite il y a 13,7 milliards d’années : le big bang. Dans cet état, le cosmos aurait été bien plus petit, plus chaud et plus dense qu’à



On percera le secret cellulaire des organes

MARC PESCHANSKI

Ce biologiste, l'un des plus fins connaisseurs des cellules souches embryonnaires, fait partie des pionniers de la greffe de neurones dans le cerveau humain.

“En laboratoire, on sait déjà cultiver des tissus vivants, comme de la peau, mais les résultats sont encore imparfaits... et surtout très éloignés de l'organe fonctionnel. L'obstacle majeur, c'est que nous ignorons encore beaucoup de choses sur les interactions entre les différentes populations de cellules qui forment un organe. Heureusement, les découvertes dans ce domaine s'accroissent. D'ici vingt à cinquante ans, nous aurons décrypté les échanges biochimiques, mais aussi les conséquences des contraintes physiques, telles que la pression qui s'applique sur un tissu vivant au cours de son développement. Nous aurons alors les clés pour maîtriser les transformations et l'organisation des cellules au cœur des organes.”

présent, puis se serait étendu, refroidi et structuré. Le big bang est souvent assimilé à l'acte de naissance du cosmos, mais plusieurs théories considèrent aujourd'hui la possibilité que la phase 'post-big bang' de l'Univers ne représente qu'une partie de son histoire. Et, par conséquent, qu'il y ait eu un 'avant'.

En particulier, la théorie quantique à boucles, version quantique de la relativité générale, prévoit que dès lors que la densité de l'Univers devient extrême – au-delà de mille milliards de masses solaires dans une région de la taille d'un proton –, la gravitation devient répulsive : les corps ne s'attirent plus, mais se repoussent. Cette propriété inattendue de la force

de gravitation peut permettre de comprendre la physique du big bang. On peut imaginer qu'un Univers existant avant notre big bang se soit effondré sur lui-même sous l'effet de la gravitation classique, attractive. Une fois atteinte la densité critique prévue par la théorie des boucles, la gravitation serait devenue répulsive, et l'Univers aurait donc rebondi sur lui-même, commençant son expansion. Celle que nous constatons actuellement. Ce rebond constituerait donc ce que nous appelons le big bang.

D'ici cinquante ans, il est bien possible que nous ayons des preuves indirectes permettant de documenter ce scénario. Notamment, des informations

sur le rebond de notre Univers pourraient se trouver dans le fond diffus cosmologique – la plus ancienne lumière émise par l'Univers, à peine 380 000 ans après le big bang. Par exemple dans sa 'polarisation', une propriété des photons 'originels' qui a pu être affectée par les ondes gravitationnelles émises au moment du big bang.

Le satellite *Planck* vient de réaliser la carte la plus précise jamais enregistrée du fond diffus cosmologique, avec un premier accès à sa polarisation. Cela ne suffira sans doute pas. Mais la prochaine génération de satellites dédiés à cette cartographie, capables d'une résolution encore plus fine, pourra apporter une réponse.”

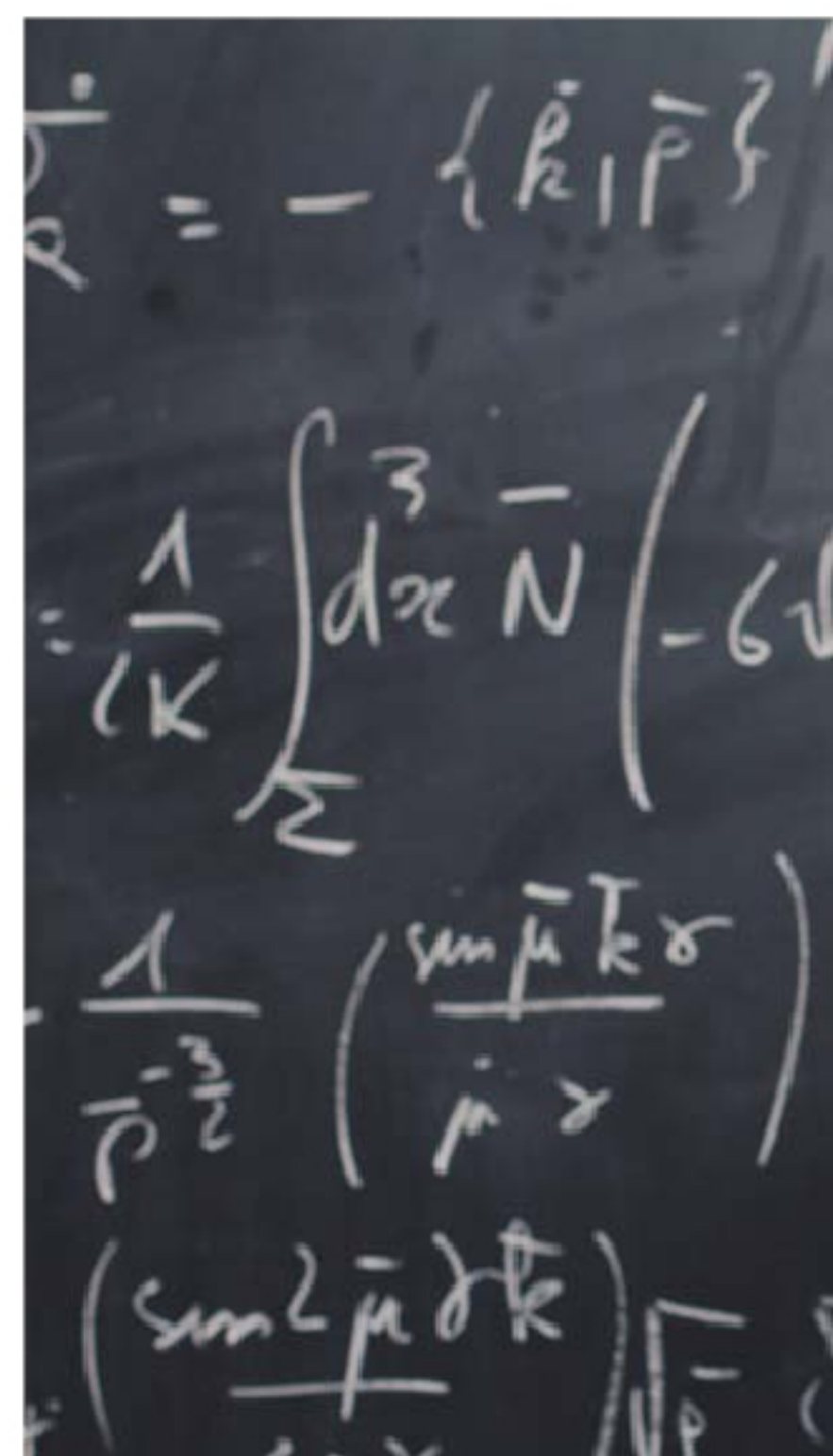


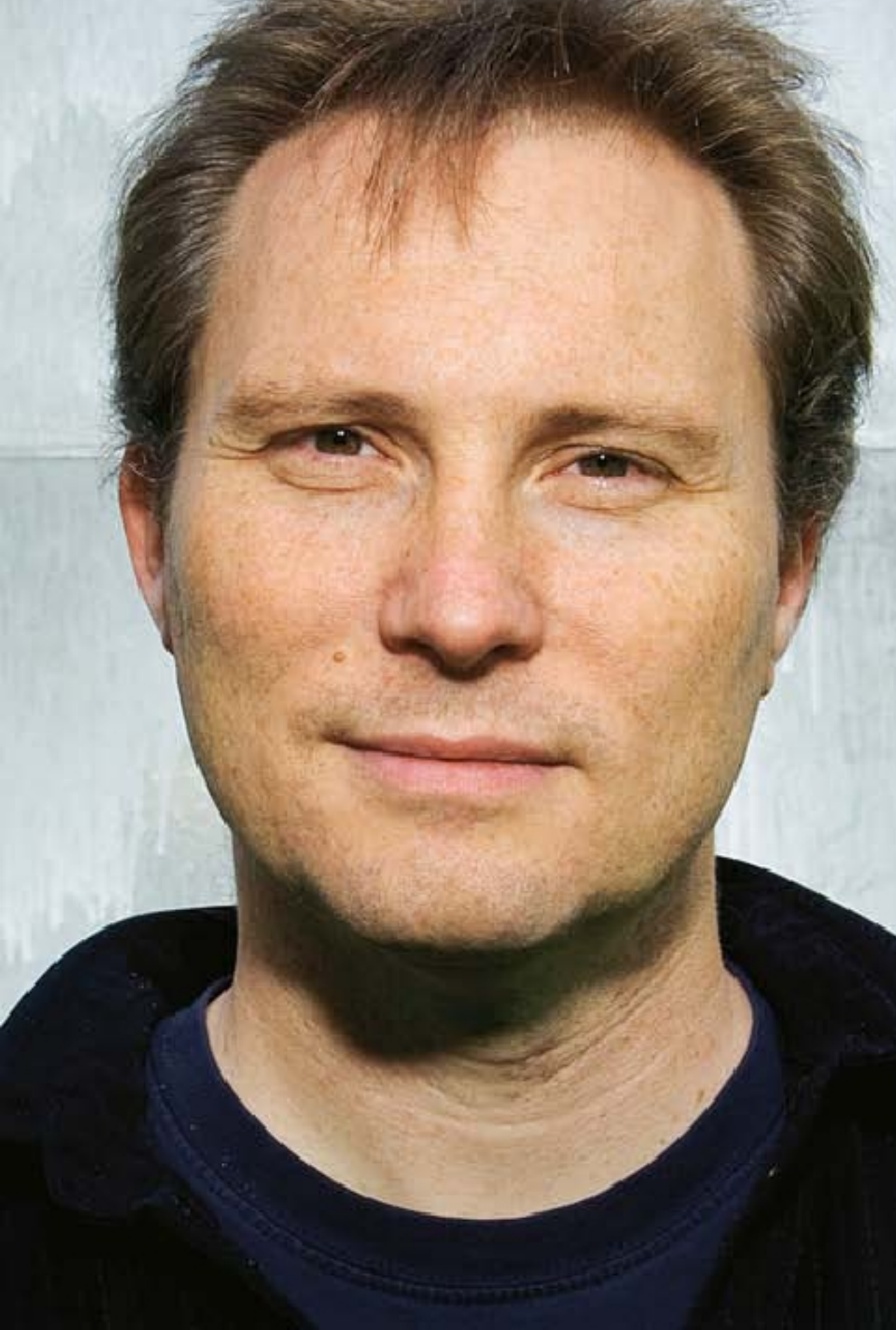
Nous allons découvrir ce que vieillir veut dire

SIMON GALAS

*Ce généticien moléculaire est un grand spécialiste de la sénescence. Ses recherches se concentrent sur *Caenorhabditis elegans*, un petit ver plat dont on sait déjà allonger l'espérance de vie à volonté.*

“Pour l’instant, nous en sommes encore au stade de l’inventaire des molécules et des réseaux de gènes qui agissent sur la vitesse du vieillissement. Accumulation des radicaux libres dans les cellules, raccourcissement des télomères à l’extrémité des chromosomes... Toutes ces modifications subies par la machinerie cellulaire au cours du temps sont recensées avec de plus en plus de précision. Mais sommes-nous face à des causes ou à des conséquences du vieillissement ? C’est le point crucial qu’il nous faut éclaircir. Je pense que les prochaines décennies vont permettre de connaître l’enchaînement précis de tous ces processus et de découvrir des marqueurs moléculaires prédictifs de longévité.”



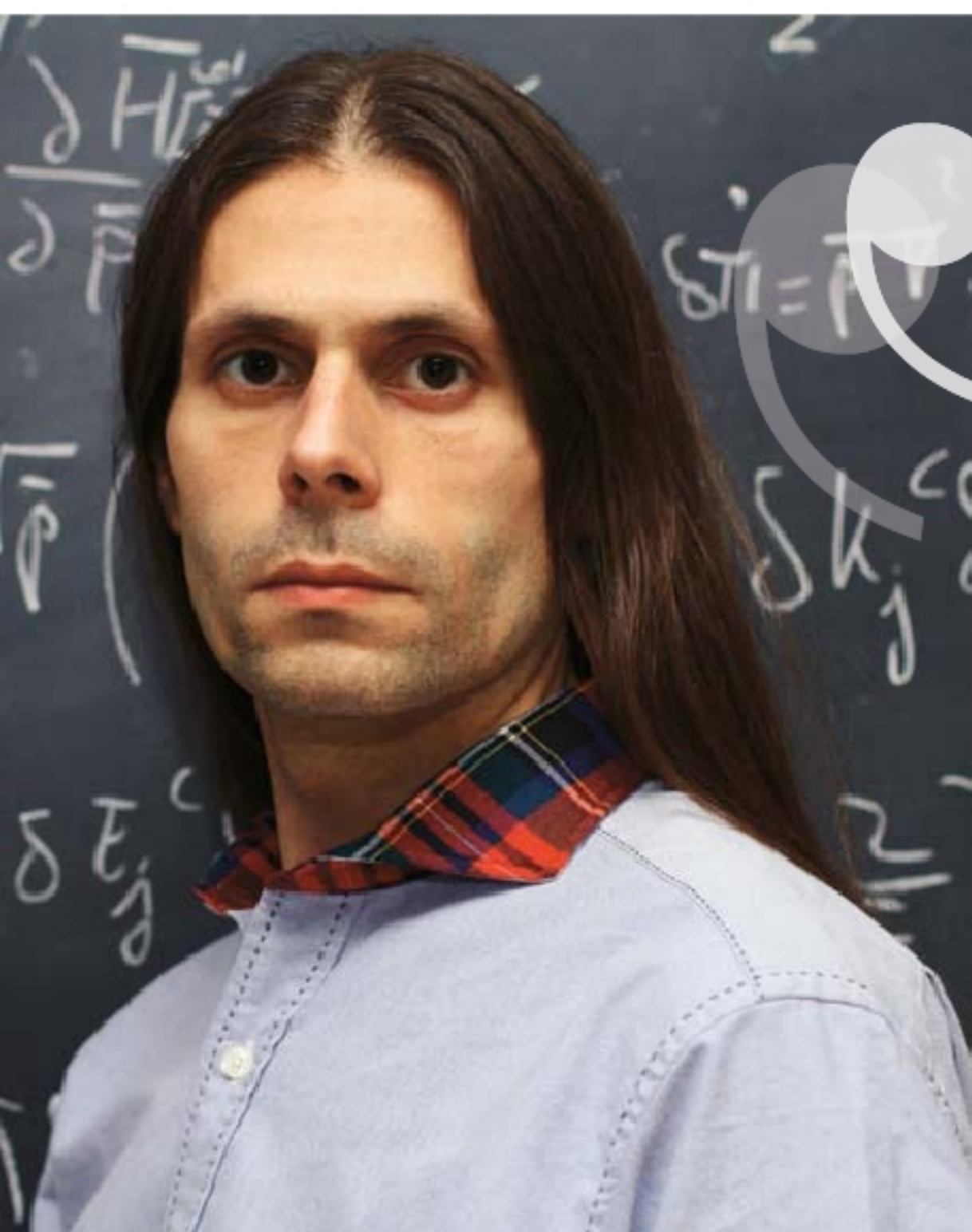


Un nouvel aliment de base, facile à cultiver, nourrira la planète

FRANCK COURCHAMP

Ecologue spécialisé en biologie de la conservation, il s'intéresse également à la propagation des espèces invasives.

“Dans les cent ans à venir, l’humanité pourrait bénéficier d’un nouvel aliment de base – une céréale ou un fruit. Un aliment naturel, capable de répondre aux crises alimentaires qui s’annoncent, comme ce fut le cas pour le riz ou le blé en leur temps. Pourquoi j’y crois ? Parce que les chiffres parlent d’eux-mêmes : nous découvrons plus de 16 000 nouvelles espèces chaque année, 1,6 million en un siècle ! Et parmi tous ces spécimens, il y a des chances que l’un d’eux soit remarquable : hypernutritif et sobre en pesticides, en engrais ainsi qu’en surfaces cultivées.”



On va s'apercevoir que la théorie du tout pourrait ne pas exister

AURÉLIEN BARRAU

Physicien spécialiste de l'Univers primordial, il mène en parallèle une réflexion épistémologique développée dans de nombreux ouvrages.

“Pendant des siècles, les physiciens ont su unifier des phénomènes très variés dans des théories toujours plus synthétiques. Ce qui a notamment conduit au modèle standard de la physique des particules. Or, depuis quelques décennies, les tentatives d’aller au-delà n’ont pas

abouti. Ainsi, nous découvrirons peut-être que l’Univers physique n’est pas réductible à une unique théorie, mais qu’il est intrinsèquement diversifié. Il ne serait peut-être pas constitué de particules, de cordes ou de boucles, mais de tout cela à la fois, selon la manière dont on l’interroge.”



Chaque cancer aura livré son origine génétique

CÉDRIC BLANPAIN

Médecin-chercheur, il a récemment démontré le rôle des cellules souches dans le développement de plusieurs cancers.

“Il est très probable que, dès la fin de ce siècle, la cartographie génétique de chaque cancer soit établie. Pour chaque patient, on pourra identifier les mutations à l’origine de son cancer. Ce qui permettra des traitements mieux adaptés, plus efficaces et avec moins d’effets secondaires. Les séquenceurs à haut débit nous ont déjà permis d’identifier des

dizaines de milliers de mutations liées à des cancers. Mais seules certaines en sont la cause – la plupart en sont la conséquence. Il va donc falloir les trier et identifier les mutations à l’origine du cancer. Puis comprendre comment chacune arrive à rendre une cellule cancéreuse. Cela fait, on pourra prescrire les thérapies les plus adaptées pour les contrer.”



L'énergie noire va enfin être comprise

GABRIEL CHARDIN

Ce physicien des particules est à l’origine de l’une des rares alternatives au modèle standard cosmologique qui soient sérieusement considérées.

“L’une des questions majeures qui se posent aujourd’hui est la refonte du modèle standard de la cosmologie. Car s’il décrit très bien l’évolution du cosmos, depuis le big bang et la formation des premières particules de matière jusqu’au mouvement actuel des galaxies, il est mis en échec par... l’énergie noire. Cette force mystérieuse,



La révolution des supraconducteurs aura bien lieu

BRIGITTE LERIDON

Cette physicienne a fait des supraconducteurs son sujet fétiche au sein d'un établissement qui a déjà donné 5 prix Nobel français.

“Ces dernières années, on a fait de grandes avancées sur les supraconducteurs, ces matériaux quantiques qui conduisent l'électricité sans résistance et peuvent léviter. Mais jusqu'ici, on n'a observé ces phénomènes qu'à partir de -150°C . Maintenant, on cherche à mieux comprendre le mécanisme en jeu pour, peut-être, dans le siècle à venir, découvrir des supraconducteurs à température ambiante... Ce qui nous ouvrirait d'incroyables perspectives. On pourrait acheminer du courant sans perte : en France, cela nous permettrait d'économiser l'équivalent de deux centrales nucléaires ! On pourrait aussi fabriquer des articulations mécaniques sans frottement, faire léviter les objets ou concevoir des ordinateurs plus rapides.”

mesurée pour la première fois en 1998, n'est pas prédite par le modèle. Or, elle constituerait 72 % de l'Univers, et c'est elle qui accélérerait son expansion.

Depuis dix ans, on ne cesse de mesurer toujours plus précisément cette énergie. Le problème, c'est que les télescopes indiquent qu'elle ne varie ni dans le temps ni dans l'espace, ce qui incite à penser qu'il s'agirait d'une constante. Il existerait donc un paramètre universel qui ne découle d'aucune théorie et dont on ne connaît pas l'origine. Et ça, c'est problématique.

D'autres mesures sont prévues dans les dizaines d'années qui viennent, mais il est à craindre que cela se confirme :

l'énergie noire est bel et bien... constante. Certains chercheurs en sont d'ailleurs tellement persuadés qu'ils se préparent à une révolution théorique. Ils présentent qu'il va falloir repenser complètement les concepts de base pour construire un autre modèle cosmologique, en partant d'une nouvelle idée qui permettra de justifier l'existence de cette énergie noire.

Moi, je n'y crois pas. Je pense qu'avec le modèle actuel, on est assez proche de la bonne description. Il y a quelque chose qu'on n'a pas compris, mais ce n'est pas grand-chose. Seul un petit détail nous échappe à propos du concept de gravitation... Il faut seulement parvenir à mesurer les propriétés

de particules que l'on connaît, telles que l'antimatière, et modifier à la marge la théorie d'Einstein... et l'énergie noire s'expliquera d'elle-même.

D'autant qu'il faut garder en tête que le modèle standard cosmologique est certes une théorie... mais une théorie totalement phénoménologique. Il ne faut donc pas la sacraliser – au contraire, elle peut être bousculée. D'ailleurs, on n'arrête pas de s'apercevoir, au fur et à mesure que les télescopes progressent dans leurs explorations, que cette théorie repose sur des approximations. Comme dans le cas des satellites autour des galaxies, qui se révèlent bien moins nombreux que prévu.”

On pourra appliquer les lois quantiques à notre échelle

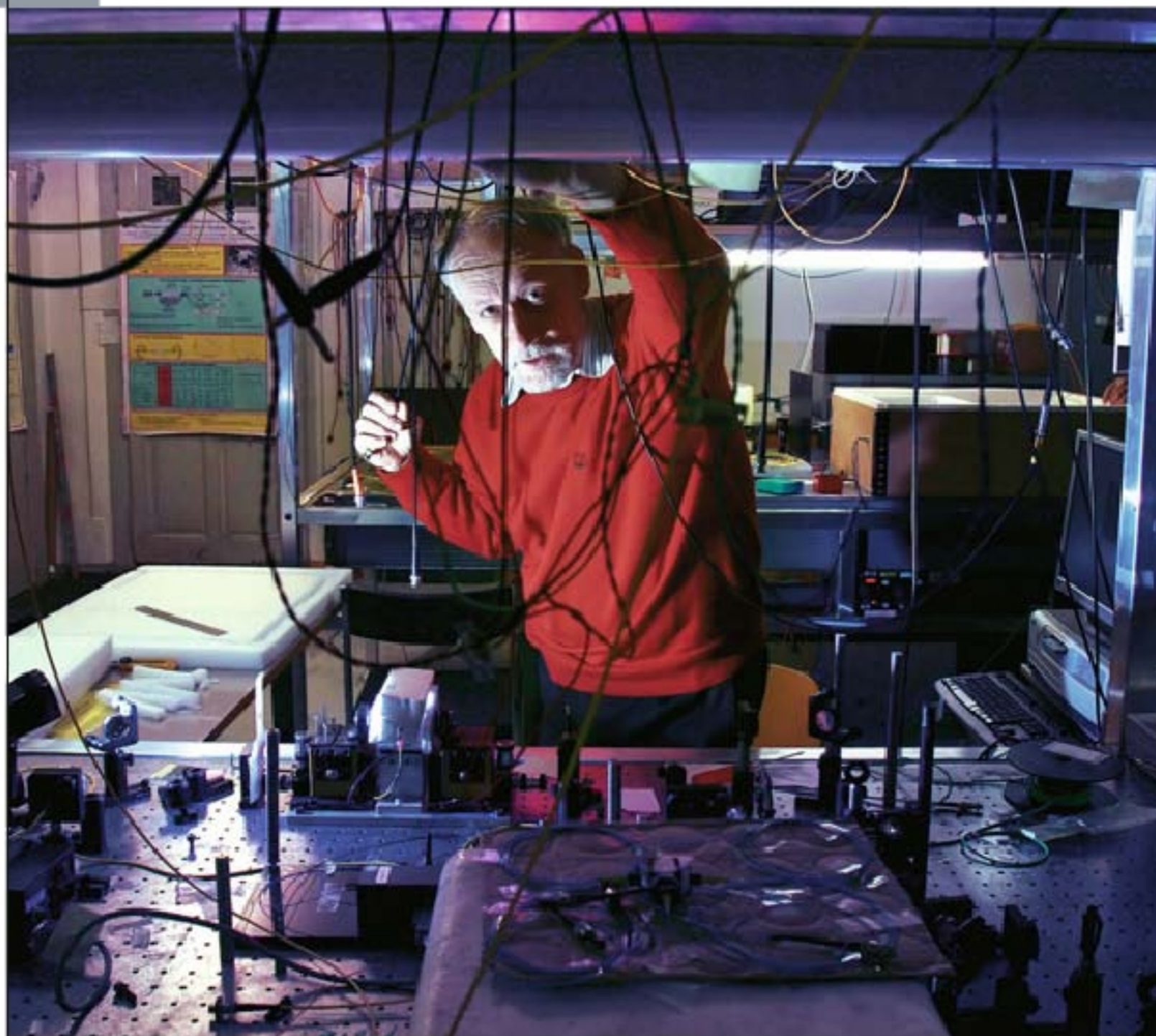
NICOLAS GISIN

Spécialiste des fondements de la mécanique quantique, il est célèbre pour ses expériences de téléportation de particules de lumière sur plusieurs kilomètres.

“Actuellement, le monde microscopique, régi par les lois quantiques, est présenté comme totalement déconnecté de notre univers macroscopique, décrit, lui, par la physique classique. Or, je pense que nous parviendrons à construire des systèmes quantiques macroscopiques, composés de plusieurs millions, voire milliards, de particules.

De tels systèmes permettront d’observer à l’œil nu des phénomènes aussi mystérieux que la superposition d’états quantiques, propriété popularisée par

le fameux ‘chat de Schrödinger’, à la fois mort et vivant. Ou bien l’intrication, soit le fait que les différents constituants d’un système quantique ne possèdent pas d’individualité, si bien que si l’on agit sur une partie d’un tel système, cela a instantanément des conséquences sur le reste du système, quelle que soit la distance qui sépare ces différentes parties. De nouveaux phénomènes, que je ne suis même pas capable de me représenter, apparaîtront et iront jusqu’à poser la question de savoir ce que ‘voir’ veut dire.”



O.VOGELSANG - A.HIRON/THE STEPHEN CHARLES STUDIO - F.COLLINI





L'intelligence artificielle va devenir réalité

SUSAN BLACKMORE

Cette psychologue soutient l'idée que culture et techniques évoluent en grande partie sans le contrôle des hommes, tels des êtres vivants qui évolueraient de génération en génération par mutations et sélection.

“Ce sont bien sûr les hommes qui ont inventé Internet et les protocoles qui le font fonctionner. Mais il contient désormais tellement de codes qu'une partie des logiciels, dans le siècle qui vient, va se mettre à se reproduire et à évoluer sans notre contrôle, selon un processus analogue à l'évolution naturelle des espèces vivantes, produisant des agents intelligents interconnectés. Nous découvrirons alors que l'intelligence n'a pas besoin d'un cerveau ressemblant au cerveau humain, ni même d'un robot ressemblant à un humain, mais qu'elle peut exister sous la forme de programmes informatiques distribués dans des réseaux.”



Le mystère de la Terre primitive sera élucidé

THIERRY ALBOUSSIÈRE

Ce géologue a récemment proposé une nouvelle théorie sur les mécanismes de croissance de la graine, mystérieuse structure située au cœur du noyau terrestre.

“La Terre primitive était-elle une boule entièrement liquide, en partie solide, homogène ou avec un noyau déjà différencié ? On le saura dans quelques décennies. La clé, c'est de déterminer quelle était la température initiale du globe. Pour l'instant, les indices sont trop maigres. Certes, on a pu mesurer que les entrailles de notre planète émettent aujourd'hui, sous forme de chaleur, une puissance de 47 térawatts. Mais sans pouvoir faire la distinction entre la part liée à l'évacuation de la chaleur originelle et celle, parasite, produite par la décroissance radioactive des éléments sous nos pieds.”

LÀ OÙ ILS MÈNENT LEURS TRAVAUX...

Jean-Philippe Avouac

Caltech – Institut de technologie de Californie (Etats-Unis)

Thierry Alboussière

Institut des origines de Lyon

Marc Barthélémy

Institut de physique théorique, Commissariat à l'énergie atomique, Saclay

Aurélien Barrau

Laboratoire de physique subatomique et de cosmologie, Grenoble

Susan Blackmore

Ecole de psychologie, université de Plymouth (Angleterre)

Cédric Blanpain

Institut de recherche interdisciplinaire en biologie humaine et moléculaire, Université libre de Bruxelles (Belgique)

Gabriel Chardin

Centre de spectrométrie nucléaire et de spectrométrie de masse, univ. Paris-XI

Franck Courchamp

Laboratoire Ecologie, systématique et évolution, univ. Paris-XI

John Dudley

Département d'optique de l'institut Femto-ST, université de Franche-Comté

François Forget

Laboratoire de météorologie dynamique de Paris

Simon Galas

Laboratoire de biotechnologies du vieillissement, univ. Montpellier-I

Nicolas Gisin

Groupe de physique appliquée, université de Genève (Suisse)

François Guyot

Institut de minéralogie et de physique des milieux condensés, Paris

Steven Laureys

Coma science group, université de Liège (Belgique)

Brigitte Leridon

Ecole supérieure de physique et de chimie industrielles, Paris

Merav Opher

Département d'astronomie, université de Boston (Etats-Unis)

Marc Peschanski

Laboratoire I-Stem, Génomopole d'Evry

Carlo Rovelli

Centre de physique théorique de Luminy, Marseille

Horizon 2100

LE DÉFI DE LA CONNAISSANCE

Exoplanètes, cellules souches, boson de Higgs... Que de découvertes au XX^e siècle ! Pour les scientifiques du XXI^e siècle, cet héritage constitue un défi : celui de prendre la mesure, non de ce qu'ils ignorent, mais de ce qu'ils savent. Car c'est ici qu'ils ont rendez-vous avec de grandes découvertes.

PAR MATHIEU GROUSSON
ET MATHILDE FONTEZ

Quand la science sera-t-elle finie ? “Bientôt !”, répondaient avec ferveur les savants au début du XX^e siècle. “Jamais...”, sourient les chercheurs en ce début de XXI^e. De fait, si les scientifiques ont longtemps imaginé que la science pouvait s'achever, ils en sont revenus... et n'en sont pas fâchés ! L'heure n'est plus à un optimisme idéologique, mais à une ardeur réaliste. Comme si, après des siècles de certitudes, la science avait pris conscience de ses limites, et était enfin devenue mature. Conséquence paradoxale de cette prise de conscience : la multitude de découvertes qui, lorsqu'on leur pose la question, viennent à l'esprit des chercheurs dès lors qu'ils se risquent à sortir de leur légitime réserve scientifique et se piquent au jeu de

s'aventurer sur les chemins tortueux de la prospective. Nous vous en avons présenté dix-huit (voir pp. 120-131)... et, contre toute attente, elles sont innombrables.

Contre toute attente ? La surprise n'est pas feinte si l'on songe que le XX^e siècle a vu émerger l'ADN et les cellules souches ; qu'il a ouvert l'atome pour y découvrir les nucléons, les quarks... et jusqu'au boson de Higgs ; qu'il a révélé des exoplanètes, la dérive des continents, les sarcophages de la Vallée des Rois, le big bang, les lois quantiques de l'infiniment petit et celles, relativistes, de l'infiniment grand... Comment, après un tel siècle d'avancées scientifiques, peut-il encore rester des choses à découvrir – et même à foison ?

D'abord parce qu'une évidence s'impose : le panorama de l'ignorance est à la mesure de celui de la connaissance ! En clair, la science bute toujours sur des choses aussi simples qu'une molécule d'eau ou un tas de sable, et aussi banales que la photosynthèse ou la capacité d'un nez à distinguer des odeurs... Les archéologues viennent de se rendre compte que la Vallée des Rois réservait encore nombre de trésors ; les astronomes n'ont pour l'instant que quelques pixels d'exoplanètes à se mettre sous la dent ; les neurobiologistes avouent seulement débiter leur exploration de la conscience... Et enfin, la fameuse théorie du tout, ce fil d'Ariane de la physique théorique qui sous-tend la science dans son entier, puisque son ambition est de décrire les concepts de temps, d'espace et de matière, est encore à l'état de projet. Certains chercheurs parient toujours qu'elle est sur le point d'émerger de l'union de la mécanique

quantique et de la relativité générale. D'autres y ont renoncé... Et que l'avenir donne raison à l'un ou l'autre des deux camps, les deux sont d'accord sur un point: de la même manière qu'on ne saisit pas le sens d'une phrase par l'analyse détaillée de chacune de ses lettres, on ne réduira jamais la totalité de la nature à une unique théorie de l'Univers.

Pour les chercheurs du XXI^e siècle, il ne s'agit plus seulement d'identifier les deux "nuages" à dissiper pour achever l'exploration de la nature, comme osait le faire Lord Kelvin en 1900 (lire "Ce qu'on en pensait il y a 100 ans"). *"D'une certaine manière, nous avons été déniés parce que nous avons découvert. Mais de façon positive!", analyse Jean-Paul Delahaye, au Laboratoire d'informatique fondamentale de Lille. C'est par un travail interne à la science, nous permettant de mieux saisir sa nature profonde, que nous sommes parvenus à une vision plus posée: de fantastiques découvertes se trouvent devant nous, mais elles se feront dans un cadre plus contraint au sein de chaque discipline."*

PLONGER DÉSORMAIS DANS LES DÉTAILS

Aurélien Barrau, au Laboratoire de physique subatomique et de cosmologie, à Grenoble, va dans le même sens: *"La période qui s'ouvre est peut-être moins euphorique. Mais le fait d'avoir découvert que les choses sont plus compliquées que prévu est très réjouissant!"* Les chercheurs ont pris acte de la complexité de la nature, et celle-ci s'annonce désormais comme le grand défi à l'avancée des connaissances. Les questions que la science se pose et les réponses qu'elle entrevoit ne peuvent plus se résumer à une quête quasi mystique des origines.

Certes, les physiciens espèrent pour la plupart que l'on découvrira le début de l'Univers. Certes, les géophysiciens s'interrogent sur la Terre primordiale; les biologistes recherchent le premier être vivant... Les scientifiques n'ont pas complètement renoncé aux grands questionnements, mais ils ont décidé d'aborder ces montagnes par leur face la plus accidentée. Ainsi, au lieu de demeurer au premier plan, les grands thèmes s'effacent peu à peu derrière une foule de petites et complexes interrogations: quelles sont les lois de l'urbanisme, de la mécanique des fluides et des connexions

LES LEÇONS DU XX^e SIÈCLE

L'ASTRONOMIE A TROUVÉ SON MUR

En 1964, les Américains Arno Penzias et Robert Wilson captent un rayonnement datant de 380 000 ans après le big bang: la première lumière de l'Univers. Or, la lumière est le seul messager auquel les astronomes puissent se fier. Il semble donc impossible que les télescopes poursuivent leurs explorations plus avant...

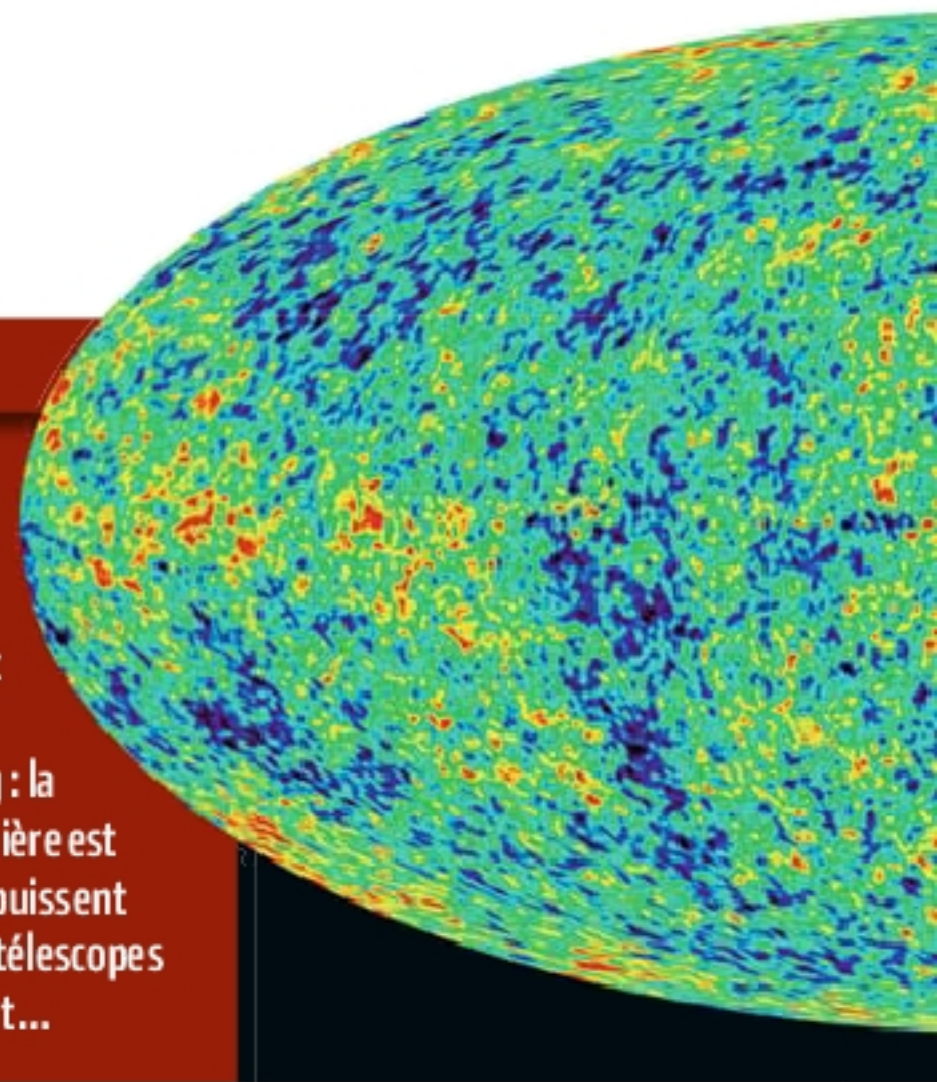
neuronales? Comment fonctionne un matériau supraconducteur? Existe-t-il une nouvelle pomme de terre pour nourrir l'humanité? Quels sont les mécanismes biochimiques des cellules? Le défi, désormais, est d'aller chercher les découvertes dans les détails, dans les creux de ces pans de connaissances déjà labourés, de pousser les savoirs dans leurs retranchements. La découverte euphorique et naïve de nouveaux mondes a laissé place à une exploration minutieuse. L'âge de la science héroïque, triomphante, est révolu... et les découvertes à venir n'en sont que plus nombreuses.

L'exemple de l'astronomie est à cet égard édifiant. Jamais science n'a semblé plus aboutie. Son but était simple: observer tous les astres de l'Univers. Il est en passe d'être atteint. Dans cinq ans seulement, les astrophysiciens disposeront d'un nouvel instrument, le *James Webb Space Telescope (JWST)*, dont l'une des missions sera de détecter la lumière des toutes premières étoiles et galaxies qui se sont formées

dans l'Univers. Si bien qu'après lui, d'une certaine manière, les spécialistes auront découvert tout ce que le ciel peut offrir d'objets nouveaux.

Pis, cette science est tombée sur une limite fondamentale, un mur au-delà duquel elle ne pourra jamais voir. De fait, les cosmologistes savent depuis les années 1940 qu'aucun signal lumineux en provenance des premiers instants de l'Univers ne frappera jamais le miroir d'un télescope, quelle que soit sa puissance. →

LES DÉCOUVERTES NAÏVES ONT LAISSÉ PLACE À UNE EXPLORATION MINUTIEUSE



→ Et pour cause: la première lumière de l'Univers, appelée fond diffus cosmologique et observée pour la première fois en 1964, a été émise 380 000 ans après le big bang (lire l'encadré p. 133). *"On voit jusqu'où on peut imaginer voir"*, convient Laurent Vigroux, à l'Institut d'astrophysique de Paris. Avant d'ajouter: *"Mais le travail des astrophysiciens n'est pas terminé! Il reste à procéder à l'étude détaillée de ces objets lointains."* Et les spécialistes de réciter à la volée la longue liste des questions auxquelles ils espèrent que les découvertes du XXI^e siècle fourniront des réponses: comprendre comment les étoiles massives du début de l'Univers se sont formées; quelles sont les étapes de la vie d'une étoile; pourquoi le mouvement des galaxies est plus rapide que prévu... Quant à l'Univers dans sa globalité, *"il existe de nombreuses traces de ce qui s'est*

LA SEULE LIMITE INDÉPASSABLE EST CELLE DE LA CAPACITÉ À IMAGINER LES DÉCOUVERTES À VENIR

passé entre le big bang et l'émission du fond diffus cosmologique. De même, pourquoi ne pas imaginer un jour un accès indirect à l'Univers avant le big bang!", s'enthousiasme Carlo Rovelli, au Centre de physique théorique de Luminy, en rappelant que lorsque Galilée regarda Jupiter à travers sa lunette, on lui reprocha le caractère indirect de ses observations... avant que les lois de l'optique soient établies et ses découvertes validées. Aussi les astronomes envisagent-ils d'observer d'autres choses que la lumière – des particules, tels les neutrinos, ou des ondes gravitationnelles...

L'astronomie a tout vu? Qu'importe. Elle devient une science complexe et se compartimente. Il s'agira au XXI^e siècle de percer les mystères du climat des exoplanètes avec l'astro-

climatologie; d'étudier la formation des autres systèmes planétaires avec l'exodynamique; de comprendre la naissance des atomes dans les cœurs stellaires avec la physique nucléaire...

De même, la linguistique n'a aucun espoir de retrouver la trace des premières langues? Qu'importe. Elle peut explorer les conditions qui ont permis à l'homme de se mettre sur la voie du langage. *"Nous pouvons nous appuyer sur la paléontologie, sur ce que l'on sait de l'histoire de l'espèce humaine ou des niches écologiques dans lesquelles elle a évolué"*, explique Derek Bickerton, linguiste et professeur à l'université d'Hawaï, à Honolulu.

Enfin, la biologie n'a aucune chance de retrouver précisément de quelle manière la vie est apparue sur Terre... *"Pour autant, au cours du XXI^e siècle, je pense que nous pourrions mettre en évidence des systèmes chimiques capables de se dupliquer et d'évoluer"*, assure Robert Pascal, de l'Institut des biomolécules Max-Mousseron de Montpellier. *De quoi montrer concrètement la transition entre un système inanimé et un système vivant."*

Les chercheurs s'aperçoivent aujourd'hui que, loin d'épuiser le réel, les révélations du XX^e siècle ont ouvert une multitude de nouveaux champs d'exploration. La grande marche de la science, repoussant à chaque fois son horizon, n'a jamais été autant incarnée. En biologie, la découverte de l'ADN a donné l'illusion que toutes les questions, depuis la formation de la vie sur Terre au fonctionnement d'un organisme, allaient pouvoir être lues dans les gènes pour peu que l'on soit capable de les décoder... avant que l'on se rende compte que leur expression est modulée par une flopée de mécanismes biochimiques (voir *S&V* n° 1117, p. 54).

Autre exemple, le neurone, d'abord décrit de manière simpliste – comme l'interrupteur d'un réseau électrique dont il suffisait de dresser la carte détaillée... avant que l'on découvre

CE QU'ON EN PENSAIT IL Y A 100 ANS

"La science physique forme aujourd'hui, pour l'essentiel, un ensemble parfaitement harmonieux, un ensemble pratiquement achevé. Il n'y a plus rien de nouveau à découvrir. Tout ce qui reste à faire, ce sont des mesures de plus en plus précises",

déclarait Lord Kelvin à la fin du XIX^e siècle. Pour le savant britannique et nombre de ses contemporains, seuls deux "nuages" résistaient encore à la science: une expérience invalidant l'existence d'une substance – l'éther – qui baignerait l'Univers;

et une autre qui contredisait les lois régissant l'émission de la lumière. La science était presque finie... sauf que moins de vingt ans plus tard, les deux "nuages" allaient donner naissance à deux révolutions scientifiques: la relativité et la mécanique quantique.

qu'il consiste en une multitude d'individus cellulaires, une nouvelle *terra incognita* qui devra être explorée de manière interdisciplinaire par des anatomistes, des endocrinologues, des psychologues, des pharmacologistes (voir l'encadré ci-contre et S&V n° 1141, p. 52). *"Avec la génétique et la biologie moléculaire, d'aucuns ont cru que la solution se trouvait au coin de la rue. Mais trente ans plus tard, la part des enthousiastes forcés a très largement diminué parmi les biologistes, relate Michel Morange, biologiste et directeur du Centre Cavaillès d'histoire et de philosophie des sciences de l'Ecole normale supérieure, à Paris. L'objectif est désormais de découvrir des modèles décrivant l'ensemble des échanges et des réactions qui se produisent au sein d'organismes simples, comme les bactéries, afin de pouvoir anticiper leur comportement."*

A moins que ne se profile une limite fondamentale à l'exploration du vivant : *"On peut se demander si le modèle n'est pas l'organisme lui-même. Celui-ci serait alors irréductible."* La question se pose de façon particulièrement aiguë dans le cas du cerveau, d'une complexité telle que les scientifiques en sont à se demander si la meilleure façon de comprendre son fonctionnement, plutôt que d'essayer de le réduire à un modèle, ne serait pas carrément d'en construire une version artificielle!

DÉJÀ, LA SCIENCE SAIT... QU'ELLE NE SAIT PAS

La science nouvelle apparaît irréductible, et ses découvertes complexes plutôt qu'élémentaires. Il ne s'agira plus de mettre le pied sur un nouveau continent, de trouver le code génétique, d'exhumer un sarcophage, de déceler une exoplanète... ni même E.T. *"L'une des grandes découvertes du XXI^e siècle sera incontestablement la vie extraterrestre, mais il sera très difficile de conclure si oui ou non, on a réussi à la détecter, explique Alessandro Morbidelli, astronome à l'Observatoire de la Côte d'Azur. Les télescopes qui analysent les molécules constituant les atmosphères des exoplanètes vont nous offrir une pagaille de résultats, parmi lesquels des compositions chimiques qui pourraient signer la présence d'une vie. Les climatologues vont alors faire tourner des modèles pour voir si ces données peuvent s'expliquer par des processus géophysiques. Il va y avoir beaucoup de discussions, de polémiques... Et il est probable qu'au final, il restera un doute."*

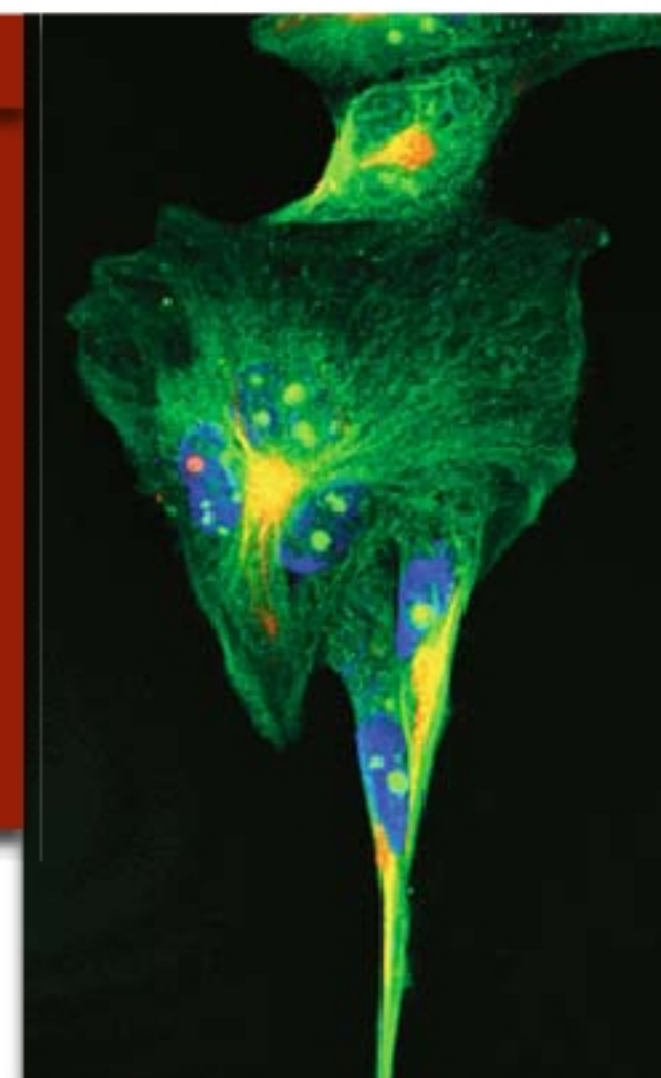
LES LEÇONS DU XX^e SIÈCLE

LA NEUROLOGIE A RÉVÉLÉ UNE "TERRA INCOGNITA"

"Le neurone est une terra incognita dont nous sommes les Magellan", scandait en 2012 Pierre-Marie Lledo, de l'Institut Pasteur. Depuis cinq ans seulement, l'optogénétique – l'insertion de gènes photosensibles dans les cellules – permet aux neurobiologistes de plonger au cœur des neurones, d'étudier leurs connexions, de les distinguer en fonction de leur activité et de révéler leur structure interne.

A l'orée du troisième millénaire, la science semble avoir relevé son principal défi : savoir qu'elle ne sait pas. Elle s'est détournée des grandes quêtes peu fécondes pour mieux s'attaquer à l'infinité de petits continents vierges qui s'étendent devant elle. D'ailleurs, les chercheurs que nous avons interrogés n'ont cessé de le remarquer : la seule limite indépassable est celle de leur capacité à imaginer les découvertes à venir. Car celles que l'on imagine ne sont-elles pas, par définition, celles qui répondent à des questions que l'on se pose déjà ? *"Prédire ce qui se passera dans le siècle à venir est quasiment impossible, scande le mathématicien Cédric Villani, directeur de l'Institut Henri-Poincaré, à Paris. Un physicien de 1900 avait-il la moindre chance de prédire la relativité générale, la tectonique des plaques, les ordinateurs ou le modèle standard ? Dès qu'on arrive à un horizon de dix ans, on divague, car les découvertes importantes sont celles que l'on n'attend pas."* Et le chercheur de citer le mathématicien Henri Poincaré qui, au début du XX^e siècle, s'interrogeait sur les découvertes à venir : *"Je crois que l'on obtiendra des résultats étonnants. C'est justement pour cela que je ne puis rien vous en dire ; car si je les prévoyais, que leur resterait-il d'étonnant ?"*

Les archives des siècles passés nous l'enseignent : la majeure part de notre enthousiasme à venir naîtra des réponses à des questions que la science n'a pas encore posées. Or, déjà, les chercheurs parient qu'ils vont découvrir de nouveaux mondes dans les tourbillons des fluides, les décharges nerveuses des cellules cérébrales, le spectre lumineux des exoplanètes... Le meilleur est à venir, encore plus qu'on ne l'imagine. ■



EN
SAVOIR
PLUS**

Grand observateur des sciences au XX^e siècle, John Maddox dresse le panorama des découvertes à venir à l'orée du XXI^e dans *Ce qu'il reste à découvrir* (éd. Bayard, 2000).

EMBARQUEZ POUR LA PREMIÈRE CROISIÈRE SCIENCE & VIE

du 24 octobre au 1^{er} novembre 2013

De la mer Egée à la Méditerranée,
découvrez les splendeurs des cités antiques

LE PROGRAMME DE VOTRE 1^{ÈRE} CROISIÈRE SCIENCE & VIE

- ✓ Des conférences passionnantes avec les témoignages de Jean-François Clervoy (spationaute), Yves Lancelot (océanographe) et Michel Chevalet (Journaliste scientifique).
- ✓ Les mystères du volcan de Santorin décryptés par Michel Chevalet.
- ✓ Tous les secrets de votre magazine Science & Vie dévoilés par le Directeur de la Rédaction.
- ✓ Une visite découverte des coulisses du navire et de la passerelle du commandant.

Santorin



UNE CROISIÈRE «UNIQUE»

- ✓ Avec :
 - Le vol aller Paris/Rhodes (Départ de Marseille, Lyon, Toulouse, Nantes sur demande)
 - La pension complète à bord
 - Deux cocktails Science & Vie
 - Le forfait de séjour à bord
 - Le transfert Savone/Nice en autocar
- ✓ L'assistance d'un personnel parlant français
- ✓ Le programme de conférences exclusives de la croisière Science & Vie
- ✓ Des accompagnateurs dédiés à la croisière Science & Vie
- ✓ Spécial «Vacances de la Toussaint» :
Gratuité Enfants de - 18 ans

**À BORD DU
COSTA MEDITERRANEA**



RHODES - HÉRAKLION - SANTORIN - IZMIR - ATHÈNES - OLYMPIE - ROME

ÉVÉNEMENT
SPÉCIAL LECTEURS

9 jours / 8 nuits

à partir de

995€
SEULEMENT

EN PENSION COMPLÈTE

Vol France/Rhodes inclus
Prix par pers. en cabine double cat. IC.

PLACES LIMITÉES

Spécial Vacances de la Toussaint :
croisière gratuite enfants de -18 ans⁽¹⁾
en cabine triple ou quadruple avec les parents
hors taxes portuaires, vol(s), transferts
et forfait de séjour à bord

En présence de Michel Chevalet,
maître de cérémonie

*"Je vous attends pour la
première croisière Science et Vie"*

RENSEIGNEMENTS & RESERVATION AU :

0 811 020 033

Du lundi au samedi de 9h30 à 17h30 - (0,09€ TTC/min depuis un poste fixe en métropole)

OU SUR LE SITE : www.scienceetvievoyages.com/croisiere

En précisant le code avantage :

«SCIENCE ET VIE»

Complétez, découpez et envoyez ce coupon à **SCIENCE & VIE VOYAGES - B 845 - 60643 CHANTILLY CEDEX**

☐ **OUI, JE SOUHAITE RECEVOIR GRATUITEMENT ET SANS ENGAGEMENT LA DOCUMENTATION COMPLÈTE**
de la croisière proposée par Science & Vie Voyages.

☐ Mme ☐ Mlle ☐ M

Nom : Prénom :

Adresse :

Code postal : Ville : Date de naissance/...../.....

Tél. : Email : @

☐ Oui je souhaite bénéficier des offres de Science et Vie et de ses partenaires.

Avez-vous déjà effectué une croisière (maritime ou fluviale) ☐ OUI ☐ NON

SCIENCE & VIE
VOYAGES

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 des données vous concernant.

Costa
CROISIÈRES

Cher ami lecteur,

Numéro après numéro, nous mettons tout en œuvre pour mériter votre confiance. Et c'est pour cela qu'aujourd'hui nous faisons appel à vous.

Nous souhaiterions vous associer à notre réflexion sur Science & Vie dans le but de réaliser des numéros qui correspondent aussi parfaitement que possible à vos attentes et à celles de tous les lecteurs. Aussi souhaiterions-nous vous donner la parole ! Que pensez-vous de Science & Vie en général ? Et de ce numéro en particulier ? Quels articles vous ont attirés et comment les avez-vous appréciés ?

Lisez votre magazine comme d'habitude et ayez la gentillesse de participer à notre enquête quand vous aurez lu ce numéro, si possible dans les prochains jours.

Pour participer, rendez-vous sur www.enqueteSV.fr

Nous avons vraiment besoin de vos réponses, qu'elles soient critiques ou élogieuses, que vous ayez lu beaucoup d'articles dans ce numéro ou très peu. Votre aide nous est précieuse.

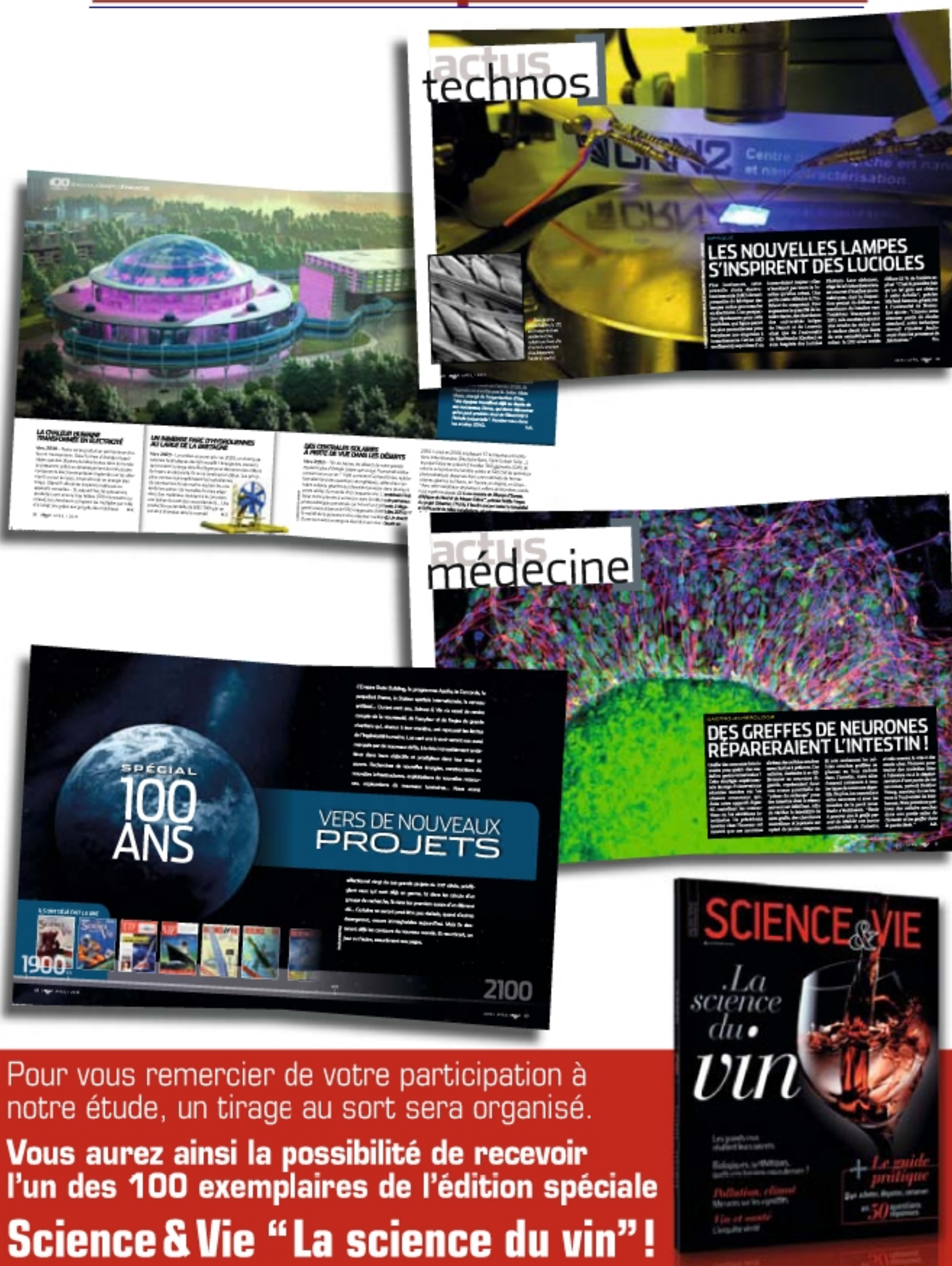
Très cordialement.

Matthieu Villiers
Directeur de la rédaction

LA RÉDACTION DE SCIENCE & VIE A BESOIN DE VOUS !

Que vous connaissiez très bien Science & Vie ou très peu (même si vous le lisez pour la première fois), votre avis nous intéresse !

RÉPONDEZ À NOTRE ENQUÊTE SUR
www.enqueteSV.fr



Pour vous remercier de votre participation à notre étude, un tirage au sort sera organisé.

Vous aurez ainsi la possibilité de recevoir l'un des 100 exemplaires de l'édition spéciale Science & Vie "La science du vin" !

100 ANS

7 IDÉES NEUVES
pour le XXI^e siècle

SCIENCE & VIE

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

Leçon n°1

Penser coopération plutôt que compétition

PAR YVES SCIAMA

Le fait est établi depuis Darwin: la lutte pour la survie est le seul ressort de l'évolution du vivant. Toute la biologie du XX^e siècle s'est construite sur cette idée fondatrice de la compétition entre espèces. Le seul problème... c'est qu'elle est aujourd'hui battue en brèche. Car de nouvelles techniques d'investigation du vivant ne cessent de mettre en évidence une nouvelle "loi de la jungle": au fond des mers, sous la terre, dans nos intestins... les êtres vivants survivent bien mieux s'ils tissent entre eux des relations de coopération et de mutualisme. Voilà qui met à mal l'un des dogmes les mieux établis du XX^e siècle. Surtout, voilà qui oblige à repenser l'évolution à l'aune d'une nature, non plus exclusivement belliqueuse et égoïste, mais aussi altruiste et généreuse.

Désormais couvert d'honneurs, membre des Académies des sciences américaine et néerlandaise, celui qui est devenu le pape de la primatologie mondiale, et plus largement de tout le passionnant champ de l'éthologie, Frans de Waal se souvient du grand virage. "Il y a 30 ans, au début de ma carrière, l'agression, le

conflit et la guerre étaient les seuls domaines de recherche possibles, pour un primatologue. Ensuite, on a commencé à s'intéresser à l'altruisme, mais d'une façon très étroite, dominée par les références aux insectes sociaux. Finalement, aujourd'hui, tout ce qui sort d'intéressant et d'excitant, ce dont tout le monde parle, concerne l'empathie, le sens de l'équité, la coopération... et l'agression est devenue un sujet mineur."

Un cas particulier, ce retournement décrit par de Waal? Spécifique à un domaine relativement restreint? Loin s'en faut! Car ce sont non seulement toutes les grandes catégories d'espèces, des animaux aux microbes en passant par les plantes, qui sont l'objet

de ce même changement de perspective, mais aussi toutes les disciplines des sciences du vivant, de la génétique à la microbiologie en passant par l'écologie. Chacune à son rythme, et avec ses spécificités, est en train de rompre avec une interprétation individualiste et belliqueuse de la théorie de Charles Darwin, inspirée de sa célèbre phrase: "*Partout, la nature entière est en guerre, chaque organisme avec un autre, ou avec la nature extérieure.*"

UNE BIOLOGIE SANS CŒILLÈRES

Le lion qui mange la gazelle, la bactérie qui infecte un organisme, la plante qui se bat pour une place au soleil... Depuis Darwin, et durant tout le XX^e siècle, les spécialistes de la théorie de l'évolution ont dessiné le monde vivant comme une jungle dont la lutte pour la survie est la seule loi. Une vision qui s'est même exacerbée avec le succès des idées de Richard Dawkins, auteur en 1976 d'un ouvrage, *Le Gène égoïste*, dans lequel il décrit les organismes comme "*des robots programmés à l'aveugle pour préserver les molécules égoïstes connues sous le nom de gènes*", lesquels sont

devenus la principale unité de sélection dans l'évolution. Cohérente et convaincante, cette vision du vivant centrée sur la notion de lutte est devenue une sorte de dogme incontestable, qui a envahi aussi bien le café du commerce que les cénacles académiques, en passant par nombre de discours politiques. Le seul problème... c'est qu'elle est fautive.

Car non, il n'y a pas que la lutte dans la vie! En ce début du XXI^e siècle, une nouvelle biologie, rééquilibrée, est en train de fissurer cette façon exclusive de considérer l'évolution du vivant, en accordant au concept de coopération une importance au moins égale à celle du concept de compétition.

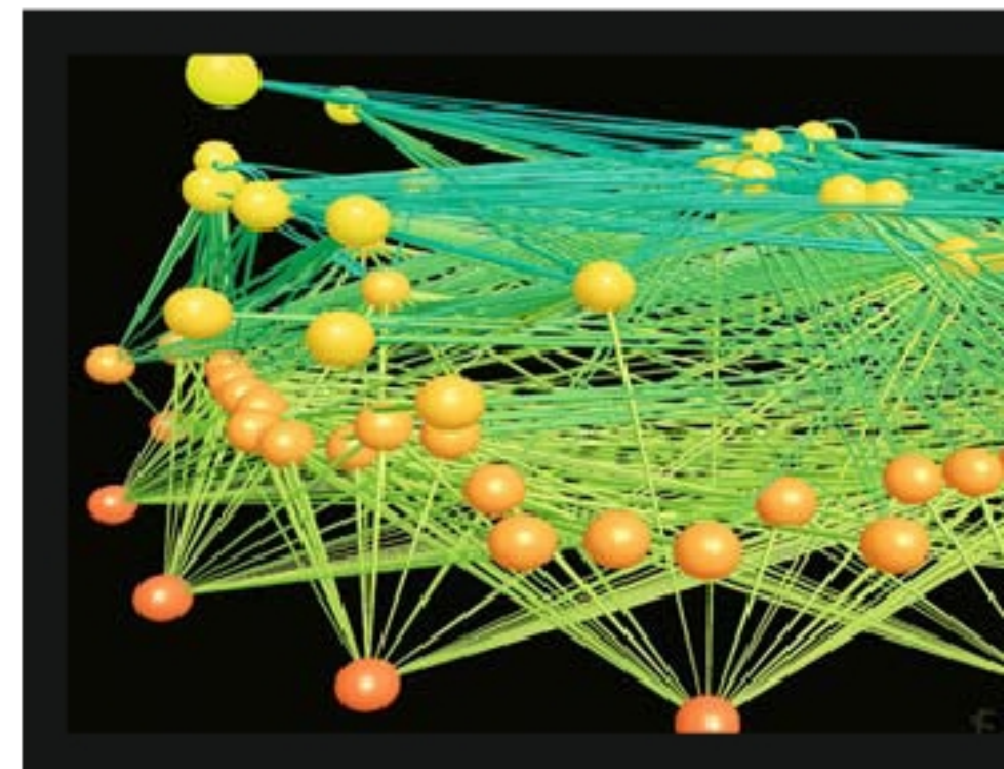
Une biologie pour qui la nécessité de survivre – que personne ne conteste – ne se réduit plus à celle de combattre et d'éliminer ses rivaux, mais aussi à celle de coopérer et de trouver des alliés. Là où tout n'était que guerre et concurrence – et sans nier cette dernière –, cette nouvelle biologie élargit le regard, lui ôte ses œillères, pour s'intéresser enfin à toute la gamme des interactions et considérer l'entraide, et pas seulement l'égoïsme, considérer les alliances autant que les conflits, les réseaux par-delà les individus. Allant de surprise en surprise, voici qu'elle dévoile une autre histoire de la vie. Une histoire beaucoup plus apaisée que celle racontée jusqu'ici, où l'on voit des espèces de tout ordre tisser les unes avec les autres d'incroyables réseaux d'alliances secrètes et insoupçonnées, que l'on serait presque tenté de qualifier de "contre-nature" si l'on ne voulait pas, justement, emprunter des expressions forgées à partir de l'ancien paradigme.

Car telle est cette première grande leçon pour le XXI^e siècle: face au grand spectacle de la nature, il nous faut maintenant nous habituer à →

Alors que pour Darwin,

✓ LES RELATIONS NATURELLES ONT ÉTÉ FONDÉES SUR LA PRÉDATION...

Jusqu'ici, la vision des écosystèmes était principalement structurée autour d'un réseau de chaînes alimentaires, avec les prédateurs en haut et les proies en bas (ici, le réseau trophique d'une forêt portoricaine).





“partout, la nature entière est en guerre”...

Richard Dawkins
Le Gène égoïste



✓ ... INCITANT À APPRÉHENDER L'INDIVIDU ISOLÉMENT...

Plus que ses interactions avec son environnement, c'est l'identité de chaque individu (homme, animal, bactérie ou, comme ici plant d'herbe) qui compte. Pour l'étudier, il est donc préférable de l'isoler afin d'éviter les risques d'interférences extérieures...

nature

the
human
genome



▲ ... ET SUR L'ÉGOÏSME...

Cette lutte permanente s'étend jusqu'aux gènes : ils sont en compétition entre eux pour être transmis à la descendance de l'individu qu'ils porte... même si c'est à son détriment.



▲ ... POUR Y TROUVER LA CLÉ DE SON SUCCÈS ÉVOLUTIF

L'idéal est d'arriver à obtenir son patrimoine génétique, porteur de toutes les informations qui le programment. Avec l'idée que connaître le génome d'un individu permettra d'en percer et d'en maîtriser tous ses secrets.



→ ne plus y voir seulement la violence de la compétition féroce entre individus, mais aussi les équilibres beaucoup plus subtils d'une vaste coopération, à tous les niveaux des écosystèmes.

UNE AUTRE LOI DE LA JUNGLE

Des exemples ? Grâce à Frans de Waal, on sait donc à présent qu'il existe chez les singes un système extraordinairement complexe de relations et d'émotions, impliquant l'empathie, un sens de l'équité, des prémices de la morale, un sens de la politique... Des découvertes qui ont inspiré une avalanche d'études éthologiques – le sens de l'équité chez les corneilles a par exemple été mis en évidence il y a quelques mois ! Et ces coopérations au sein d'une même espèce ne sont pas propres aux vertébrés doués d'un gros cerveau. Ne parlons pas des insectes sociaux, déjà observés par Darwin, mais depuis toujours considérés comme un cas particulier impossible à généraliser. Regardez donc les bactéries : depuis dix ans, on n'en finit plus de mettre au jour de surprenants phénomènes coopératifs. Au premier rang desquels leur capacité individuelle à percevoir la taille de la population à laquelle elles appartiennent. Ce qui leur permet des dizaines de comportements coordonnés, allant de la reproduction jusqu'à l'émission de signaux ou de molécules de défense.

Autre surprise, l'entraide entre végétaux. La Canadienne Suzanne Simard a ainsi découvert d'importants transferts de nutriments depuis de vieux arbres vers leur progéniture poussant à leurs pieds, ce qui permet aux jeunes de se développer normalement en dépit de l'ombrage au-dessus de leur tête (voir *S&V* n° 1146, p. 60). Autant de comportements qui ont été sélectionnés par l'évolution comme les caractères les plus à même d'assurer la survie de ces espèces.

Ce ne sont pourtant pas ces comportements sociaux

entre individus d'une même espèce qui ont le plus stupéfié les évolutionnistes, mais l'exploration des relations entre espèces différentes. Et la plupart tournent autour d'une notion appelée sans aucun doute à bouleverser la biologie du XXI^e siècle : la symbiose. A l'opposé de la lutte, cette relation d'étroite proximité entre des organismes partenaires d'espèces différentes se fait au bénéfice de chacun – une relation gagnant-gagnant donc, et non gagnant-perdant. Un exemple classique en est l'omniprésent lichen, alliance entre un champignon et une algue hébergée dans ses tissus, qui produit des sucres pour le champignon en échange de sa protection contre le dessèchement.

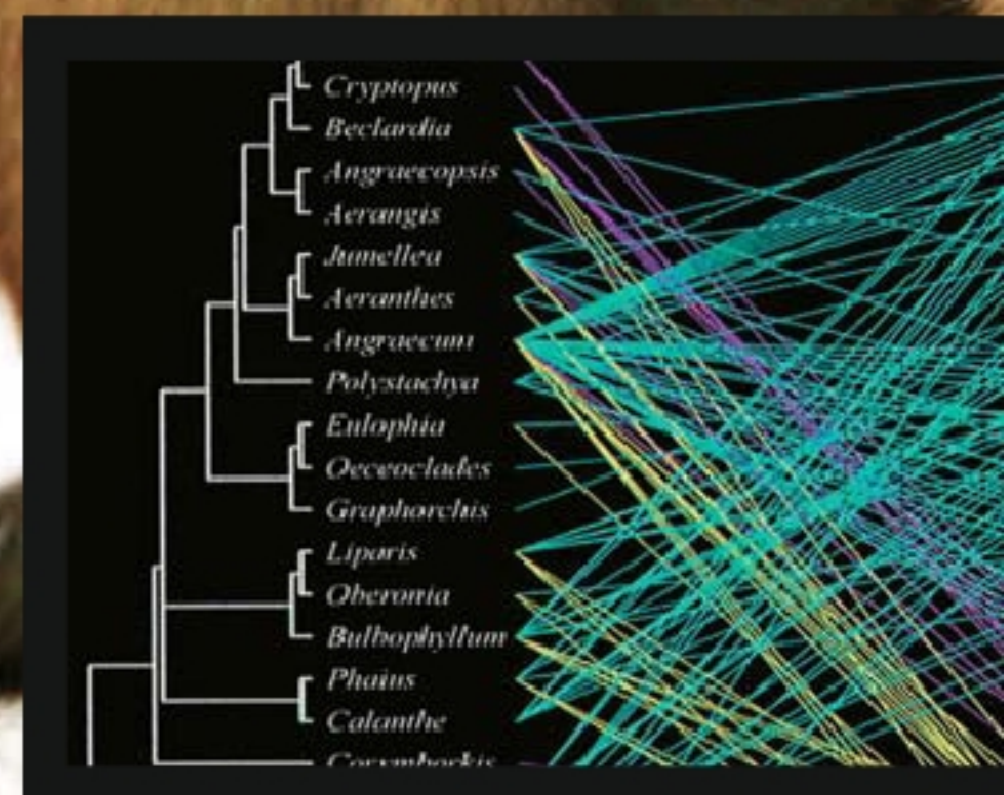
Découverte en 1877, du vivant de Darwin, la symbiose n'est certes pas une nouveauté. Cependant, elle est longtemps passée pour un phénomène marginal, une sympathique curiosité faite de crevettes nettoyant les dents des murènes, ou d'arbres hébergeant des fourmis, autant de phénomènes intéressants mais sans signification biologique par-

... l'idée de coopération s'impose

ticulière. Les choses ont un peu changé lorsque la biologiste américaine Lynn Margulis a révélé, dans les années 1970, que la symbiose se retrouve au cœur même des cellules qui nous composent : tous les animaux hébergent dans leurs propres cellules de petits organites énergétiques, les mitochondries, qui étaient à l'origine des bactéries symbiotiques. Les petits organites qui permettent aux plantes de faire leur photosynthèse ont une origine analogue. Mais la chercheuse fut confrontée à →

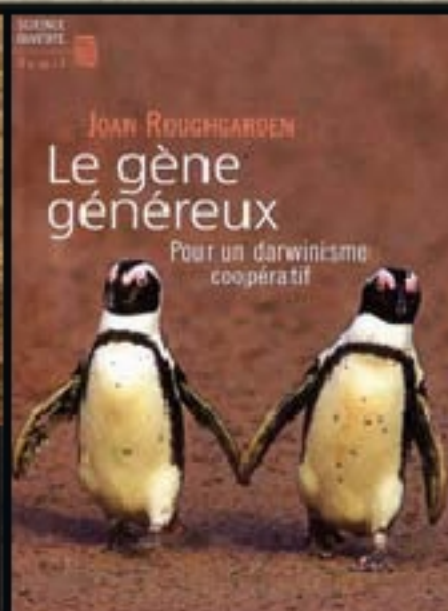
ON OBSERVE AU JOURD'HUI DES RÉSEAUX DE COOPÉRATION...

S'associer pour trouver son repas ou partager un territoire s'avère essentiel pour tous les individus d'un écosystème (ici, les relations entre orchidées et champignons).





aujourd'hui, obligeant à repenser l'évolution

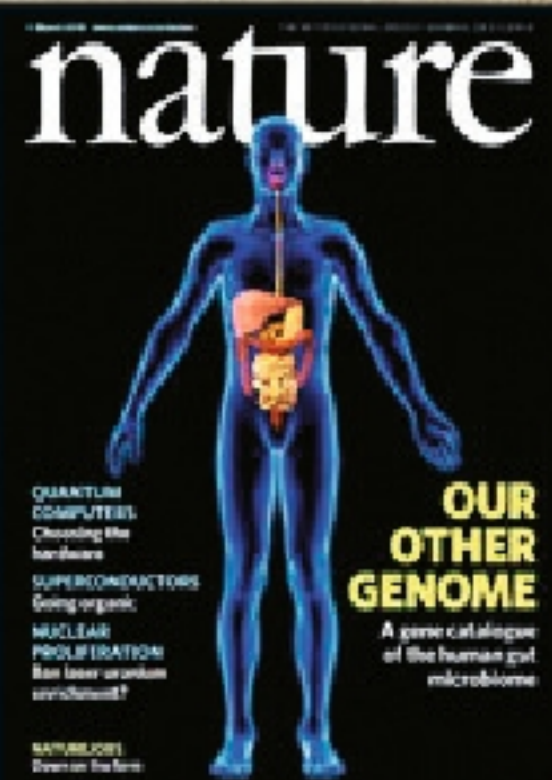


**✓ ... QUI RÉHABILITENT
LE CONCEPT DE COMMUNAUTÉ...**

Une plante ne pouvant, par exemple, se développer sans ses auxiliaires pollinisateurs, les individus sont maintenant étudiés en intégrant tous ses partenaires au sein d'"écotrons" censés reproduire la complexité de l'écosystème d'origine.

**^ ... FONDÉS SUR
L'ALTRUISME...**

Jusque dans les relations entre les gènes, le travail d'équipe et la coopération entre partenaires est réhabilité.



**^ ... ET ÉCLAIRE LE FONCTIONNEMENT
DE NOTRE ORGANISME**

La notion d'individu s'efface : notre corps lui-même est maintenant considéré comme une grande communauté (contenant des milliards de bactéries). Ce "microbiome", dont le séquençage génétique a été en partie réalisé, se révèle essentiel à notre survie.

ANNÉES 1970**Au cœur de nos cellules**

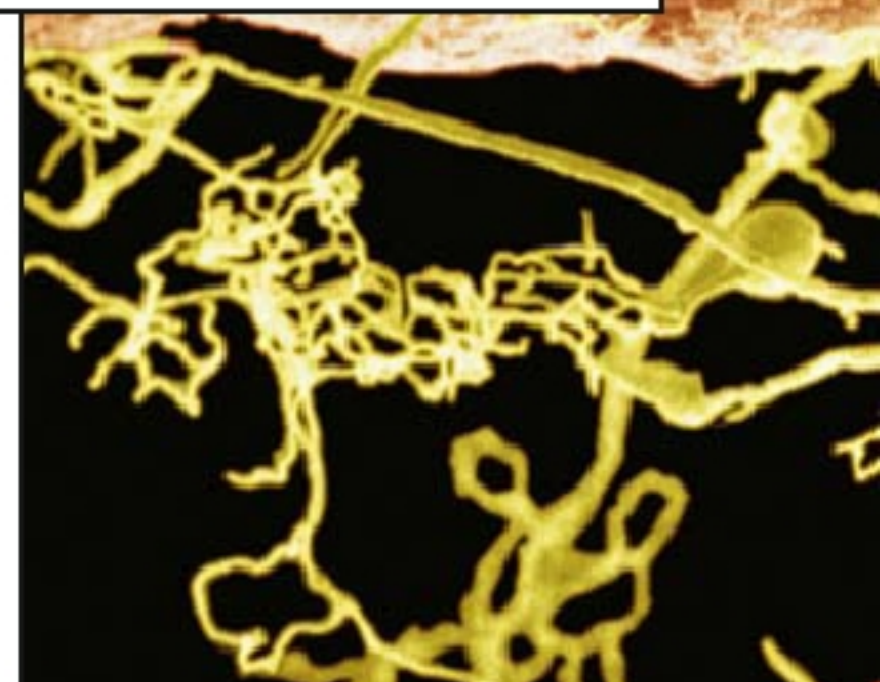
La preuve est faite que les centrales énergétiques de nos cellules, les mitochondries, sont d'anciennes bactéries: cette intime association, scellée il y a 2 milliards d'années, assure protection aux unes et énergie à l'autre.

**ANNÉES 1980****Au fond des mers**

Inattendue, la découverte d'une vie complexe autour des sources hydrothermales révèle de fascinantes symbioses entre animaux et bactéries... qui ont permis leur développement à 4000 m de profondeur.

ANNÉES 1990**Sous les forêts**

Le véritable secret des forêts est... caché sous terre: de gigantesques réseaux tissés par des champignons relient les racines des plantes. A travers ces mycorhizes, les arbres, quelle que soit leur espèce, sont capables de se parler.

**Depuis 30 ans, des découvertes conduisent à un renversement**

→ quinze refus avant de pouvoir publier cette découverte, enseignée depuis dès la première année en faculté de biologie.

Mais c'est avec la découverte des sources hydrothermales, dans les années 1980, que la prise de conscience a véritablement commencé. Ces milieux hostiles, situés au niveau du plancher océanique par plusieurs centaines, voire milliers de mètres de profondeur, où règnent ténèbres, pressions écrasantes, températures et acidité extrêmes, se sont en effet avérés être de véritables mines de métabolismes inconnus et bizarres... et d'associations multiples! Dans ces sources obscures, la seule énergie disponible est chimique; elle se cache dans un certain nombre de composés (soufrés, notamment). Or, seules quelques espèces de bactéries sont capables de l'extraire. Qu'à cela ne tienne: une cohorte d'organismes, mollusques, crabes, vers... ont incorporé ces bactéries dans leurs tissus, allant jusqu'à

créer parfois des organes pour les accueillir. La palme de l'excellence symbiotique revient sans conteste à l'immense ver *Riftia*, qui peut faire jusqu'à 2 m de longueur!

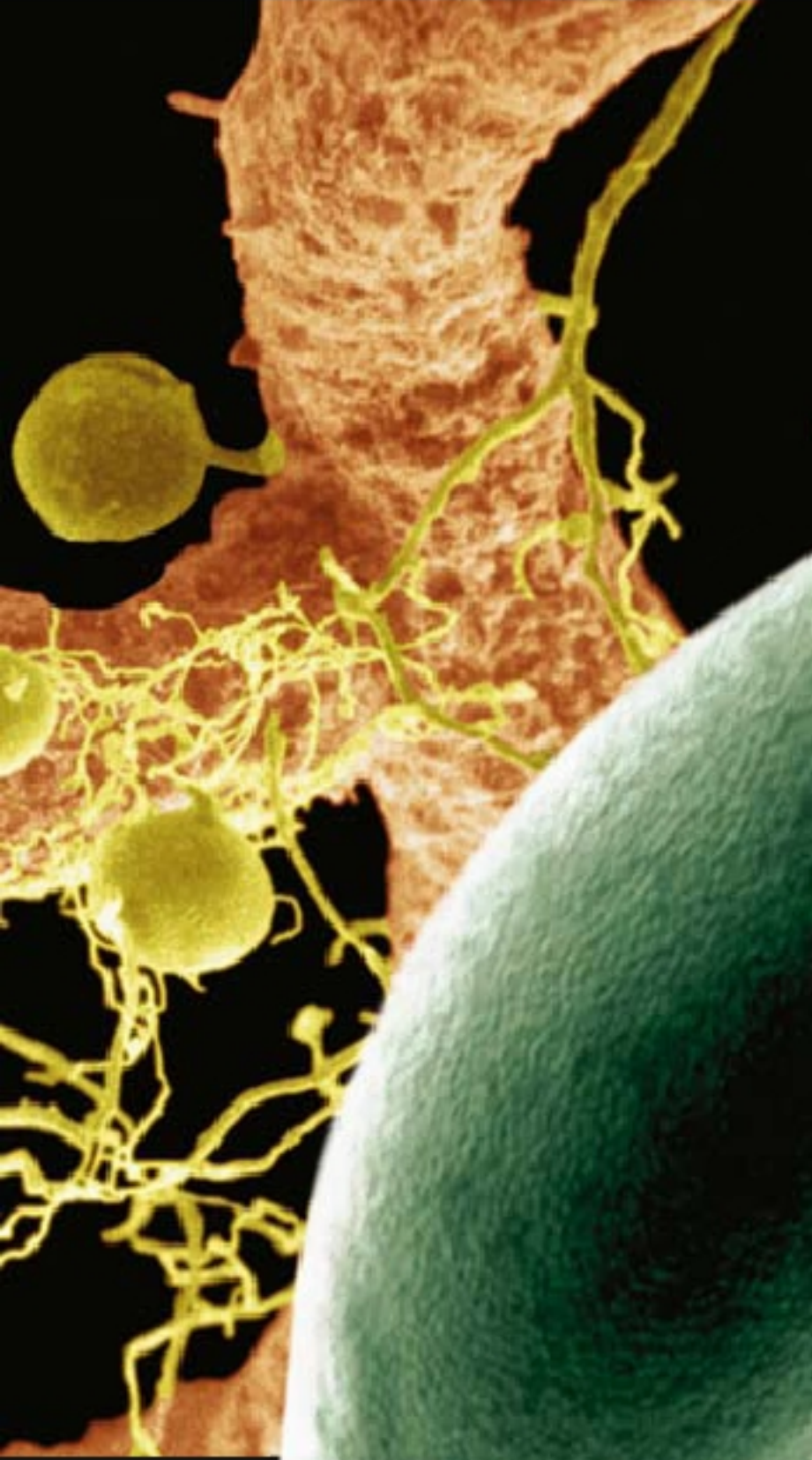
UNE SYMBIOSE ESSENTIELLE À LA VIE

Omniprésent dans ce milieu, *Riftia* a stupéfié les chercheurs qui l'ont découvert par son absence de tube digestif et de bouche. Il a fallu des années pour comprendre qu'il s'en passait grâce à son trophosome, une sorte de "sac à bactéries" qui occupe 15 % de la masse de son corps et qui héberge les symbioses qui le font vivre. "Un tissu spongieux très irrigué, si optimisé au niveau du métabolisme que l'on y trouve 10 milliards de bactéries par gramme de tissu, 100 fois plus que dans les réacteurs industriels construits par l'homme!", s'émerveille encore François Lallier, professeur à Paris-VI et chercheur à la station biologique de Roscoff. Au final, *Riftia* illustre à merveille ce nouveau

paradigme de la biologie: plutôt que de manger les bactéries, il a "choisi" de les héberger et s'est assuré ainsi un succès biologique inespéré dans cet environnement infernal!

Cette découverte a permis de réaliser l'atout majeur des symbioses et autres coopérations en termes de survie: elles sont la réponse logique de la vie aux conditions difficiles. Regardez ainsi les lichens: ces organismes mi-algue mi-champignon font partie des pionniers, aussi bien dans les déserts que dans les environnements glacés ou en altitude. Selon Tim Lenton, professeur à l'université d'East Anglia (Angleterre), ils seraient même les premières formes de vie à avoir conquis les continents, bien avant les plantes.

L'alliance, meilleur atout pour survivre en pays hostile? Mieux que ça! Beaucoup de chercheurs pensent à présent que les sources hydrothermales pourraient avoir



< ANNÉES 2000

Entre les microbes

L'idée qu'au sein d'une même espèce, bactéries et organismes unicellulaires peuvent se coordonner s'impose. Les signaux chimiques qu'elles échangent pour évaluer leur population ou l'état de leur milieu sont peu à peu percés à jour.

ANNÉES 2010

Dans nos intestins

L'ampleur de la diversité microbienne tapie dans notre tube digestif, notre nez ou sur notre peau se dévoile. Des milliers d'espèces y interagissent, entre elles, mais aussi avec nos propres cellules. Le plus souvent pour notre plus grand bien.



de perspective...

été de parfaits berceaux de la vie, éloignées des perturbations de la surface et disposant d'une abondante source d'énergie chimique. La confirmation de cette hypothèse ferait donc de la symbiose un des actes originels de l'apparition de la vie : tout serait parti d'une sorte d'alliance en enfer...

Dès lors, les œillères tombées, les chercheurs étaient prêts à voir l'omniprésence de la symbiose dans le monde du vivant. Ils ont par exemple réalisé que, dans les sous-bois, la loi de la jungle n'est pas celle que l'on croit... "On sait à présent que dans une forêt, chaque arbre est en symbiose avec quelque 200 espèces de champignons, eux-mêmes connectés à un grand nombre d'arbres, raconte Marc-André Selosse, du Centre d'écologie fonctionnelle et évolutive de Montpellier. Tout cet ensemble échange des myriades de nutriments et de sucres,

parfois sur de longues distances. Nous avons découvert des végétaux de sous-bois dépourvus de chlorophylle, et alimentés par des champignons en sucres issus d'arbres situés plus loin ! Il faut donc voir un tel écosystème comme un réseau, et non plus comme une juxtaposition d'individus."

A cette description, il convient d'ajouter les bactéries symbiotiques (au moins 100 espèces dans les tissus de chaque plante), ainsi que les mutualistes que sont les pollinisateurs, les oiseaux et mammifères qui dispersent les graines ; sans oublier le recyclage de la matière par les invertébrés du sous-sol, etc. Une vertigineuse constellation d'interactions, donc. Au sein de laquelle il y a, bien sûr, des prédateurs et des proies, des parasites et de la compétition. Mais où l'on trouve, au plan biologique, beaucoup plus de négociations (éventuellement musclées) et d'échanges (pas toujours équitables) que de "guerres", pour reprendre le mot de Darwin. La forêt, de ce point

de vue, ne constitue pas une exception écologique, mais la norme. Même le plancton, a-t-on appris l'an dernier, est le siège de symbioses étroites qui alimentent en azote les algues unicellulaires et jouent donc un rôle planétaire dans le cycle du carbone !

"A partir de ces découvertes, on s'est aperçu peu à peu que la symbiose s'est généralisée comme stratégie de nutrition, note François Lallier. Dès qu'un animal est incapable de synthétiser un composé, et c'est fréquent, il incorpore un microbe qui sait le faire." Et le chercheur d'expliquer comment les insectes, généralement multicarencés, notamment en acides aminés, s'associent à une ou plusieurs bactéries qui fabriquent les composés manquants, moyennant gîte et protection.

Ce qui est particulièrement remarquable, c'est à quel point la symbiose n'est pas une simple cohabitation, mais une véritable interpénétration biologique des partenaires. Et notamment dans ce qu'ils ont de plus intime, →

→ les gènes. “On voit des milliers de gènes des bactéries symbiotiques migrer vers le noyau de leurs hôtes”, indique François Lallier; et à mesure que l’on déchiffre les labyrinthes du métabolisme, il s’avère que les composés, lors des chaînes de transformations qu’ils subissent, entrent puis ressortent de la bactérie ou de l’hôte selon leurs besoins respectifs! Loin du chacun pour soi que l’on croyait autrefois de mise, les acteurs de ces alliances se “parlent” chimiquement, coopèrent, s’ajustent, se régulent... Bref, interagissent en continu avec une complexité dont seul un superficiel aperçu nous est encore accessible. Une autre révolution au sein d’une biologie pour qui, depuis Pasteur, la présence d’un microbe dans un animal ou une plante était *a priori* pathologique.

RÉSEAUX ET POUPÉES RUSSES

Pour couronner le tout, cela fait profondément écho à l’une des découvertes les plus spectaculaires de la décennie qui vient de s’écouler: l’importance biologique du “microbiome” humain, cette colossale communauté microbienne installée dans notre tube digestif, qui compte dix fois plus de cellules que notre corps. Aucun d’entre nous, sait-on à présent, ne pourrait survivre sans cette flore microbienne intestinale. Et il ne se passe plus une semaine sans que soit publié un nouvel article sur l’influence de cette flore sur le diabète, les allergies, le développement cérébral, le système immunitaire, etc. Témoignant là encore d’un extraordinaire dialogue entre nos hôtes et notre organisme. Ce microbiome a été en partie séquencé

en 2010. Si le génome humain, avec seulement 25 000 gènes, avait déçu les chercheurs qui espéraient y trouver la clé de notre complexité, en revanche, les différents microbiomes humains analysés affichent près de 3,3 millions de gènes supplémentaires! De quoi se demander si notre boîte à outils biochimiques n’est pas située, pour l’essentiel, chez nos alliés bactériens.

La réalité est que les êtres vivants se révèlent de véritables “poupées russes” de mutualismes emboîtés, certains symbiotes unicellulaires intestinaux, par exemple, étant eux-mêmes en symbiose avec des bactéries. L’on pourrait se perdre encore longuement dans ce dédale de ramifications et d’interactions entre êtres vivants: même les virus, jusqu’ici considérés comme l’incarnation même de la maladie, se révèlent être dans leur majorité utiles à de nombreuses espèces, dont la nôtre.

Mais arrêtons-nous ici, puisque l’important est désormais clair: la vie ne se réduit pas à la lutte pour s’assurer la plus grande part de ressources limitées; toute son histoire montre qu’en s’associant judicieusement, les organismes parviennent à accroître considérablement les ressources. Et si la biologie du XX^e siècle s’est focalisée sur la lutte entre les espèces, gageons que celle du XXI^e siècle aura vocation à se passionner pour ces alliances. Certes, coopération et concurrence sont souvent deux faces de la même réalité, deux stratégies complémentaires de survie. Qui peuvent se changer l’une en l’autre, tant leur frontière est parfois ténue: pas facile de dire à partir de quand un parasite, qui donne un coup

de main métabolique à son hôte pour favoriser sa propre survie, devient un coopérateur! Mais ce qui est certain, c’est que la notion d’individu égoïste et insulaire, muni uniquement de ses gènes propres et en guerre contre tous pour les faire triompher a vécu.

Pourquoi cette évolution a-t-elle été si lente à émerger? D’abord parce que ces coopérations sont beaucoup plus discrètes que les luttes frontales – il n’y a plus de cadavres dans les placards. Pour prendre la mesure de l’omniprésence des symbioses, il a fallu attendre les progrès récents et ultrarapides du séquençage, puis les possibilités d’ana-

... qui va bouleverser

lyse des cascades moléculaires, la puissance de calcul pour faire tourner les modèles. “Dans les années 1990, rappelle Thierry Doré, directeur de recherche à l’Institut national de la recherche agronomique (Inra) et professeur à AgroParitech, la microbiologie était capable de connaître environ 1 % des microbes du sol, c’est-à-dire ceux qui consentaient à pousser sur un milieu de culture. Désormais, grâce à la biologie moléculaire, nous avons accès à la flore complète du sol. Et c’est la même chose avec les microbes du tube digestif.” Un autre facteur est “la montée en puissance de l’écologie scientifique, véritable science des systèmes, en contrepoint aux déceptions suscitées par l’ère du ‘tout ADN’, centrée sur l’individu”, estime Samuel Alizon, du CNRS, qui étudie la coopération entre microbes lors de l’infection. Le fait de penser “réseau” a également pesé. “Isoler un individu et tout expliquer à travers sa perspective individuelle est une façon étroite de voir les choses; l’approche holistique, qui s’efforce de voir les ensembles, est désormais une tendance puissante de la biologie”, résume Frans de Waal.

Autre frein: alors qu’elle est beaucoup mieux acceptée dans les autres

EN SAVOIR PLUS

Pour compléter cette première leçon, vous pouvez plonger dans les réseaux de solidarités animales avec Frans de Waal (*L’Age de l’empathie*, éd. Les Liens qui libèrent, 2010); dans le fascinant monde des symbioses avec Marc-André Selosse (*La Symbiose*, éd. Vuibert, 2000). Mais le sujet a déjà intégré le corpus classique (Carl Zimmer, *Introduction à l’évolution*, chap. 11, éd. De Boeck, 2011).



< DANS L'AGRICULTURE

Améliorer les plantes en leur proposant des associations

Les agronomes ont longtemps pensé qu'une plante était plus productive quand elle était seule. On sait maintenant que non: mieux vaut l'associer à des insectes, champignons et autres micro-organismes. Des équipes travaillent donc à améliorer les plantes en agissant sur leurs symbioses! Du riz exposé à différents types de champignons a ainsi vu ses besoins en eau diminuer de 30 % ou son rendement en milieu salin augmenter de 50 %.

notre rapport au vivant

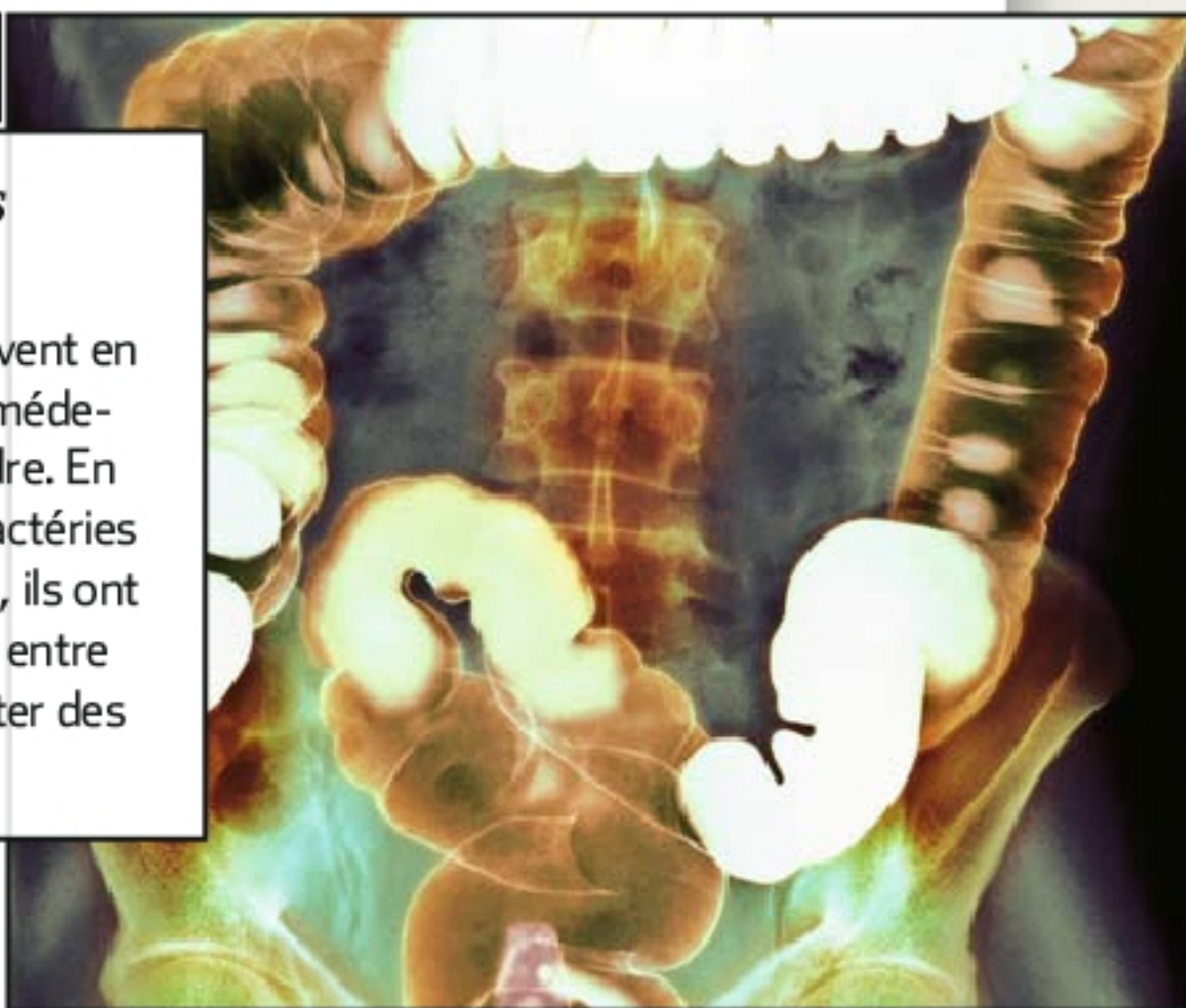
disciplines, de la microbiologie à la botanique, la coopération a toujours posé un problème aux théoriciens de l'évolution, chez qui elle suscite débats et tensions depuis Darwin lui-même. Pourquoi? Simplement parce qu'ils ont longtemps peiné à l'expliquer! La théorie classique voudrait en effet, qu'à terme, les organismes coopérateurs soient éliminés par l'apparition de "tricheurs" qui empochent les "rétributions" sans rien céder en échange, et qui prolifèrent. L'entraide biologique, selon ce raisonnement, serait par nature éphémère. L'histoire des sciences l'a prouvé, les scientifiques ont une propension à ne pas voir (ou à qualifier d'insignifiants) ce que leurs théories n'arrivent pas à expliquer...

Or, ce mystère de la stabilité des symbioses, peu à peu, se dissipe. Plusieurs mécanismes théoriques ont été identifiés permettant d'expliquer "évolutivement" la persistance du mutualisme. Le plus intéressant est la capacité de certains organismes à sanctionner un partenaire qui refuse de coopérer. Dans certaines symbioses, l'hôte peut littéralement affamer le symbiote si celui-ci ne remplit pas sa part de la coopération – et parfois la réciproque est aussi vraie. Ce qui offre, enfin, une expli- →

> EN MÉDECINE

Guérir grâce à nos "bactéries hôtes"

Les micro-organismes qui vivent en nous sont des alliés que les médecins s'efforcent de comprendre. En analysant la signature des bactéries présentes dans nos intestins, ils ont identifié trois profils globaux entre lesquels ils s'apprêtent à tenter des greffes de flore intestinale.



v POUR PROTÉGER LA NATURE



Surveiller les réseaux de coopération

Pour prévoir l'évolution d'une population animale ou végétale, savoir à partir de quand elle sera menacée ou dans quelles conditions elle deviendra invasive, les écologues interrogent désormais les écosystèmes tout entiers. La lutte contre les ravageurs passe ainsi davantage par des actions sur les réseaux d'interactions naturelles.

→ cation darwinienne à la stabilité du mutualisme : le symbiote a intérêt à ne pas tricher, sous peine de réduire ses chances de survie.

Reste que pour les théoriciens de l'évolution, il ne sera pas facile de s'accommoder de cette révolution d'un vivant à la fois en réseau et en poupées russes. Car les frontières de l'individu s'y brouillent, et des questions émergent : comment et sur qui au juste s'exerce la sélection naturelle...

champignons, archées, protozoaires... Et "hologénome" l'ensemble des gènes de ces organismes. Une idée que les époux Rosenberg ont extrapolée pour considérer qu'en termes d'évolution, l'unité de sélection n'était pas l'organisme seul, mais l'holobionte entier. *"En fait, il n'existe aucun animal ni aucune plante qui soit stérile, dans le sens de 'sans microbes', rappelle Eugène Rosenberg. Et ces microbes sont très importants dans leur évolu-*

interactions émergentes. En tout cas, avertit François Lallier, *"il va falloir modifier la perspective : un écosystème ne sera plus un ensemble d'espèces, mais un ensemble de réseaux d'espèces"*. Le chercheur se veut cependant optimiste : *"C'est un schéma plus compliqué, mais les progrès parallèles faits en biologie cellulaire et en écologie, en s'appuyant sur des ordinateurs plus puissants, vont nous permettre de complexifier les modèles d'évolution et de prendre cela en compte..."*

Cette prise en compte de la coopération ne pose pas seulement des questions théoriques fascinantes sur les moteurs de l'évolution et du vivant. Elle débouche déjà sur des recherches et même des découvertes essentielles. En agronomie, l'utilisation des symbioses, éclipsée au cours des dernières décennies par l'abondance des engrais bon marché et des pesticides, revient en force comme stratégie de maintien de la productivité et de la résistance aux ravageurs. En médecine, le bactériome humain apparaît désormais comme une porte d'entrée capitale dans l'équilibre métabolique de l'organisme. En écologie, la connaissance des réseaux de coopération devient cruciale pour protéger les espèces menacées de disparition. *"Reconnaître l'importance du mutualisme sous toutes ses formes, puis en décrypter et en contrôler les ressorts : les principaux enjeux de la biologie du XXI^e siècle sont là"*, estime Russel Rodriguez. Il y faudra de la ténacité. Et, serait-on tenté d'ajouter, le sens de la coopération. ■

Repenser le vivant à partir de la notion de symbiose est le grand chantier qui attend la biologie du XXI^e siècle

La survie du plus apte s'applique-t-elle à l'arbre isolé ? A l'arbre et à ses champignons ? A un peuplement d'arbres, avec ses champignons et ses insectes ? Le débat s'anime depuis quelques années (voir *S&V* n° 1101, p. 52). *"La biologie s'est construite dans l'illusion que les organismes qu'elle étudie, plantes, animaux... étaient des individus"*, résume Russel Rodriguez, biologiste à l'université de Washington (Etats-Unis), et président de la Société internationale pour la symbiose. *Mais, en réalité, il n'y a pas sur cette planète un seul être que l'on puisse appeler un individu."* Pas d'individus en biologie ? Volontairement provocante, cette réflexion a le mérite d'exprimer la profondeur de la révolution en cours...

En 2008, Eugène et Ilana Rosenberg, de l'université de Tel Aviv (Israël), ont proposé un nouveau cadre théorique pour prendre en compte ces découvertes, qu'ils appellent "la théorie de l'hologénome". Le concept vient du virologue marin Forest Rohwer, de l'université de San Diego (Etats-Unis), qui travaillait sur le corail, symbiose bien connue entre un animal (le polype) et une algue (la xanthelle). En 2005, ce biologiste a proposé d'appeler "holobionte" (c'est-à-dire "organisme entier") non seulement le corail et l'algue, mais tous les organismes qui vivent associés à eux,

tion, non seulement ils leur permettent d'assurer beaucoup de leurs fonctions, mais ils sont transmis à leur descendance ; le génome sur lequel agit la sélection naturelle n'est donc pas seulement son génome d'hôte, mais bien son 'hologénome'."

DÉJÀ LES PREMIERS RÉSULTATS

Pour l'instant, ce sont surtout les microbiologistes et les spécialistes des symbioses qui prêtent l'oreille à cette théorie encore peu connue. Pourtant, elle ne s'oppose en rien à la pensée darwinienne, se contentant de la rééclaircir et d'en élargir la compréhension : *"L'évolution vue par Darwin, c'est primo des variations, dont il avoue ne rien savoir, et deuxio une sélection par l'environnement, argumente Eugène Rosenberg. Ces variations ont jusqu'ici été réduites aux mutations des gènes de l'hôte, alors que la symbiose ajoute un moteur très puissant à la capacité d'innovation. Mais le schéma général reste le même, et il est darwinien."*

Si la théorie de l'hologénome émerge, l'avenir dira comment elle gèrera ses points faibles, par exemple les limites floues entre "l'intérieur" et "l'extérieur" de l'holobionte, et si elle sera finalement dépassée ou pas par d'autres constructions théoriques prenant mieux en compte toutes ces

Le mois prochain
Leçon n° 2

MÉMOIRE

**Penser
oubli
plutôt que
accumulation**

EN PRATIQUE

150

BON À SAVOIR

En direct des publications scientifiques et autres rapports et études.

152

ZOOM DU MOIS

Lecture, calcul, stress, rythmes scolaires...

6 leçons des neurosciences contre les idées reçues

158

QUESTIONS/RÉPONSES

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

164

TECHNOFOLIES

Un écran qui diffuse deux émissions télé à la fois

... et les dernières innovations technologiques.

170

LE CIEL DU MOIS





EN PRATIQUE

BON À SAVOIR

LA VITAMINE B9 PREVIENDRAIT L'AUTISME

D'après une équipe norvégienne, un apport de 400 mg par jour de vitamine B9 (acide folique), 1 mois avant la conception et lors des 2 premiers mois de grossesse diminuerait le risque d'autisme de 40 % pour l'enfant. "J. Amer. Med. Ass.", fév. 2013

ON PEUT VOIR À SES YEUX POURQUOI BÉBÉ PLEURE

Peur, colère ou douleur... pour identifier les raisons qui poussent leur progéniture à pleurer, les parents peuvent lire dans leurs yeux, selon une équipe espagnole qui a examiné les réactions affectives de 20 bébés de 3 à 18 mois. Un bébé en colère a généralement les yeux mi-clos et l'intensité de ses cris augmente graduellement, alors que des nourrissons apeurés gardent leurs yeux ouverts et leurs pleurs deviennent explosifs après être montés en puissance. Lorsqu'il s'agit de douleur, leur réaction est plus vive : les bébés pleurent immédiatement les yeux fermés et l'intensité de leurs cris est maximale. "Spanish J. Psych.", fév. 2013



DES KITS CONTRE LES ACCIDENTS DOMESTIQUES

Les accidents à la maison tuent 500 enfants par an en France. Trois mille kits d'un jeu pédagogique conçu pour les enfants de 3 à 6 ans seront distribués dans les maternelles d'ici à fin 2013. "Programme national de prévention des risques domestiques", fév. 2013

UN LOGICIEL ENTRAÎNE À REENTENDRE

Les problèmes d'audition dans des conditions bruyantes peuvent être améliorés via un logiciel d'entraînement acoustique, d'après une étude menée sur 67 personnes âgées de 55 à 70 ans. "PNAS", fév. 2013

MÊME À FAIBLE DOSE, L'ALCOOL EST DANGEREUX

Un seul verre d'alcool par jour augmente les risques de cancers. C'est l'une des conclusions d'une étude américaine regroupant l'ensemble des travaux menés depuis 2009 sur plus de 400 000 personnes. Malgré les bénéfices cardiovasculaires associés à une faible consommation, un verre de vin quotidien augmente de 25 à 35 % le risque de cancer mortel. Risque qui atteint 54 % en cas de forte consommation d'alcool, soit au moins trois verres par jour. Il n'existerait donc pas de niveau sain de consommation. Bien au contraire, l'alcool cause au total dix fois plus de décès qu'il n'en évite. "Amer. J. Pub. Health.", fév. 2013





BOIRE DU LAIT FAVORISE LES CRISES D'ACNÉ

Le lait serait le principal aliment favorisant l'acné. C'est ce qui ressort d'une analyse d'études sur le lien éventuel entre l'alimentation et ces problèmes de peau qui touchent jusqu'à 98 % des adolescents. Les aliments à fort indice glycémique, comme les confiseries, sont également pointés du doigt. Par contre, les oméga-3 présents dans le poisson, les fruits et les légumes limiteraient la progression des boutons d'acné. Autant de raisons qui soulignent le rôle important d'un régime équilibré pour traiter ces problèmes de peau. "J. Acad. Nutr. Diet.", fév. 2013

CANCER ET FERTILITÉ : UNE SOLUTION EXISTE

Elles sont peu utilisées : pourtant les techniques de conservation des gamètes (ovules et spermatozoïdes) peuvent préserver la fertilité des jeunes malades, souvent affectée par les traitements anticancéreux. "Rapport de l'INCa et de l'Agence de la biomédecine", déc. 2012

POUR CERTAINS, LA VIDEO 3D EST UNE GÊNE

Entre 10 et 15 % des spectateurs seraient gênés par la vidéo en 3D, notamment ceux qui ont des troubles de la vision binoculaire et/ou oculomoteurs, comme les strabiques. Des outils d'évaluation de cette gêne seront bientôt disponibles. "Projet Orthoptica", fév. 2013

L'ACTIVITÉ SEXUELLE SOULAGE LA MIGRAINE

Environ 60 % des personnes ayant eu un rapport sexuel durant une migraine ont vu leur état s'améliorer, selon une étude réalisée sur 800 patients. Mais la majorité des interrogés déclarent cependant ne pas réussir à avoir un rapport pendant la crise migraineuse. "Cephalgia", fév. 2013

LE Q.I. PEUT ÊTRE DÉVELOPPÉ AVANT LA NAISSANCE

Les résultats aux tests de Q.I. des enfants peuvent être améliorés en agissant avant même leur naissance ou leur scolarité, d'après une analyse regroupant les principales études consacrées au développement intellectuel des enfants. Comment ? Notamment par une alimentation riche en acides gras poly-insaturés (oméga-3) chez la mère enceinte ; une interaction sociale favorisée ; une scolarisation précoce et des exercices de lecture interactive entre les parents et leur enfant de moins de 4 ans. "Persp. Psychol. Sc.", fév. 2013





EN PRATIQUE

ZOOM DU MOIS

Par Pierre-Yves Bocquet

Lecture, calcul, stress, rythmes scolaires...

6 leçons des neurosciences contre les idées reçues

Culte de la note, méthode globale, bosse des maths... Une compréhension de plus en plus fine des rouages de notre cerveau met à bas nombre d'idées reçues sur nos apprentissages et ouvre des pistes pour aider nos enfants à mieux apprendre.

Dis-moi comment ton cerveau apprend, je te dirai comment il faut t'enseigner. Telle pourrait être la devise de la "neuroéducation". Une discipline émergente "née il y a quelques années grâce aux progrès de la psychologie cognitive et des techniques d'imagerie cérébrale", comme le résume un de ses pionniers, Steve Masson, professeur à l'université du Québec (Montréal). L'idée: s'appuyer sur la compréhension de plus en plus fine du cerveau pour guider le choix des méthodes d'apprentissage...

et mettre à l'épreuve de la science les idées reçues...

Les neuroscientifiques peuvent aujourd'hui observer l'activité du cerveau lorsqu'un sujet calcule mentalement, ou lorsqu'il lit un texte. Ils peuvent aussi y mesurer les modifications à l'œuvre au fur et à mesure de l'acquisition d'une compétence ou d'un savoir. Or, de telles observations donnent une idée du "bagage" cérébral de l'élève au moment de l'apprentissage, ce qui peut aider à adapter l'enseignement à ses dispositions.

Des chercheurs en neuro-imagerie cognitive de l'Institut national de la santé et de la recherche médicale (Inserm) ont ainsi découvert que notre cerveau n'est pas génétiquement préparé à la lecture, trop récente dans l'histoire de l'évolution. Alors qu'inversement, le cerveau des bébés est dès leur plus jeune âge doté de neurones "préprogrammés" pour effectuer des opérations mathématiques simples. Autre apport de l'imagerie: la comparaison entre l'activité cérébrale des experts et celle des débutants, pour vérifier si la méthode employée sollicite et entraîne les bons réseaux de neurones. Un procédé qui a notamment tranché la vieille querelle sur les méthodes d'apprentissage de la lecture!

IL N'Y A PAS "UNE" MÉTHODE

Certes, passer du laboratoire à l'école n'est pas évident: les neurosciences sont loin d'avoir décodé tous nos mécanismes cognitifs, et les découvertes faites dans un scanner ne se transposent pas aisément dans une classe où émotions, motivation et relation avec l'enseignant jouent un grand rôle. Surtout, tous les cerveaux ne se ressemblent pas. "Il

faut prendre en compte la diversité des élèves et des processus cognitifs, estime Kurt Fischer, directeur du programme Mind, Brain and Education à la Harvard Graduate School of Education de Cambridge (Etats-Unis). Et ne surtout pas vouloir écrire la sainte Bible de l'éducation qui viserait à forcer tous les élèves à apprendre de la même façon." Si les premiers enseignements de la neuroéducation en tiennent compte, ils bousculent aussi déjà nombre d'idées reçues, au cœur des débats actuels.



Des expériences pilotes

Les programmes de recherche en neuroéducation se multiplient dans tous les pays: Japon, Allemagne, Danemark, Royaume-Uni... Mais "seuls les Etats-Unis, le Japon, l'Allemagne et Israël ont mis en place des expériences pilotes", précise Bruno Della Chiesa, ancien membre du Centre pour la recherche et l'innovation dans l'enseignement à l'OCDE. Et en France? "Avec le laboratoire de Stanislas Dehaene, nous cherchons à évaluer ce que nous pouvons exploiter et comment, notamment en maths et français. Les premiers transferts [vers les écoles] pourraient intervenir d'ici deux à trois ans", estime René Macron, de la Direction générale de l'enseignement scolaire.



DEVOIRS À LA MAISON

Stresser l'enfant le handicapé

Impératif de la bonne note, longue liste de devoirs... Les élèves ont la pression. Or, ce stress nuit à l'apprentissage dès qu'il devient trop important. En effet, dans des proportions raisonnables, il dope le niveau de vigilance et d'attention via la sécrétion d'hormones comme l'adrénaline. Mais, en excès, ses effets deviennent dévasta-

teurs : le stress provoque la sécrétion de glucocorticoïdes (principalement le cortisol chez l'homme) qui, *"transportés jusqu'au cerveau, interagissent avec l'hippocampe, une des régions clés des processus mnésiques"*, explique Daniel Béracochéa, responsable de l'unité Interactions entre émotions et systèmes de mémoire à

Bordeaux. Résultat : le cortisol bloque en partie le fonctionnement de l'hippocampe au détriment des capacités de la mémoire à court terme (retenir quelques secondes ce qu'on vient d'entendre pour pouvoir le noter), de la mémoire de travail (imaginer les étapes nécessaires à la réalisation d'une tâche), et de la mémoire à long

terme, indispensable aux apprentissages.

Le stress agit aussi sur la capacité à convoquer les informations stockées. Ce qui explique que, pendant un examen, on puisse perdre ses moyens... Devant une épreuve, mieux vaut donc se focaliser d'abord sur les exercices que l'on maîtrise afin de faire baisser son stress...

**APPRENDRE À CALCULER*****Il est bon de compter sur ses doigts***

Compter sur ses doigts et apprendre les tables de multiplication : voilà qui évoque l'école de nos grands-parents. Or, la "modernité" voudrait qu'on effectue exclusivement des opérations "dans sa tête", et qu'on sache construire une table plutôt que l'apprendre par cœur. Eh bien... ce serait passer à côté des penchants naturels de notre cerveau !

D'abord, nos doigts sont naturellement liés au calcul : l'imagerie a montré que les circuits cérébraux qui régulent

la représentation mentale des doigts sont étroitement connectés à ceux qui régissent les opérations arithmétiques. Ainsi, des personnes atteintes de lésions cérébrales au niveau du gyrus angulaire gauche (situé à l'intérieur du lobe pariétal) ont à la fois des difficultés à faire des calculs simples et des troubles perceptivo-tactiles au niveau des doigts.

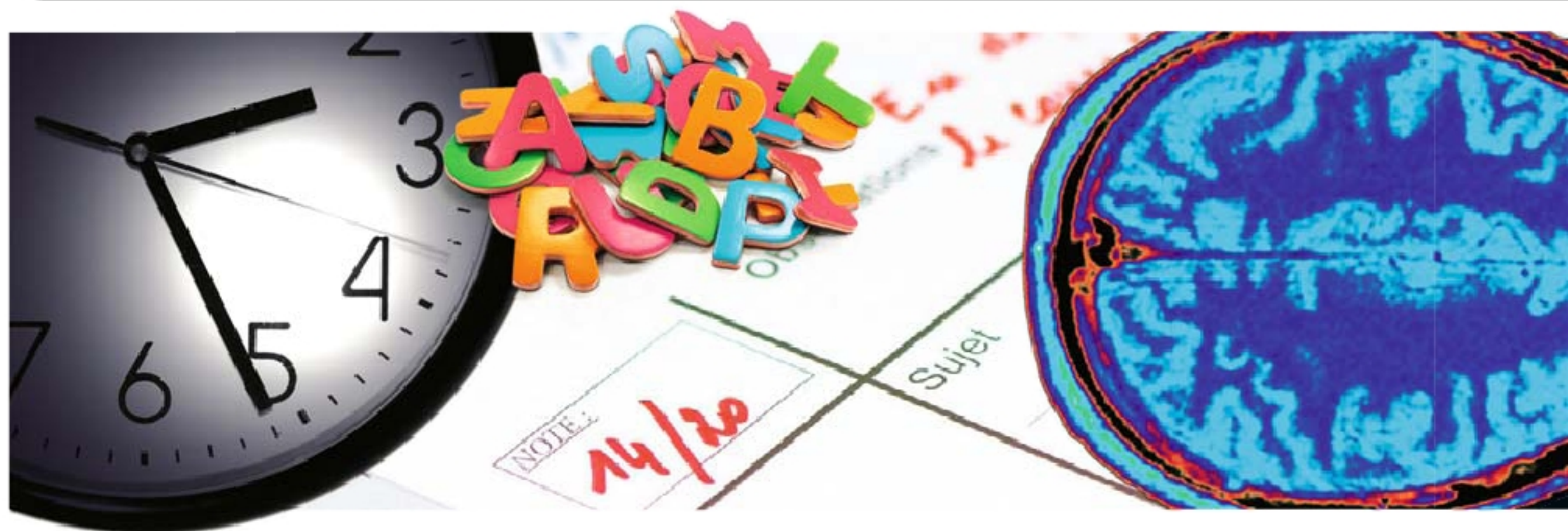
D'autres études ont également établi que la répétition, comme celle des tables de multiplication, sollicite ce

même gyrus angulaire gauche... justement activé en particulier chez les experts en calcul !

Parmi les autres idées reçues, il en est une qui voudrait qu'il ne soit pas pertinent d'enseigner le calcul aux tout-petits. Le psychologue Jean Piaget, dont les théories ont fortement influencé les systèmes scolaires, stipulait en effet que l'enfant ne pouvait commencer à apprendre à compter vers 6 ou 7 ans. En réalité, des expériences récentes

ont établi que le cerveau est capable d'effectuer des opérations simples juste après la naissance. Des bébés de 4 jours sont déjà capables de différencier 2 de 3, démontrant que le cerveau possède dès la naissance des neurones du calcul !

Autre enseignement encore des neurosciences : les aires cérébrales impliquées dans le calcul sont étroitement connectées à celles activées pour la reconnaissance spatiale. Ainsi, une étude récemment publiée a montré que

**CORRIGER LES ERREURS*****Ne plus viser le sans-faute***

Aujourd'hui, la pédagogie est essentiellement basée sur le développement de compétences rigoureuses qui associent, dans l'idéal, des connaissances exactes à des savoir-faire bien établis. Les erreurs y sont l'ennemi à combattre : elles sont perçues comme des virus qu'il faut se garder d'inoculer dans un cerveau qui en est dépourvu. Les résultats des

neurosciences montrent pourtant qu'accorder une grande attention aux erreurs faites spontanément est la condition nécessaire pour mieux les limiter. Car, dans le cerveau, les apprentissages ne remplacent pas les conceptions erronées comme on efface et réécrit sur un tableau noir. Les informations fausses persistent et peuvent refaire

surface. Or, "avec de l'entraînement, le cerveau apprend à résister à ses automatismes, ce qui est primordial à l'école et dans la vie en général", explique Olivier Houdé, responsable du Laboratoire de psychologie du développement et de l'éducation de l'enfant à la Sorbonne. Un avantage qui implique un changement marqué du fonctionnement

cérébral. "Nous avons montré l'effet de la pédagogie de l'inhibition. L'imagerie cérébrale nous a permis de visualiser la reconfiguration neuronale [lorsqu'un élève apprend à inhiber ses réponses erronées] : un basculement très net des activations cérébrales de la partie postérieure du cerveau (avant) au cortex préfrontal (après)." Cette reconfigura-

lorsque nous calculons mentalement combien font $12 + 3$, le cerveau réagit de la même façon que s'il visualisait le passage de 12 à 15 sur une règle graduée. Pour le cerveau, le calcul mental s'apparenterait, dans une certaine mesure, à un déplacement spatial. Ce qui plaide pour privilégier dans les classes des supports pédagogiques mettant en évidence ce lien : bouliers, règles, abaquas, dessins, jeux et logiciels éducatifs basés sur cette correspondance. Non pas seule-

ment parce que "c'est plus concret", mais parce que c'est comme cela que le cerveau traite les quantités!

Quant à l'évaluation des capacités mathématiques, les neurosciences permettent là aussi d'éviter une erreur très répandue qui consiste à confondre difficultés de lecture et difficultés en maths. En effet, lecture et calcul sollicitent des circuits cérébraux différents. Un long énoncé difficile à lire pourra donc prendre en défaut un élève... bon en maths.



tion signe le travail de remplacement des conceptions erronées par les bonnes. *"Les connexions neuronales sont comme le sentier que vous tracez dans une jungle dense à force de l'emprunter. Prendre un autre chemin exigera un effort supplémentaire"*, illustre Steve Masson, professeur en éducation à l'université du Québec (Montréal).

3 mythes battus en brèche

■ "Tout se joue avant l'âge de 3 ans"

La création de connexions entre neurones est la plus forte dans les premières années. Or, l'apprentissage s'accompagne de renforcements, affaiblissements, créations ou suppressions de synapses. De là à penser que tout se joue avant 3 ans, il n'y a qu'un pas. Mais une des grandes découvertes des neurosciences est que le cerveau évolue à tout âge. Certaines parties du cerveau adulte continuant même à fabriquer des neurones au bénéfice des capacités d'apprentissage.

■ "Les enfants seraient 'cerveau gauche' (matheux) ou 'cerveau droit' (artistes)"

Certaines fonctions sollicitent un hémisphère plus que l'autre : la lecture, le langage ou le calcul sollicitent le gauche ; le traitement des émotions, le droit. D'où l'idée qu'un hémisphère domine et que l'on puisse être matheux ou créatif. En réalité, les deux hémisphères communiquent sans cesse et la latéralisation des fonctions connaît beaucoup d'exceptions. Ainsi, les zones liées au langage se trouvent dans l'hémisphère gauche pour 95 % des droitiers et 65 % des gauchers.

■ "Garçons et filles ont des cerveaux différents"

Il existe des différences anatomiques, à commencer par le poids. Ainsi celui des hommes pèse-t-il près de 180 g de plus. Des hormones spécifiques à l'un ou l'autre sexe peuvent aussi avoir un impact sur son développement, notamment celui des zones qui gèrent les fonctions de la reproduction. Mais à l'intérieur d'une population de même sexe, les différences anatomiques et fonctionnelles du cerveau sont aussi nombreuses, et parfois même plus importantes, qu'entre deux personnes de sexes opposés.

SOMMEIL

Dix heures, c'est un minimum

Des enfants au lit avant 21 heures, c'est raisonnable, non ? Voire. Les enquêtes menées dans les principaux pays industrialisés font état d'une diminution inquiétante du temps et de la qualité du sommeil. Selon l'Insee, en France, les enfants de 11 ans et plus consacrent en moyenne 12 % (plus d'une heure) des 10 heures qu'ils devraient consacrer au

sommeil à des loisirs. En cause : télé, consoles, ordinateurs qui retardent l'heure du coucher et dérèglent l'horloge biologique, car leurs écrans lumineux provoquent une excitation qui retarde d'autant l'endormissement. Or, *"chez l'enfant, il existe un lien clair entre qualité du sommeil et performances scolaires"*, rappelle Philippe Peigneux, directeur

de l'unité de recherche en neuropsychologie et neuro-imagerie fonctionnelle à l'université de Bruxelles. Le cerveau a besoin de dix heures pour que l'hippocampe, une de ses structures profondes, joue son rôle de "gare de triage" dans le cortex, afin de ranger les informations retenues dans la journée de manière à les consolider efficacement.



Les neurosciences annoncent-elles la fin de l'échec scolaire ?

Les neurosciences, remède miracle contre l'échec scolaire ? Pas si simple. *"L'exploitation de l'enthousiasme des éducateurs ouvre la porte à l'adoption de méthodes ou de programmes prétendument inspirés des neurosciences mais qu'aucun spécialiste ne validerait. Voire à des interprétations simplistes de théories cognitives aboutissant à des erreurs d'interprétation, préviennent Sergio Della Sala et Mike Anderson, les auteurs de *Neuroscience in education*. [...] Il n'est pas raisonnable d'appliquer en classe des innovations dont les fondements n'ont pas été testés et validés par des protocoles scientifiques."*

Autre écueil : l'éducation est une affaire de choix de société. *"Le rôle des scientifiques est d'apporter des éléments de compréhension. La décision de traduire leurs résultats dans une méthode relève des pédagogues et des pouvoirs publics. Les neurosciences peuvent apporter un éclairage, non dicter des politiques"*, estime Bruno Della Chiesa, auteur en 2007 du rapport de l'OCDE *"Comprendre le cerveau : naissance d'une science de l'apprentissage"*, considéré comme l'acte de naissance officiel de la neuroéducation.

Enfin, les outils développés par les neurosciences peuvent être à double tranchant. Utilisés à bon escient, ils permettent par exemple de détecter plus tôt les personnes qui souffrent de problèmes d'apprentissage (dyslexie, dyscalculie...) et d'intervenir plus tôt et plus efficacement à l'aide de méthodes adaptées. Mais si on n'y prend garde, ils pourraient aussi servir de caution à des méthodes d'évaluation, de sélection et d'exclusion des élèves en fonction de leurs capacités, soulevant d'importantes questions morales et éthiques.

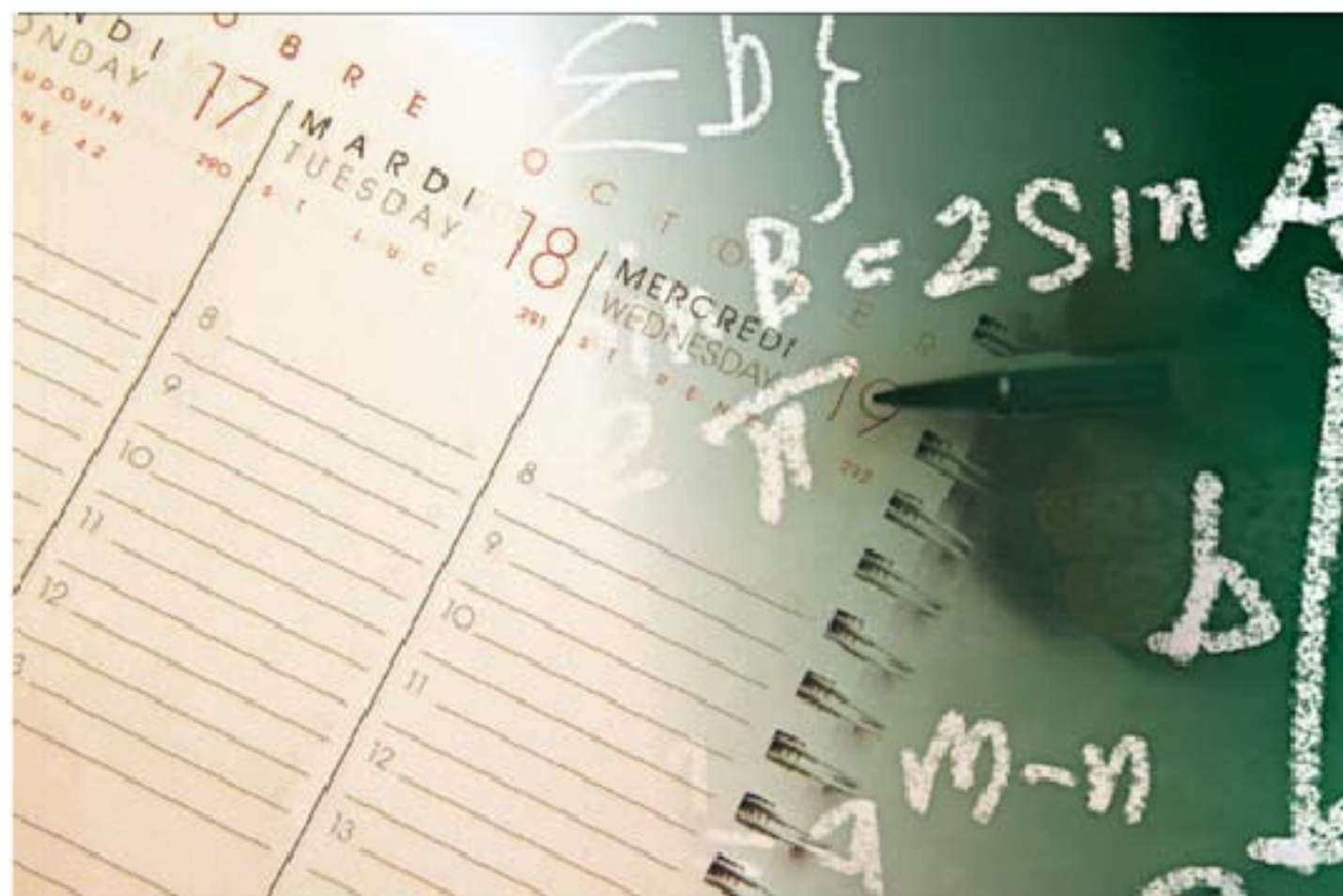
RYTHMES SCOLAIRES

Mieux vaut la

La question des rythmes scolaires continue de faire débat dans de nombreux pays. La France, cette année encore, avec sa semaine concentrée sur 4 jours pendant que les vacances d'été s'installent sur deux longs mois, n'y échappe pas. La volonté de passer à la semaine de 4 jours et demi à la rentrée prochaine se rapproche cependant des recommandations des scientifiques.

Du côté des statistiques issues de l'observation détaillée des écoles, le constat est

clair : en février 2011, une étude de l'Institut national de recherche pédagogique sur les rythmes scolaires indiquait que *"la journée des écoliers, collégiens et lycéens français est plus dense et plus chargée que celle de la plupart des autres élèves dans le monde"*. Les chronobiologistes sont eux aussi formels : ils sont contre la semaine de 4 jours, au profit de celle de 4 jours et demi ou de 5 jours. Ce qui présente en outre l'avantage de raccourcir la durée des journées.



APPRENDRE À LIRE

Abandonner la méthode globale

Apprendre aux enfants à lire lettre à lettre, puis syllabe par syllabe, ou leur apprendre à lire un mot après l'autre ? Si l'alternative est encore posée par certains pédagogues, les neurosciences, elles, n'ont plus d'hésitation. La méthode syllabique est la plus efficace. En 2010, des cher-

cheurs ont exposé deux groupes d'adultes, l'un avec l'approche globale, l'autre syllabique, à un nouvel alphabet inventé pour l'occasion. Résultat : en observant le cerveau de ces "cobayes" par IRM, les chercheurs ont constaté que la méthode globale, contrairement à la méthode syllabique, ne s'ac-

compagne pas de latéralisation de l'activité cérébrale. Or, cette latéralisation est typique des personnes expertes en lecture, et absente chez les personnes dyslexiques. Elle consiste en un déplacement de l'activité des neurones, principalement centrée sur le cortex préfrontal (mémoire de

travail) dans les premiers temps d'apprentissage, vers le lobe temporal de l'hémisphère gauche. Et elle s'explique par la présence, dans l'hémisphère où s'installe peu à peu l'activité cérébrale pendant la lecture, des aires dédiées à la parole : aire de Broca, gyrus angulaire, aire de Wernicke.

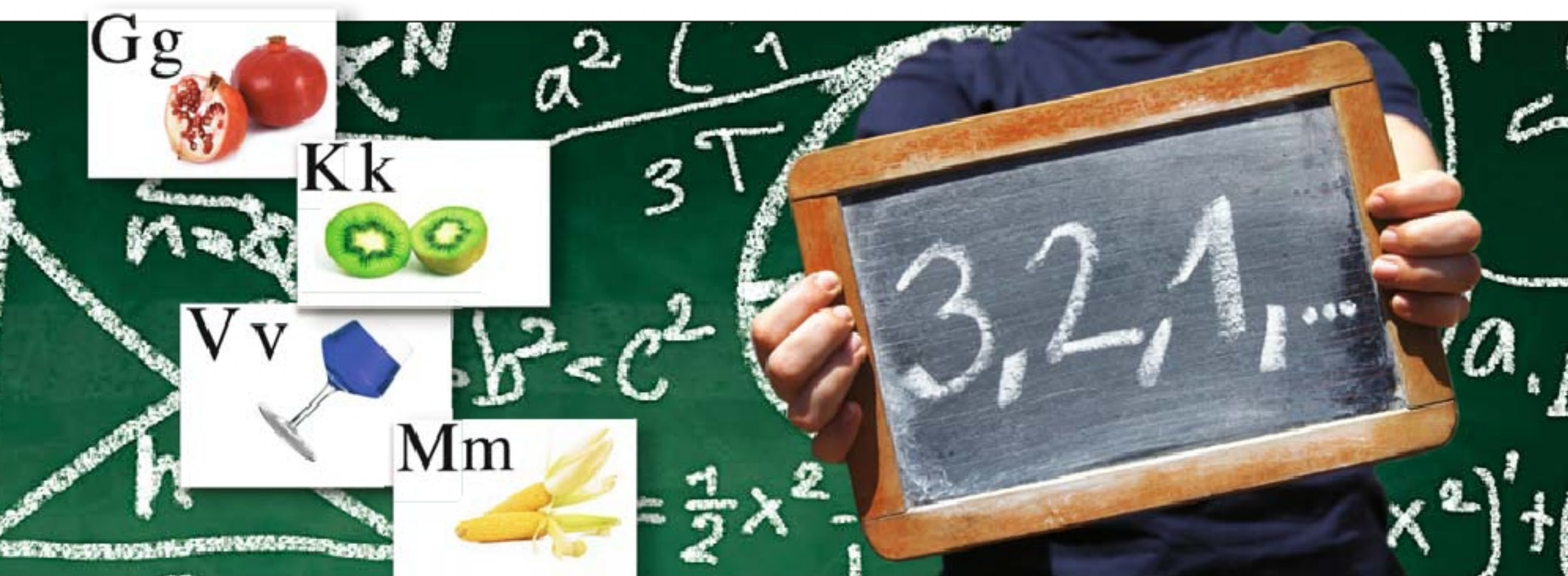
semaine de cinq jours

Les scientifiques ont en effet établi qu'au niveau hebdomadaire, les changements de rythmes sont extrêmement néfastes, tant ils perturbent l'horloge biologique. Notamment la coupure de deux jours le week-end, synonyme de désynchronisation du fait des changements d'heure de coucher et de lever. Résultat: fatigue et baisse de vigilance le lundi, et même parfois le mardi. Et, par conséquent, une diminution des capacités de

mémorisation, plus forte après deux jours de coupure qu'après un week-end d'un jour et demi. *"Nous savons qu'il vaut mieux étaler l'apprentissage sur l'ensemble de la semaine"*, résume Stanislas Dehaene, directeur de l'unité de Neuro-imagerie cognitive (CEA-Inserm). Un message entendu cette année par le ministre de l'Éducation, puisque le gouvernement a pris la décision d'abandonner la semaine de 4 jours au profit d'une demi-journée supplémentaire.

Dans le détail, il est établi de longue date qu'au quotidien, l'enfant, même lorsqu'il respecte un temps de sommeil correct, connaît des périodes de faible vigilance qui évoluent avec l'âge. Entre 4 et 6 ans, le rythme de l'attention fluctue en fonction des séquences d'enseignement, avec des pics au début de la séance et des creux à la fin. À partir de 7 ans, le rythme évolue: les creux d'attention sont concentrés en début de matinée et d'après-midi avec, au

contraire, des pics d'attention entre 10h00 et 11h00 et entre 15h00 et 16h00. Ce qui invite à prodiguer les enseignements les plus exigeants (lecture, calcul) aux heures où l'attention est maximale. À considérer l'année entière, là aussi, les vacances d'été "à rallonge" vont à l'encontre de ce que plusieurs études ont mis en évidence. À savoir que le rythme idéal consiste à respecter un cycle alterné de 7 semaines de classe pour 2 semaines de vacances.



Au niveau cérébral, la lecture consiste, pour l'essentiel, à connecter les régions visuelles à celles du langage. L'imagerie cérébrale a en effet montré un lien étroit entre les aires cérébrales que l'on sollicite pour lire et celles qui sont dédiées à la parole. Ce qui suggère d'ailleurs qu'en plus de décomposer

les mots en lettres et en syllabes, il est pertinent de les associer aux sons correspondants. Le fameux "B.A.BA." de la méthode syllabique.

Autre enseignement des neurosciences: certaines lettres sont plus difficiles que d'autres! Les travaux de l'unité de neuro-imagerie cognitive de la plate-forme

de recherche Neurospin, à Saclay, ont établi, en comparant le cerveau de personnes sachant lire et celui d'analphabètes, que la lecture passe par le "recyclage" de circuits neuronaux initialement dédiés à la reconnaissance des objets et des visages. Or, pour le cerveau, une casserole est un seul et

même objet, que le manche soit disposé à gauche ou à droite. Si bien qu'un "b" et un "d" ou un "p" et un "q" sont facilement confondus par le lecteur inexpert. D'où la nécessité d'utiliser des méthodes permettant de les distinguer soigneusement, en les dessinant avec le doigt dans l'espace, par exemple.



EN PRATIQUE

QUESTIONS RÉPONSES



D'où viennent les nouvelles drogues qui arrivent en France?

Question de Jean Le Gall, Six Fours (83)

Votre question fait écho au dernier rapport de l'Observatoire européen des drogues et toxicomanies (OEDT), qui s'inquiète de voir apparaître en Europe, et donc en France, un nombre croissant de nouvelles drogues de synthèse sur le marché des stupéfiants. En 2012, le système d'alerte précoce européen chargé de leur surveillance en a détecté plus de 50. Ce qui porte à 164 le nombre de molécules introduites depuis 2009: un record! Si la consommation des drogues classiques (cannabis, cocaïne, ecstasy) reste majoritaire, ces substances

inédites séduisent de plus en plus de jeunes adultes. Selon une enquête Eurobaromètre réalisée en 2011, 5 % des 15-24 ans de l'Union européenne en auraient testé une au moins une fois.

DE SIMPLS MÉDICAMENTS

Globalement, six grandes familles de produits sont sous surveillance: les phénoéthylamines, les tryptamines, les pipérazines, les cathinones, les cannabinoïdes de synthèse et enfin, un dernier groupe disparate appelé "autres substances". Sachant que ces deux dernières regroupent à elles seules les deux tiers des nouvelles substances identifiées.

Apparentée chimiquement au khat, un stimulant issu d'un arbre africain, la méthédrone (famille des cathinones) a beaucoup de succès dans le monde de la fête anglo-saxon. Si sa consommation est encore restreinte en France, elle y est en nette augmentation. En revanche, les cannabinoïdes de synthèse, pourtant la catégorie la plus répandue en Europe, semblent encore peu circuler dans l'Hexagone. Ces produits simulent l'action du THC, principe actif du can-

nabis, en se liant aux mêmes récepteurs dans le cerveau.

Comment expliquer cet afflux? Les facilités d'approvisionnement et de production des trafiquants ont tout changé. Certaines de ces nouvelles drogues sont en effet de simples médicaments détournés de leur usage, quand beaucoup d'autres trouvent leur origine dans la recherche pour le développement pharmaceutique, qui constitue un véritable vivier. Ainsi plusieurs cathinones et cannabinoïdes de synthèse ont-ils été étudiés ou utilisés comme principes actifs médicamenteux. Autre exemple, un stimulant, la BZP, de la famille des pipérazines, devait être à l'origine un antidépresseur.

Ce n'est pas tout. De nombreuses méthodes de synthèse ont été largement diffusées, notamment sur Internet, comme dans le cas de la plupart des cannabinoïdes: du pain béni pour les chimistes qui souhaitent faire carrière sur ce type de marché! Et leurs produits de base peuvent souvent être achetés en toute légalité auprès de fournisseurs de produits chimiques ou sur Internet. Nul besoin d'être un génie de la chimie ni de posséder →



⚠ L'inflation des molécules de synthèse est telle (ici, aux douanes de Paris) que seules des analyses permettent de déterminer la nature de ces nouvelles drogues.



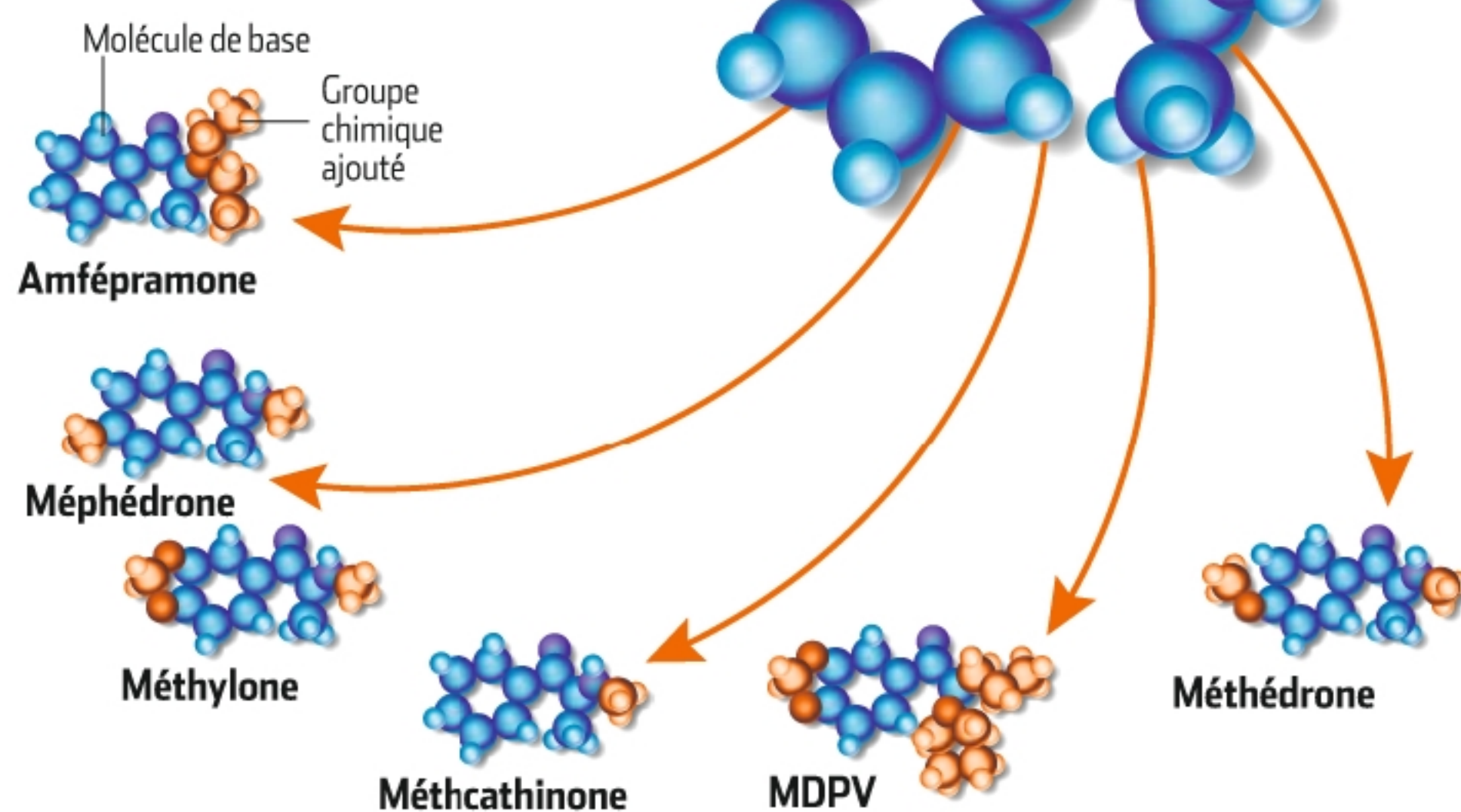
→ un laboratoire sophistiqué pour en maîtriser la synthèse. Quelques réactifs chimiques en vente dans le commerce peuvent suffire à provoquer une réaction qui va substituer, ou greffer, un groupe d'atomes sur une molécule déjà existante, modifiant sa conformation spatiale... et son action.

A titre d'exemple, les synthèses de l'amphétamine, de son dérivé la MDMA (principe actif majeur de l'ecstasy) et des nouvelles drogues apparentées (phénéthylamines) font appel à une réaction classique dite de Leuckart (voir encadré), qui convertit des composés organiques, les cétones, en amines, en leur substituant un atome d'azote. Cette réaction est courante en pharmacologie, car la fonction amine est partagée par de nombreuses substances biologiquement actives. Certaines amines de synthèse présentent ainsi des analogies avec des neurotransmetteurs du cerveau, d'où leurs effets psychotropes.

Pour une même drogue, il peut donc exister différentes voies de synthèse, parfois

Deux grands "dealers" moléculaires

Cathinones et cannabinoïdes de synthèse sont deux familles de molécules très surveillées, qui constituent à elles seules les deux tiers des nouvelles substances identifiées. Grâce à des réactifs chimiques que l'on trouve facilement dans le commerce ou sur Internet, on greffe sur la molécule de base des groupes d'atomes qui vont modifier sa conformation et son action.



réalisables avec du matériel basique dans des laboratoires clandestins. L'an passé, l'Office des Nations unies contre la drogue et le crime rapportait ainsi l'évolution rapide des méthodes de fabrication

des stimulants et le développement de subterfuges destinés à masquer les précurseurs employés pour rendre tout contrôle inopérant.

Reste la question de l'intérêt des usagers. "La polyconsommation est quasi systématique chez les usagers de drogues plus 'classiques' et s'inscrit dans une recherche de variations d'effets", indique Gregory Pfau, coordinateur de la mission de développement de l'analyse des drogues de Médecins du Monde. Or, en la matière, tout est devenu possible, ou presque. De même que trois couleurs primaires suffisent à déployer une palette de teintes, chaque nouvelle substance peut procurer une expérience unique en jouant sur les trois grands types d'effet possible des psychotropes : diminuer l'activité

globale du cerveau, la stimuler ou la perturber par des effets hallucinogènes. "Chaque famille présente globalement les mêmes propriétés pharmacologiques, mais elles seront plus ou moins exprimées selon le produit", précise l'addictologue.

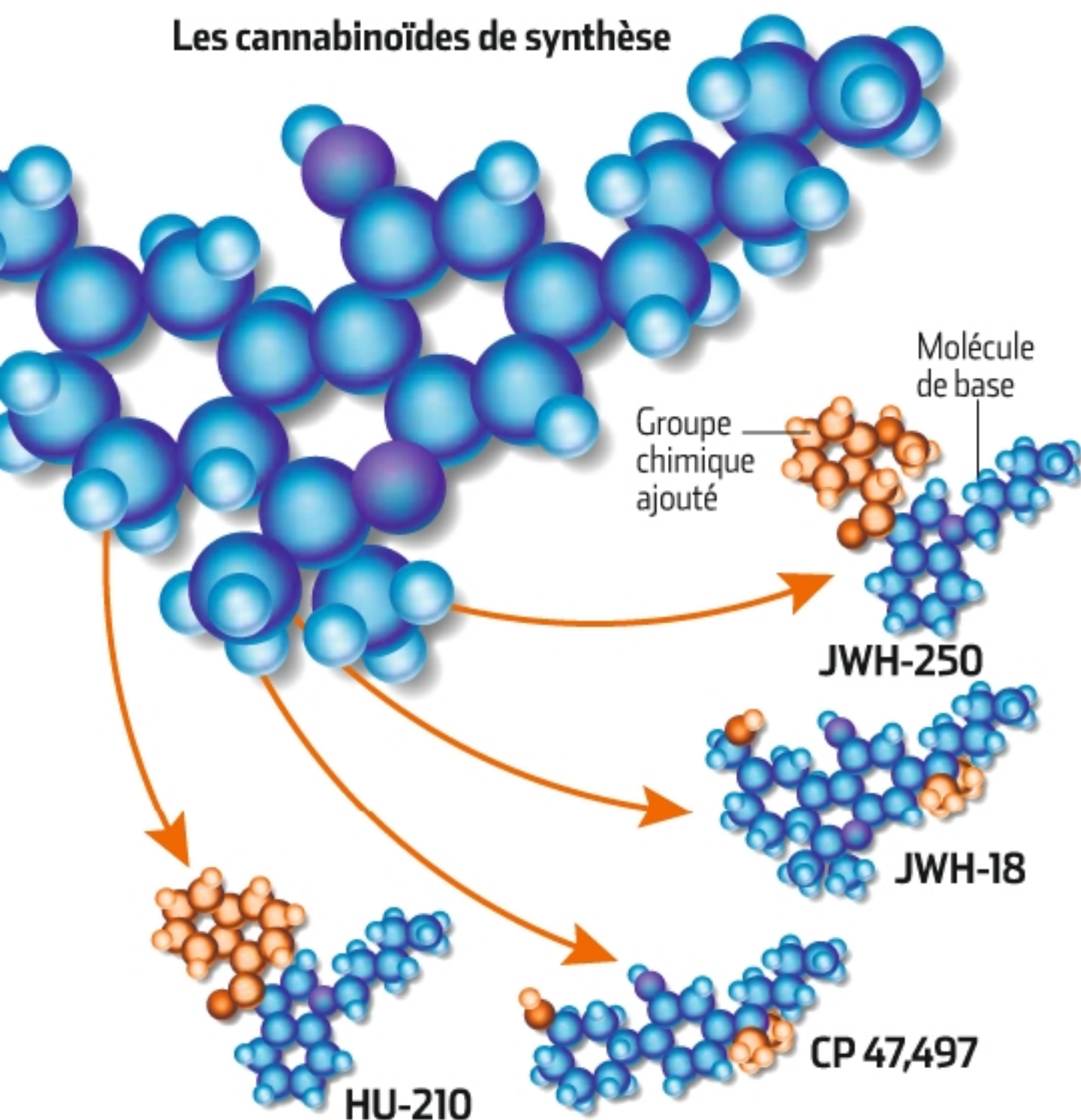
UN VIDE JURIDIQUE TOTAL

Ainsi, si tous les amphétaminiques sont stimulants et hallucinogènes, l'amphétamine est surtout un stimulant puissant et un coupe-faim, quand la composante stimulante de son dérivé, la MDMA, est, elle, associée à un registre hallucinogène, dit "effet love" (envie de toucher l'autre et sensation de le comprendre). En outre, les effets varient en fonction de la dose et de la concentration, mais aussi de l'individu et du contexte de consom-

UNE VIEILLE RÉACTION CHIMIQUE ÉPROUVÉE

Le chimiste allemand Carl Louis Rudolf Leuckart a sans doute été, sans le savoir, le premier à fabriquer de l'amphétamine. Il a en effet, fortuitement, en 1885, découvert la réaction qui porte aujourd'hui son nom : en chauffant du benzaldéhyde avec du formamide, il a obtenu, parmi d'autres composés, des amines (des molécules porteuses d'un groupement chimique azoté). Cette réaction, qui ne sera explicitée que bien plus tard, deviendra courante en pharmacologie au XX^e siècle. La fonction amine est en effet partagée par nombre de substances biologiquement actives, dont les neurotransmetteurs de la famille des catécholamines, d'où leurs effets psychotropes.

Les cannabinoïdes de synthèse



mation. Ainsi que les effets secondaires (maux de tête, vomissements...).

"Le seul vrai point commun de ces substances, c'est qu'elles sont accessibles sur Internet, sous leur nom de molécule ou sous des noms de marque qui couvrent une composition plurielle", estime Grégory Pfau. C'est un marché largement mondialisé: la production est majoritairement extra-européenne (Chine, Inde...) et les sites de vente essentiellement anglo-saxons. Les législations antidrogues sont dépassées... Les substances qui émergent ne sont pas inscrites sur les listes des psychotropes contrôlés parce que leurs risques n'ont pas encore été étudiés. Ainsi, plusieurs années seront souvent nécessaires avant que des médicaments détournés ne soient finalement classés

parmi les stupéfiants. Le vide juridique facilite également l'essor des "euphorisants légaux", non réglementés et vendus sous différentes étiquettes: produits chimiques de recherche, sels de bain, encens, désodorisants...

Bien sûr, certains produits finissent par être classés comme stupéfiants, comme ce fut le cas, en France, en août dernier, de toutes les cathinones, la méphédronne étant mise en cause dans des overdoses mortelles en Angleterre et au Danemark. *"Mais l'évolution de la loi pousse aussi à la multiplicité de l'offre",* constate Grégory Pfau, pour qui le phénomène est loin de s'esouffler. Malheureusement, les études cliniques et le recul manquent pour prévoir les méfaits à long terme de ces nouveaux usages... **M.M.**

Mange-t-on des cellules de viande encore vivantes?

Question de Geoffrey Cartry, Montreuil (93)

Tout dépend de ce que vous entendez par "vivantes". Si vous voulez dire "capables de renouveler les éléments qui les constituent", la réponse est non. Pour cela, les cellules ont besoin de dioxygène (O_2). Ce gaz, puisé dans l'air *via* la respiration, est délivré aux différents organes par le sang. Quand l'animal est mort, les cellules de la viande ne sont donc plus alimentées en O_2 . *"En fait, le taux de dioxygène diminue progressivement dans les cellules, qui peuvent rester vivantes jusqu'à 48 heures après la mort de l'animal. Mais la viande n'est pas vendue avant dix jours pour que les muscles, à la base très rigides, s'attendrissent: ce processus de 'maturation' fait qu'ils deviennent de la viande à proprement parler",* explique Brigitte Picard, directrice de recherche à l'Institut national de la recherche agronomique de Clermont-Ferrand. En revanche, si par "vivantes" vous voulez signifier des cellules "où se

déroulent encore des réactions biologiques", la réponse est oui!

UNE LENTE MATURATION

Certaines réactions biologiques ne nécessitent en effet pas d'oxygène, comme celles de maturation de la viande, justement. *"Certaines de ces réactions impliquent des molécules appelées 'protéases', qui modifient les protéines et l'organisation du muscle, ce qui l'attendrit,* précise Brigitte Picard. *D'autres modifications surviennent au niveau des graisses sous l'action d'autres molécules, et sont à l'origine de l'odeur et de la saveur caractéristiques de la viande 'mûre'."* Ces réactions ne durent que quelques jours après la mort chez les volailles, mais plus de vingt chez le bœuf (en carcasse ou en morceaux sous vide à 4 °C)! Les réactions de maturation existent aussi dans les morceaux achetés congelés: elles n'y sont que stoppées, mais reprennent après la décongélation. **K.B.**

GAGNEZ UN ABONNEMENT D'UN AN À

SCIENCE & VIE

Cette rubrique est la vôtre, écrivez-nous!

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

SCIENCE & VIE, QUESTIONS/RÉPONSES
8, rue François-Ory, 92543 MONTROUGE CEDEX.



Ça fait quoi de passer le mur du son en chute libre?

Question de Paul Cherblanc, Lyon (69)

Ça ne fait pas "bang"! Le parachutiste autrichien Felix Baumgartner, qui a franchi le mur du son en chute libre et atteint la vitesse record de 1 342,8 km/h (Mach 1,24) le 14 octobre 2012, en témoigne: *"Je ne sais pas quand j'ai franchi le mur du son. C'est l'équipe au sol qui a entendu mon 'bang' supersonique."* Au vrai, le pilote d'un avion de chasse qui dépasse la vitesse du son (1 224 km/h dans un air à 15 °C) ne l'entend pas non plus: il va en effet plus vite que l'onde de choc qu'il

provoque. Or, c'est cette onde de choc qui produit un "bang" quand elle rencontre nos oreilles.

"NAGER HORS DE L'EAU"

Reste que pour franchir le mur du son en chute libre avec une simple combinaison pressurisée, il faut d'abord affronter un froid extrême: à 39 km d'altitude, il fait -40 °C. La pression atmosphérique y représente moins de 0,01 fois celle de la pression terrestre: *"L'air était si mince que j'avais l'impression d'essayer de*

nager hors de l'eau", raconte Felix Baumgartner. Il lui faut alors stabiliser sa trajectoire, tout en subissant une accélération de 9,81 m/s toutes les secondes. Les ondes de choc provoquées par sa chute s'accumulent en effet devant lui: plus sa vitesse se rapproche de celle du son, plus la résistance de l'air comprimé en avant augmente. C'est cette résistance qui matérialise "physiquement" le mur du son. Cette phase est la plus dangereuse. Les turbulences deviennent telles, qu'elles font tourner le corps sur lui-même, expulsant le sang vers la tête et les pieds... J.G.



> Le 14 octobre dernier, Felix Baumgartner a franchi le mur du son, atteignant la vitesse record en chute libre de 1 342,8 km/h.

Combien de bosses ont les petits d'une chamelle et d'un dromadaire?

Question de Céline Saly, Boulogne (92)

La génétique est formelle: sachant que la chamelle a deux bosses et que le dromadaire n'en a qu'une, leur descendant en aura une seule... mais légèrement subdivisée en deux!

Une telle progéniture est en effet possible. Si le dromadaire (*Camelus dromedarius*), dit aussi "chameau d'Arabie", qui est originaire d'Asie occidentale et d'Afrique du Nord, et le chameau dit "de Bactriane"

(*Camelus bactrianus*), qui est originaire d'Asie, appartiennent à deux espèces distinctes, ils restent cependant assez proches génétiquement pour pouvoir se reproduire ensemble naturellement. Bien que rare à l'état sauvage, cette hybridation est couramment pratiquée par l'homme dans les pays où les deux espèces cohabitent, comme au Kazakhstan. Les éleveurs ont ainsi réussi à allier la robustesse

du chameau à la productivité laitière du dromadaire.

Appelé "turkoman" ou "nar", l'hybride de première génération (F1) est doté d'une silhouette un peu étrange, avec une bosse unique qui semble allongée. En fait, il a une bosse arrière prolongée par une bosse avant peu individualisée. *"Ce résultat n'est pas surprenant: quand on croise deux espèces, on obtient souvent un hybride avec des caractères intermédiaires entre ceux des deux espèces,"* commente Mathieu Joron,

généticien au Muséum national d'histoire naturelle à Paris. *Ensuite, comme le turkoman ressemble davantage au dromadaire, on peut dire que le caractère 'une bosse' semble génétiquement dominant par rapport au caractère 'deux bosses'."*

DES HYBRIDES FERTILES

On le sait: le croisement entre un âne et une jument donne la mule, qui n'est pas fertile; car cheval et âne sont deux espèces trop éloignées pour donner un hybride fertile. Ce qui n'est pas le cas du



Pourquoi les éoliennes ont-elles trois pales ?

Question de Steve Tripet, Marseille (13)

Parce qu'il s'agit du meilleur compromis entre contraintes de fonctionnement, rendement énergétique, bruit et coûts de fabrication. *"Deux pales verticalement opposées augmentent le risque de défaillance, car le vent exerce une force plus élevée sur la pale supérieure"*, explique Michel Massenzio, du Laboratoire de biomécanique et mécanique des chocs de l'université de Lyon. Avec trois pales, les contraintes mécaniques sont donc moins fortes. En revanche, plus les pales sont nombreuses, plus les turbulences qu'elles produisent diminuent leur ren-

dement. Et *"ces turbulences provoquent du bruit. Réduire leur nombre réduit donc les nuisances sonores"*, ajoute Michel Massenzio. On peut aussi minimiser ces turbulences grâce à des pales plus fines, mais leur robustesse est alors plus difficile à assurer. Enfin, fabriquer plus de pales coûte plus cher. Reste que certains constructeurs, comme le français Vergnet, se spécialisent dans l'éolien bipale *"parce que c'est plus facile à installer, à réparer et à abaisser au sol en cas de cyclone"*, répond la direction de l'entreprise. Tout dépend donc de son objectif. **G.S.**

chameau et du dromadaire. Du coup, leur croisement donne un turkoman de première génération qui est fertile. Si la femelle turkoman est croisée avec un chameau, elle donnera un hybride de seconde génération (F2) avec deux bosses plus individualisées, donc ressemblant davantage au chameau. Inversement, si elle est croisée avec un dromadaire, l'hybride F2 ressemblera plus au dromadaire.

Mais le dromadaire peut également être croisé avec un lama (par insémination artificielle seulement). De cette union transocéanique naîtrait alors un hybride de taille intermédiaire, le "cama", qui serait lui... sans bosse! **K.B.**



✓ Le turkoman est un hybride doté d'une longue bosse... légèrement subdivisée en deux !



EN PRATIQUE

TECHNOFOLIES

Cet écran diffuse deux émissions de télé à la fois

Munis de lunettes filtrantes, deux téléspectateurs peuvent suivre, en simultané et sur le même écran, un programme télévisé différent ! Une prouesse dans la technologie des écrans 3D. Explications.

Assis sur le canapé, face à l'écran, l'un regarde son match de foot, l'autre son film... C'est la dernière innovation en matière de télévision : deux programmes s'affichent en simultané sur toute la surface d'un écran ! Deux programmes, et deux partis pris techniques, liés à

l'existence de deux grandes familles d'écran 3D.

La première, développée par LG et Sony, s'appuie sur des modèles LCD ou OLED, à "technologie passive". L'utilisateur chausse des lunettes, dépourvues d'électronique et dotées de verres polarisants droite et gauche distincts, qui modifient les propriétés de la lumière. Ainsi, avec un téléviseur de 1080 lignes, une ligne sur deux sert à l'œil gauche, l'autre à l'œil droit, ce qui permet de reconstituer des images en 3D. C'est ce principe qui a été adapté au double programme : "Ici, la moitié des lignes (540) est destinée au premier téléspectateur, les 540 autres au second", explique Sébastien Bergeret, de chez LG. Résultat ? Cette technologie ne projette pas encore de double programme télévisé, faute de résolution suffisante. Elle n'offre pas non plus de relief mais, avec certains jeux vidéo où l'écran se divise en deux, elle permet de jouer en mode plein écran (chaque joueur voyant

sa propre partie). C'est une première étape...

La seconde famille, dite à "technologie active", développée par Samsung, projette deux programmes en simultané et en relief. Le système utilise un écran affichant des vues en 3D : deux images différentes sont projetées en alternance, de manière ultrarapide. Des lunettes électroniques, dites "actives", occultent successivement chaque verre très rapidement, chaque œil voit ainsi une seule image. Là encore, le principe a été adapté pour le double programme. Les lunettes actives que porte l'utilisateur sont équipées d'obturateurs. Dotées d'oreil-

lettes intra-auriculaires, les montures permettent de diffuser le son en Bluetooth. Et un bouton permet de basculer du programme A au programme B (films, jeux vidéo, émissions télévisées...).

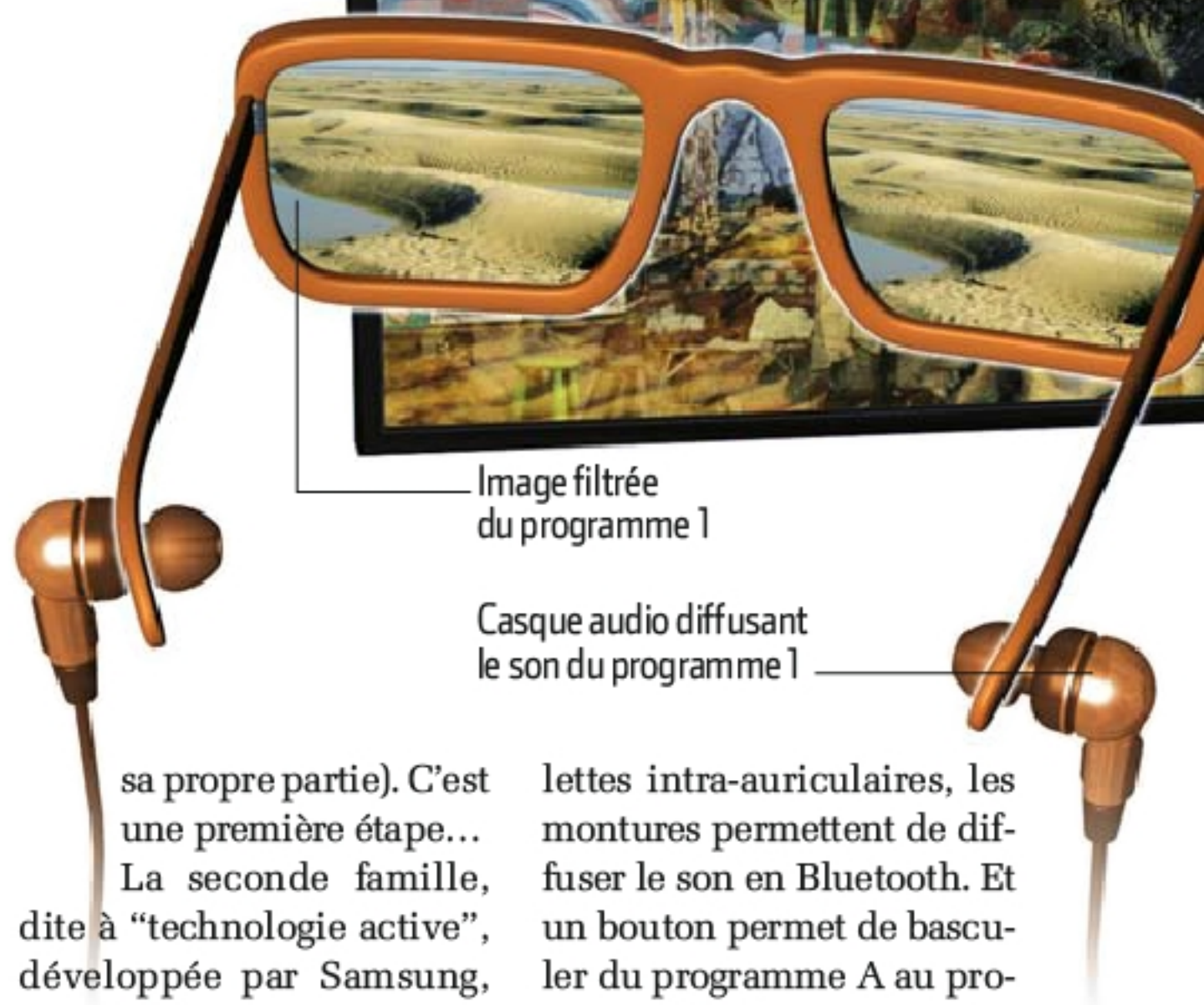
LA QUESTION DU PRIX

Une prouesse technologique ? Un coup plutôt malin, juge François Templier du CEA-LETI, spécialiste des technologies d'écran LCD et OLED : "Depuis 2010, on sait très bien faire de la 3D active, explique le chercheur (voir S&V n° 1119, p. 122). Ici, la technologie est détournée pour diffuser deux scènes complètement différentes." La seule vraie difficulté réside dans la



Image filtrée du programme 1

Casque audio diffusant le son du programme 1



3 DATES CLÉS

1928

L'ingénieur écossais John Logie Baird présente à Londres le premier téléviseur stéréoscopique qui affiche des images en trois dimensions.

2009

Les premiers téléviseurs 3D à lunettes actives sont mis en vente.

2011

Au salon IFA de Berlin, LG présente son premier prototype de téléviseur double programme, à technologie passive.



Ecran affichant les deux programmes mélangés

Image filtrée du programme 2

Casque audio diffusant le son du programme 2

Lunettes filtrantes

fréquence d'affichage des images. "Pour diffuser deux programmes en deux fois 2D, le téléviseur doit pédaler deux fois plus vite. Pour obtenir deux fois de la 3D, il doit pédaler quatre fois plus vite!"

Un obstacle qui ne semble pas infranchissable, un certain nombre de téléviseurs affichant des fréquences de 200 hertz. Ce qui permet de quadrupler la vitesse d'affichage par rapport à un téléviseur à 50 Hz. Alors, pourquoi ne pas chercher à diffuser plusieurs programmes en simultané? "On devrait pouvoir projeter trois, voire quatre programmes en 3D, dans les

prochaines années. Mais, au-delà, on risque d'arriver à des limites en fréquence", précise François Templier. Ce procédé devrait débarquer en Asie puis en France avant la fin de l'année sous la forme d'une dalle OLED de 1,40 m de diagonale équipée de trois doubles tuners (TNT, câble et satellite). Reste à voir si le prix exorbitant ne sera pas un frein à l'achat... Et si les téléspectateurs auront vraiment envie de s'isoler encore un peu plus devant leur écran. **E. Thierry-Aimé**

Prix: env. 10 000€ pour la 3D active; à partir de 385€ pour la 3D passive.
Rens. www.samsung.com/fr
www.lg.com/fr - www.sony.fr

Comment ça marche ?

Deux technologies existent: "passive", à images entremêlées, utilisée pour les jeux vidéo; "active", à images successives, destinée à la programmation télévisée. Dans les deux cas, l'utilisateur porte des lunettes spéciales.

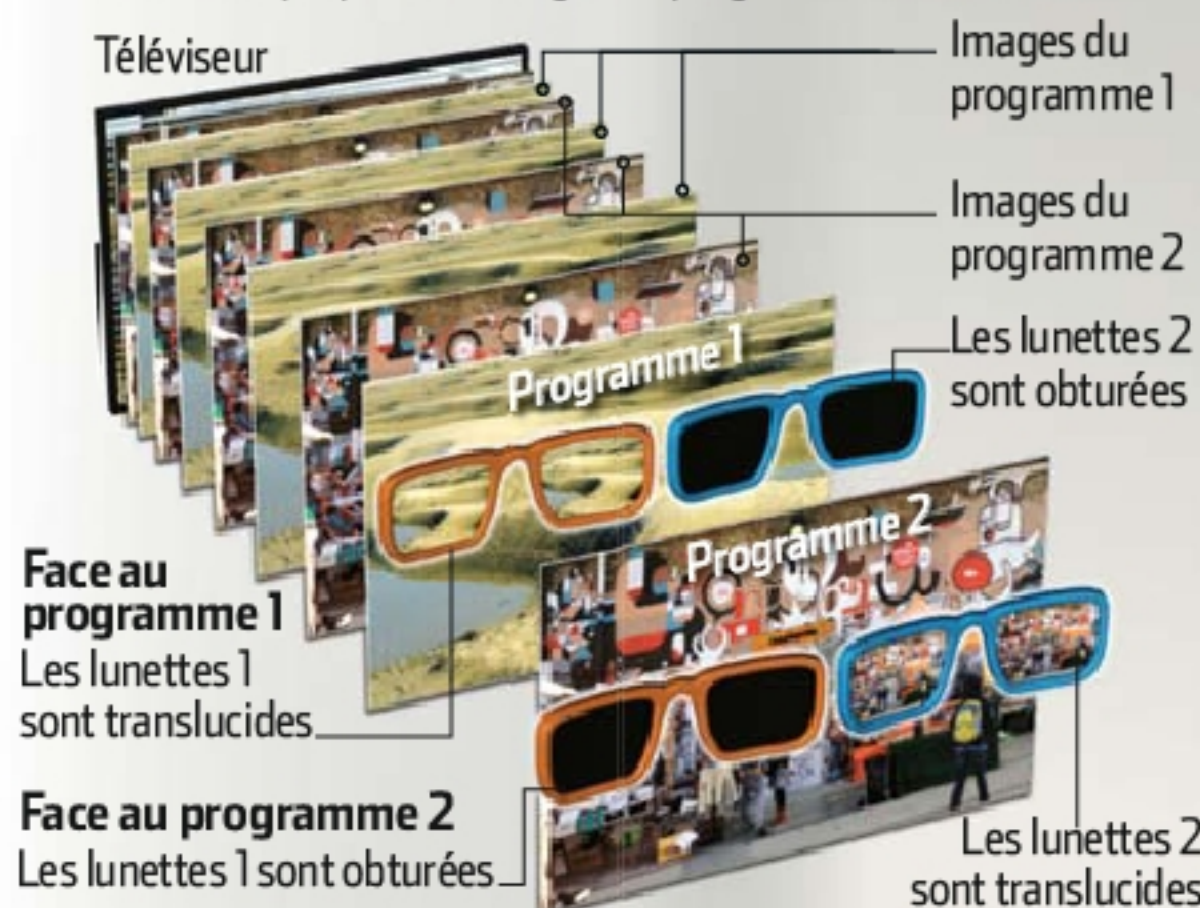
Le système à images entremêlées

L'écran HD est divisé en 1 080 lignes. Les lignes impaires affichent un programme en lumière polarisée à gauche. Les lignes paires affichent un second programme en lumière polarisée à droite. Des lunettes à filtre polarisant permettent de ne voir que les lignes paires ou impaires.



Le système à images successives

Alternativement, et à très haute fréquence, la télé affiche l'image d'un programme, puis l'efface et affiche celle de l'autre programme. Chaque téléspectateur porte donc des lunettes à obturateur synchronisées sur le téléviseur, et qui ne s'ouvrent que pour les images du programme sélectionné.





< L'eau de pluie court le long des gouttières du toit jusqu'à dans une gourde.

UNE TENTE AVEC L'"EAU COURANTE"

En randonnée, trouver de l'eau potable est une préoccupation. D'où ce système de filtration d'eau unique inauguré sur la nouvelle tente My Second Home de Quechua : un réservoir fixé sur les "gouttières" du toit récupère l'eau de pluie. En sortie, un filtre élimine bactéries et impuretés. Et l'eau propre est recueillie dans une "gourde". Ce système fonctionne aussi avec l'eau d'un ruisseau. En complément, un panneau solaire et une batterie peuvent fournir lumière et énergie à la tente. **L.B.**

Prix : à partir de 400 €. Rens. : www.quechua.com

Ce robot assainit l'air chez vous

Famibot, c'est le nom de ce robot qui déambule dans la maison afin de traquer les polluants infestant l'air de nos intérieurs. Mis au point par la société chinoise Eco-vacs, qui fabrique des robots aspirateurs, il renifle l'air en permanence. Des capteurs lui permettent d'en évaluer la qualité. En cas de dépassement des seuils enregistrés, le robot déclenche son système d'assainissement, constitué de trois filtres. Le premier retient les particules telles que le pollen, la poussière et la fumée ; le deuxième capture les polluants chimiques comme le formaldéhyde, le benzène et l'ammoniac ; le troisième est un filtre antibactérien qui élimine germes, virus et champignons. Pour com-

pléter la vigilance, Famibot peut aussi être associé à un détecteur de fumée (non fourni). A la moindre émanation suspecte, il alerte les occupants des lieux par un message vocal diffusé dans la maison. La capacité de surveillance de l'appareil est par ailleurs renforcée par le biais d'un détecteur infrarouge capable de détecter toute intrusion. Sa tête renferme également une caméra afin que vous puissiez vérifier à distance, sur votre téléphone mobile, que tout va bien, *via* sa connexion wi-fi. Attention, ce robot ne sera disponible en Europe qu'au quatrième trimestre 2013. **O.L.**

Prix : env. 600 €.

Rens. : www.ecovacs.com



La fourchette qui peut vous aider à perdre du poids

Pour maigrir, mieux vaut manger moins et moins vite, l'impression de satiété se déclenchant vingt minutes après le début des repas. C'est fort de ce constat, que HAPILabs, une startup

française spécialisée dans les capteurs pour la santé, vient de lancer la première fourchette "intelligente" et connectée. L'HAPIfork est équipée d'un accéléromètre, semblable à celui des smart-

phones ou tablettes, qui lui permet de détecter et d'analyser les mouvements de votre fourchette. Ainsi, elle vous signale en temps réel si vous mangez trop vite en envoyant une vibration et un

signal lumineux... Ce n'est pas tout. Des informations (début et fin de chaque repas, quantité de nourriture ingérée par minute, intervalle entre chaque bouchée...) sont également





transmises par connexion USB ou Bluetooth sur le tableau de bord de votre PC ou de votre smartphone, afin de vous aider à progresser au fil des repas. Astucieux! **E.T.-A.**

Prix: env. 100 €.
Rens: <http://hapilabs.com>

✓ Un accéléromètre intégré dans la fourchette donne l'alerte si le rythme du repas est trop rapide.



LE COIN DES PROTOTYPES

LA PREMIÈRE VOITURE HYBRIDE À AIR COMPRIMÉ

Est-ce un avant-goût de la voiture de demain? Ce modèle-là, "hybrid air" du groupe PSA, ne manque, en tout cas, pas de souffle: il carbure à la fois à l'essence et à l'air comprimé! A la différence de ses concurrentes hybrides, ce prototype se passe de batteries électriques, remplacées par deux bonbonnes d'azote, placées sous le coffre et entre les essieux. Le principe? Lors d'un freinage, l'énergie cinétique libérée est utilisée par une pompe hydraulique pour "faire le plein" en comprimant l'azote. A l'inverse, quand on accélère, l'azote est décompressé et l'énergie hydraulique ainsi produite permet à la pompe de faire tourner les roues. Avantages: outre une consommation d'essence réduite (3 litres aux 100), l'absence de batterie permet d'éliminer de nombreux composants chimiques tout en diminuant les coûts de fabrication. **S.B.**

Rens: www.psa-peugeot-citroen.com



UN PROCÉDÉ POUR JOUER EN IMMERSION TOTALE

Illumiroom préfigure peut-être ce que seront les jeux ultra-immersifs. Cette technologie de Microsoft Research permet de projeter un jeu vidéo autour d'un écran, en assurant la continuité de l'image sur les murs et les meubles. C'est la célèbre Kinect du constructeur qui scanne la surface de projection: comme elle n'est pas plane, les images projetées sont calculées en temps réel pour éviter leur déformation. Par exemple, la perspective d'une rue ne sera pas cassée par le volume d'une armoire, son image sera calculée pour qu'elle garde sa forme rectiligne. Il s'ensuit une impression d'immersion totale. Les premiers tests laissent soupçonner un projecteur de salon fixé au plafond. **S.F.**

Rens.: <http://research.microsoft.com/en-us/projects/illumiroom/>





Elle imprime en 3D et en couleurs !

La CubeX Trio de l'américain 3DSystems tricolore est une imprimante 3D classique : à partir de plans, elle fabrique des objets, lamelle après lamelle. Mais elle se démarque par ses couleurs et son orientation grand public. Grâce à trois têtes d'impression, elle fabrique des objets en trois couleurs (parmi 18 disponibles), une première sur ce type de produit. Autre innovation : son plateau en verre (et non en métal) ne chauffe pas, ce qui évite les risques de brûlure. Les objets sont fabriqués à partir de filaments de plastique fondu, des polymères biodégradables similaires à ceux utilisés dans les Lego. Ils sont vendus en cartouches. Reste à voir la qualité des objets "imprimés". Le constructeur annonce une précision de 125 micromètres, soit environ l'épaisseur d'une page de *Science & Vie*. Une performance surprenante pour un produit grand public. **F.G.**

Prix : env. 3 200 €.

Rens : www.cubify.com

LE POLO SUPER RAFRAÎCHISSANT

Au lieu d'appliquer un traitement chimique au tissu de son polo Freeze Degree pour le rendre rafraîchissant, la marque américaine Columbia a plaqué à l'intérieur un produit (tenu secret) sous forme de centaines de petits cercles bleus de quelques millimètres. Au contact de la transpiration, ceux-ci se gonflent légèrement et procurent une sensation de fraîcheur qui, selon le constructeur, est si intense qu'il est recommandé de porter ce tee-shirt uniquement quand il fait chaud. La seule condition : transpirer suffisamment pour déclencher l'effet rafraîchissant. Il serait garanti au-delà de 50 lavages. **L.B.**



Prix : env. 60 €. Rens. : www.columbia.com

Un radio-réveil qui tire le maximum du wi-fi

Un radio-réveil commandé à la voix ? Déjà vu ! Pourtant, avec son Isee Sleek, Interactive Voice pousse le concept plus loin. Posez-lui une question sur la météo du jour ou l'état du trafic routier : son système de reconnaissance vocale décrypte la demande et la transmet via une connexion wi-fi à la box de la maison. Après consultation des divers sites, une annonce vocale vous livre le résultat de la requête. Il peut également contrôler certains appareils domestiques, comme un robot

aspirateur ou le thermostat du chauffage, s'ils sont équipés d'une connexion wi-fi. Il ne reste plus qu'à dicter ses instructions : "passer l'aspirateur", "régler la température sur

20 °C" et le Isee Sleek s'occupe de tout. L'appareil sera d'abord disponible aux États-Unis, au cours de l'été. **L.B.**

Prix : env. 150 €.

Rens. : www.helloivee.com



100 ANS
SCIENCE & VIE

**À L'OCCASION
DES 100 ANS DE
SCIENCE & VIE,**

L'ÉMISSION DE FRANCE 5

"ON N'EST PAS QUE DES COBAYES !"

REVIENT EN 1913 AVEC...

... 2 EXPÉRIENCES INÉDITES !



1 LE PENDULE DE FOUCAULT

Peut-on voir la Terre tourner ? L'équipe des Cobayes va tenter de le vérifier par l'expérience en plongeant en 1913 et en reproduisant le fameux pendule de Foucault, seule façon de visualiser la rotation de notre planète !

2 LE POSTE À GALÈNE

Comment la radio est-elle née ? Avec quels instruments et sur quels principes ? Pour le savoir, les cobayes se lancent dans la fabrication du tout premier Poste à Galène, le véritable ancêtre de la radio !

**RENDEZ-VOUS
LE VENDREDI 5 AVRIL
À 20H35 SUR FRANCE 5,
POUR VOIR SI NOS COBAYES
ONT RÉUSSI !**

ON N'EST PAS QUE DES
COBAYES !

**LE VENDREDI À 20H35
REDIFFUSÉE LE DIMANCHE À 19H**



Chaque vendredi à 20h35, Agathe Lecaron, Vincent Chatelain et David Lowe testent et expérimentent pour infirmer ou confirmer les croyances populaires et les idées reçues.

Sur le site www.france5.fr/cobayes-jeu, vous pouvez revoir toutes les expériences et même vous glisser dans la peau d'un "serial testeur" !

Amusez-vous avec la science, seul ou entre amis, à travers de grands jeux. Chez vous, relevez le défi ! Filmez vos enfants en train de faire les expériences et postez les sur le site ; les meilleures passeront dans l'émission !





EN PRATIQUE

CIEL DU MOIS

Par Serge Brunier

NORD

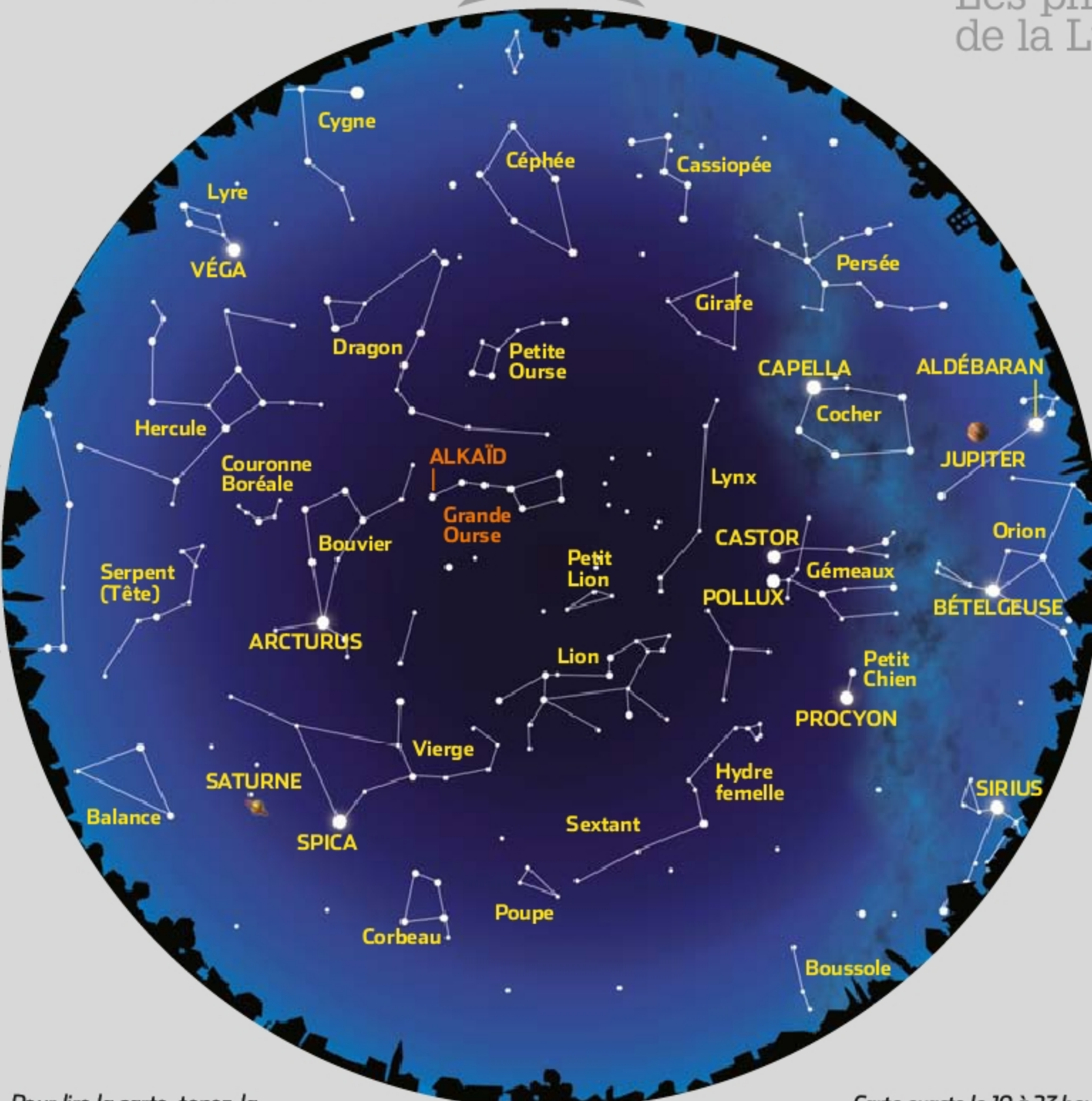
Les phases de la Lune



EST

OUEST

SUD



Pour lire la carte, tenez-la au-dessus de votre tête et orientez le nord avec le nord réel: les quatre points cardinaux seront ainsi bien orientés.

Carte exacte le 10 à 23 heures

À NE PAS MANQUER... LE 28

C'est le moment idéal pour découvrir Saturne: elle est au plus près de nous. Brillant à l'œil nu dans la constellation de la Balance, la planète est à 1,3 milliard de kilomètres. Ses célèbres anneaux sont perceptibles avec une simple longue-vue 20 x. Un instrument grossissant 100 x à 400 x montre plusieurs anneaux, de luminosités différentes, ainsi que les nuages parcourant la planète. Quant à ce qui semble être une minuscule étoile qui tourne en quinze jours autour de Saturne, c'est son satellite Titan.

< Ce jour-là, Saturne est "proche" de la Terre: ses anneaux sont bien visibles.





▲ La supergéante Alkaïd est très facile à repérer à l'extrémité de la queue de la Grande Ourse.

L'ÉTOILE DU CENTENAIRE

Elle brille au zénith durant les nuits printanières, bien visible à l'œil nu, même en pleine ville, même au clair de lune... Alkaïd de la Grande Ourse est la trente-cinquième plus lumineuse étoile du ciel, facile à repérer, à l'extrémité de la Grande Ourse. Alkaïd est une jeune étoile supergéante, six fois plus massive et 700 fois plus lumineuse que le Soleil. La surface aveuglante de cet astre, d'une couleur parfaitement blanche, est portée à plus de 20000 °C. Enfin, cette impressionnante étoile se trouve à près de 1 million de milliards de kilomètres, soit... cent années-lumière. Eh oui: la lumière que nous recevons aujourd'hui de cette lointaine étoile a été émise il y a cent ans, lorsque paraissait le premier numéro de *Science & Vie*...



tous les samedis et sur
www.france-info.com

Retrouvez la
chronique
"Du côté des
étoiles" sur
France Info

**LA PLUS PUISSANTE
ET LA PLUS COMPLÈTE
APPLICATION SUR LE CIEL**

skypix®

Carte du ciel • actu • encyclopédie



3 APPLICATIONS EN 1!

- UNE CARTE GÉOLOCALISÉE
- TOUTE L'ACTUALITÉ DU CIEL
- UNE ENCYCLOPÉDIE MULTIMÉDIA

À DÉCOUVRIR :

- L'actualité du ciel en direct
- L'intégralité du catalogue Messier en fiches astro
- L'affichage de l'ensemble des objets célestes sur la carte
- Les notifications «Push» pour être alerté des nouveaux contenus : fiches astro, photos, vidéos, dernières actus...



Disponible sur
App Store

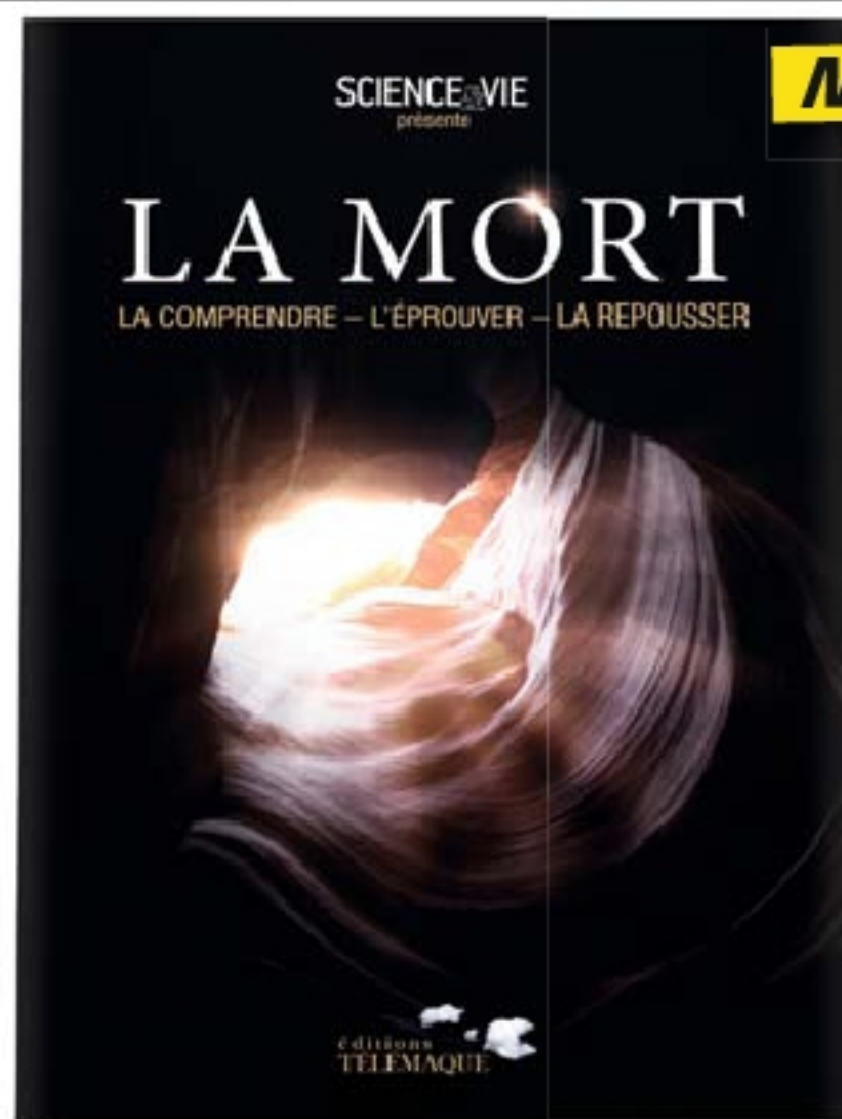


Retrouvez-nous
sur Facebook

orbis. Une application Digital Dev.

SCIENCE & VIE
AU CŒUR DE LA VIE

Nouveauté Avril 2013!



Pouvons-nous échapper à la mort?

La rédaction de *Science & Vie* apporte tout son savoir scientifique pour répondre au mieux à cette question existentielle. Raisons de notre vieillissement, définition biologique et juridique de la mort, phénomène des expériences de mort imminente, découvertes réalisées et à venir pour la repousser, rites, religions et approches philosophiques développées au cours des siècles pour « apprendre à mourir »... Retrouvez une approche rigoureuse de tous ces thèmes captivants!

La mort, la comprendre, l'éprouver, la repousser

Dim. 15 x 21,5 cm. 224 pages couleurs. COÉDITION SCIENCE & VIE ET TÉLÉMAQUE.

LE MEILLEUR DE
SCIENCE & VIE

LE LIVRE
22€
seulement



DVD GUERRES & HISTOIRE



OFFRE SPÉCIALE
«5 packs DVD G&H»

LES 5 DVD + 5 LIVRETS
39,60€
au lieu de 49,50€
seulement

FRAIS D'ENVOI
OFFERTS

5 chefs-d'œuvre de 5 pays différents!

Et 5 livrets collector remplaçant l'œuvre dans son contexte historique, avec articles et interviews exclusifs, réalisés par la rédaction de *Guerres & Histoire*.

DVD MER CRUELLE + SON LIVRET COLLECTOR - 9,90€

La Bataille de l'Atlantique. N&B. 2h06. Film britannique.

DVD LE PONT + SON LIVRET COLLECTOR - 9,90€

1945, l'agonie du Reich. N&B. 1h45. Film allemand.

DVD CAPITAINE CONAN + SON LIVRET COLLECTOR - 9,90€

1918 : le front d'Orient oublié. Couleur. 2h10. Film français.

DVD COTE 465 + SON LIVRET COLLECTOR - 9,90€

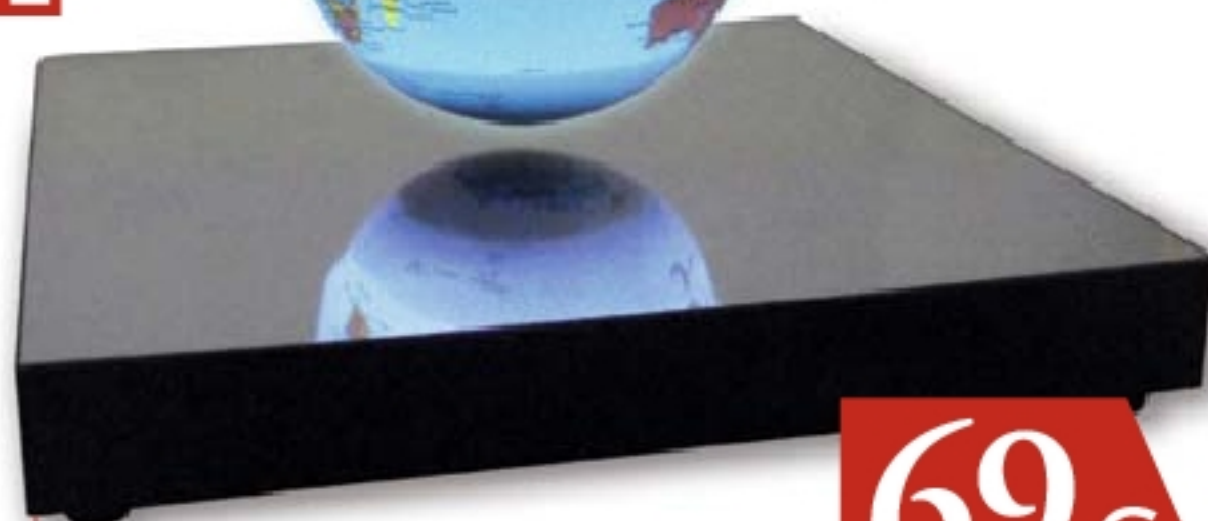
La guerre de Corée. N&B. 1h42. Film américain.

DVD BALLADE DU SOLDAT + SON LIVRET COLLECTOR - 9,90€

48h avec un jeune soldat soviétique. N&B. 1h03. Film russe.



**Affichage
des capitales**



69€
seulement

FRAIS D'ENVOI
OFFERTS

Un globe terrestre en totale lévitation!

Il tourne sur lui-même tout seul comme s'il était en apesanteur. Et en plus il change de couleurs par induction électrique de l'intérieur. Toutes les capitales figurent sur ce globe terre géopolitique.

**Globe
TERRA LUMINA
Magneticland**

Dim. Base 18,5 x 18,5
x 3 cm. Diam. 8 cm.
Adaptateur secteur
fourni. Distance de
lévitation : 1,5 cm.



Vidéo explicative
sur notre site web!

www.laBoutiqueScienceetVie.com

ALAIN SAURY

LE MANUEL DE LA VIE SAUVAGE

ou revivre par la nature



Comprendre et prévoir le temps • marcher et s'orienter • se chauffer • boire et trouver de l'eau • cuisiner, rôtir • apprivoiser ou chasser et pêcher • établir, conserver • se loger • se vêtir • fabriquer • soigner et sauver • se nourrir subtilement...

MARABOUT

Comprendre
par la nature

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

-115000 ans avant notre ère.....	p. 54	Envie fréquente.....	p. 62
2 ans de plaisir.....	p. 11	Exceptionnelle longévité.....	p. 8
2 semaines de vacances.....	p. 157	Février 2011.....	p. 51
20 bébés de 3 à 18 mois.....	p. 150	Il y a 126000 ans.....	p. 54
20 picosecondes.....	p. 72	Il y a 3 ans.....	p. 44
4 milliards d'années-lumière.....	p. 36	Il y a près de 7000 ans.....	p. 34
7 semaines de classe.....	p. 157	Il y a quelques années.....	p. 152
Agées de 55 à 70 ans.....	p. 150	J'ai vu le jour en 1913.....	p. 9
Après des années.....	p. 48	Jusqu'à 48 heures.....	p. 161
Au bout de cinq ans d'efforts.....	p. 34	Jusqu'à présent.....	p. 66
Au cours de ce siècle.....	p. 84	L'an passé.....	p. 160
Au quatrième trimestre.....	p. 166	La controverse dure depuis trente ans.....	p. 51
Avant 21 heures.....	p. 155	Le 10 à 23 heures.....	p. 170
Avant dix jours.....	p. 161	Le noir absolu pendant dix jours.....	p. 64
Avant l'âge de 3 ans.....	p. 155	Les années 1970.....	p. 31
Avec dix ans de retard.....	p. 8	Marié en 1986.....	p. 8
Bientôt cent ans.....	p. 7	Mis au point dans les années 1990.....	p. 62
Ce jour-là.....	p. 170	Mon plus jeune âge.....	p. 9
Cela ne fait qu'une dizaine d'années.....	p. 52	Mon quatorzième anniversaire.....	p. 8
Cent années-lumière.....	p. 171	Pas question pour l'instant.....	p. 62
D'ici à 2014.....	p. 34	Publiée en 2007.....	p. 51
D'ici quelques années.....	p. 70	Quelques dizaines de milliers d'années.....	p. 51
De 3 à 6 ans dans les écoles maternelles.....	p. 150	Semaine de 4 jours.....	p. 156
Depuis 2009.....	p. 159	Sept ans après.....	p. 72
Depuis mes 15 ans.....	p. 10	Tes 200 ans.....	p. 7
Dernier millénaire.....	p. 54	Un jour.....	p. 66
Deux longs mois.....	p. 156	Un peu plus de quatre décennies.....	p. 7
Emise il y a cent ans.....	p. 171	Vers 6 ou 7 ans.....	p. 154
En 2100 en Afghanistan.....	p. 85	Vieux de 70 millions d'années.....	p. 32
En cinquante ans.....	p. 48	Vingt minutes après le début.....	p. 166
En temps réel.....	p. 166	Vive la vie!.....	p. 8
En un temps record.....	p. 66		
Enfants de 11 ans.....	p. 155		
Entre 2003 et 2009.....	p. 54		

Une publication du groupe

MONDADORI FRANCE

PRÉSIDENT : Ernesto Mauri

RÉDACTION

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

DIRECTEUR DE LA RÉDACTION

Matthieu Villiers,
assisté de Christelle Borelli

RÉDACTEUR EN CHEF

Hervé Poirier

RÉDACTEURS EN CHEF ADJOINTS

Philippe Chambon, Grégoire Bouillier (édition),
François Lassagne

DIRECTRICE ARTISTIQUE

Yvonne Diraison

CHEF DE SERVICE

Valérie Greffoz (actualités)

CHEF DE RUBRIQUE

Caroline Tourbe (médecine)

RÉDACTEURS

Elsa Abdoun, Boris Bellanger, Germain Chambost,
Mathilde Fontez, Vincent Nouygrat, Emilie
Rauscher, Muriel Valin

SECRÉTAIRE GÉNÉRAL DE RÉDACTION

Jean-Luc Glock

SECRÉTAIRES DE RÉDACTION

Anne Riera, Clara Baudel

MAQUETTISTES

Valérie Samuel-Charrier (1re maquettiste),
Elisabeth de Garrigues

SERVICE PHOTO-INFOGRAPHIE

Anne Levy (chef de service photo),
Clémence Gérard, Emmanuel Jullien
(chef de service infographie)

DOCUMENTATION

Marie-Anne Guffroy

ONT COLLABORÉ À CE NUMÉRO

S. Barge, K. Bettayeb, L. Blancard, P.-Y. Bocquet,
E. Bonnet-Vidal, B. Bourgeois, R. Brillaud,
S. Brunier, O. Capronnier, L. Cavicchioli, G. Girade,
A. Dagan, A. Debroise, O. Donnar, E. Dorey,
V. Etienne, S. Fay, F. Goubet, J. Grenèche,
M. Grousson, E. Haentjens, C. Hancock,
R. Ilkonoff, J. Jongwane, M. Kontente, O. Lapirot,
E. Leburgue, C. Lembezat, C. Loiseau, C. Martin,
M. Mayo, E. Monnier, P. Mouche, A. Rambaut,
A. Rebmann, B. Rey, M. Saemann, Y. Sciamia,
G. Siméon, E. Thierry-Aymé

DIRECTION-ÉDITION

DIRECTION PÔLE

Carole Fagot

DIRECTEUR DÉLÉGUÉ

Vincent Cousin

DIFFUSION

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

MARKETING

Claire Leprovost (responsable marketing),
Sarah Bordessoules (responsable promotion),
Michèle Guillet (chargée de promotion),
Nathalie Carrère (abonnements)

PUBLICITÉ

Valérie Camy (directrice exécutive), Francesca Colin

(directrice commerciale), Valérie Leclère (directrice de publicité), Virginie Commun, Lionel Dufour (commerciaux), Sylvie Angerville (assistante), Sabrina Rossi-Djeridi, Stéphanie Guillard, Angélique Consoli (planning), Stéphane Durand (trafic), Jean-Jacques Benezach, Grégory Gounse, Anne-Sophie Chauvière (opérations spéciales)
Grande-Bretagne: Publieurope LTD (infododn@publieurope.com - 44 (0)20 7927 9800)
Allemagne: Publieurope Munich (infomunich@publieurope.com - 0049 89 2908150);
Suisse: Publieurope Lausanne (infolausanne@publieurope.com - 0041 21 323 3110);
Espagne: Publimedia Madrid (infomadrid@publim-gestion.es - 0034 91 212 83 00)

FABRICATION

Gérard Greck, Valérie Brunehaut, Nathalie Lemaure

FINANCE MANAGER

Guillaume Zaneskis

DÉPARTEMENT INTERNATIONAL

Mathilde Janier-Bornichon, Murielle Luche

ÉDITEUR MONDADORI MAGAZINES FRANCE

Siège social: 8, rue François-Ory
92543 Montrouge Cedex

PRÉSIDENT ET DIRECTEUR DE LA PUBLICATION

Ernesto Mauri

ACTIONNAIRE PRINCIPAL

Mondadori France SAS

IMPRIMEUR: Mondadori Printing S.p.A.,

Via Luigi e Pietro Pozzoni, 11
24034 Ciano Bergamasco (Bergamo)

N° ISSN: 0036-8369

N° DE COMMISSION PARITAIRE:

1015 K 79977. Tarif d'abonnement légal:

1an, 12 numéros: 42,80 €;

1an, 12 numéros + 4 HS: 52,80 €.

Dépôt légal avril 2013

RELATIONS CLIENTÈLE ABONNÉS

Par mail: relations.clients@mondadori.fr

Par téléphone: 01 46 48 48 96.

Par courrier: Science & Vie Abonnements
B341, 60643 Chantilly Cedex.

Par internet: <http://www.kiosquemag.com>

Etats-Unis et Canada: Express Mag, Tél.: 1 800
363-1310 (français) et 1 877 363-1310 (anglais).

Suisse: Edigroup, 022 860 84 50 - mondadori-
suisse@edigroup.ch. Belgique: Edigroup Belgique,
070 233 304 - mondadori-belgique@edigroup.be

Autres pays: nous consulter.

À NOS ABONNÉS

Pour toute correspondance relative à votre abonnement, envoyez-nous l'étiquette collée sur votre dernier envoi. Les noms, prénoms et adresses sont communiqués à nos services internes et organismes liés contractuellement avec S&V sauf opposition motivée. Les informations pourront faire l'objet d'un droit d'accès ou de rectification dans le cadre légal. Les manuscrits envoyés ne sont pas rendus.

À NOS LECTEURS

RENSEIGNEMENTS

Par courrier: 8, rue François-Ory,
92543 Montrouge Cedex.

Par mail: sev.lecteurs@mondadori.fr

COMMANDE D'ANCIENS NUMÉROS, RELIURES ET VPC

tél.: 01 46 48 48 97
relations.clients@mondadori.fr



EN KIOSQUE CE MOIS-CI





TOUTES LES SCIENCES SONT SUR FRANCE CULTURE

Rendez-vous avec les sciences chaque jour de 14h à 15h

L'actualité scientifique

Continent sciences

Stéphane Deligeorges

14h-15h - lundi

La médecine

Révolutions médicales

René Frydman

14h-15h - mardi

La géographie

Planète terre

Sylvain Kahn

14h-14h30 - mercredi

L'archéologie

Le Salon noir

Vincent Charpentier

14h30-15h - mercredi

L'histoire des sciences

La Marche des sciences

Aurélie Luneau

14h-15h - jeudi

Science et Société

Science publique

Michel Alberganti

14h-15h - vendredi



CHIFFRÉS CLÉS

100%
électrique

C'est zéro
émission de CO₂.

2 euros

C'est le prix
pour la recharger.

135 km/h

en vitesse de pointe.

100 à 150 km

C'est l'autonomie dont
vous disposez avec
une seule charge.

338 litres

Un coffre généreux.
La batterie est placée
sous les sièges arrière.

79 €/mois

Le prix de la location
de la batterie. Renault
garantit à vie ses
performances.



Renault ZOE, c'est 5 portes
et un coffre généreux.

qualité-prix (à partir de 13 700€, bonus
écologique déduit). Pour l'anecdote, ce
jour-là, dans le ciel, les nuages ne se
sont pas dispersés. Pas très important:
avec ZOE, nous avons eu droit à notre
rayon de soleil, définitivement séduits
par la prise en main de cette citadine
5 portes, élégante et raffinée. Avec elle,
rouler électrique devient facile, pratique,
économique, malin, et la liste n'est pas
exhaustive... ♦



UNE VIE À BORD ZEN ET INTUITIVE

Avec son écran tactile intégré, vous bénéficiez à bord d'une technologie
intuitive, digne des derniers smartphones. Ainsi, vous pouvez écouter
la musique de vos appareils nomades (mp3, téléphone) ou regarder
vos photos et vidéos. Un système qui vous permet également d'accéder
à vos mails et à internet. Et bien entendu : vous pouvez téléphoner...
en mains libres.

Vous voulez savoir si elle est faite pour vous ? Nous vous invitons
à découvrir l'expérience proposée par Renault sur

www.zoe.renault.fr





Avec la borne de charge baptisée Wall box, vous bénéficiez à domicile d'une recharge optimale et en toute conformité avec votre installation électrique. Le design en plus !

>> rouler en toute sérénité : lorsque la batterie n'est plus qu'à 6 % de puissance, la voiture se met automatiquement en mode ultra-économique afin de vous éviter le coup de la panne. Et pour rappel, son moteur électrique ne consomme rien lorsqu'elle est à l'arrêt.

POUR RECHARGER LA BATTERIE, 3 MODES DE CHARGE : STANDARD, RAPIDE ET ACCÉLÉRÉ

UNE RECHARGE FACILE À DOMICILE

Après le confort de la conduite, place à la tranquillité du portefeuille. Fini de subir la hausse du prix des carburants : 2 euros suffisent pour recharger complètement ZOE. Une charge standard qui s'effectue chez vous. Comptez de 6 à 9 heures durant la nuit

UNE BATTERIE SANS SOUCI

pour repartir le lendemain matin avec le plein d'électricité. Simple et confortable. Loin du domicile, 2 autres modes de charge sont également disponibles : la charge accélérée et la charge rapide, pour retrouver 80 % de la batterie en respectivement 1 heure et ½ heure. De plus, grâce à l'absence d'effet mémoire, la batterie peut être chargée de manière optimale, quel que soit son niveau d'énergie.

Et au-delà d'une batterie garantie à un niveau optimal, Renault assure une assistance 24h/24. Une vraie tranquillité d'esprit tout au long de l'année grâce à la location de batterie dont Renault reste propriétaire et responsable. Autant d'arguments pour adopter ZOE les yeux fermés. C'est sur cette ultime note que nous terminons l'essai de la Renault ZOE, 100 % électrique, à l'excellent rapport



absence de bruit rappelle que nous sommes à bord d'une voiture électrique.

LA VIE SANS STATION ESSENCE

Lors de son homologation, ZOE a parcouru 210 km avec une seule charge : une autonomie record. Une prouesse due à sa batterie lithium-ion. Il s'agit de la technologie la plus performante du marché. 210 km, donc ! Une distance homologuée à pondérer dans notre utilisation quotidienne. En effet, comme sur les véhicules classiques, la vitesse et le style de conduite ont une influence sur l'autonomie réelle. Ainsi, sur un parcours périurbain, vous réaliserez autour de 100 à 150 km. Largement suffisant, lorsque l'on sait que 84% des trajets quotidiens font moins de 60 km ! Idéal pour se rendre au bureau, déposer les enfants ou aller faire ses courses. Petit détail, mais qui a son importance pour >>



UN VÉHICULE IDÉAL POUR LES TRAJETS QUOTIDIENS

À bord de la ZOE, vous n'êtes pas seul. En effet, ce véhicule est équipé de série d'un GPS, utilisable par commande vocale. Un système de navigation qui vous permet de trouver votre chemin facilement, mais aussi de surveiller le rayon d'action de votre voiture. Besoin d'une recharge ? Visualisez facilement sur l'écran les bornes disponibles aux alentours. Avec ZOE, vous ne pourrez plus faire le coup de la panne...

L'ÉLECTRIQUE BY RENAULT

ZOE

LE COUP DE

FOUDRE... ÉLECTRIQUE

NOUVEAUTÉ SUR LE MARCHÉ DES VÉHICULES ÉLECTRIQUES ! LA RENAULT ZOE DÉBARQUE ET SE DISTINGUE PAR SES PERFORMANCES. ZÉRO ODEUR, ZÉRO BRUIT, ZÉRO ÉMISSION DE CO₂... ET POURTANT, ZOE EST LOIN DE PASSER INAPÉRÇUE...

Sceptiques ! Voilà, pour résumer, notre état d'esprit à l'idée d'essayer un véhicule 100 % électrique. Avec en plus, ce jour-là, une météo maussade, difficile de se montrer enthousiastes. Et pourtant, ZOE a réussi à illuminer notre après-midi. Il nous a suffi de nous installer au volant. Cette nouvelle Renault a tout d'une grande : caméra de recul, carte de démarrage mains libres (oubliez la traditionnelle clé de contact), écran tactile multimédia digne des derniers smartphones.

ÉCOUTER LE SILENCE

Une fois sur la piste, ZOE révèle tout son dynamisme. En effet, les performances de son moteur électrique sont dignes des voitures thermiques de sa catégorie. Avec 100 % du couple dès le démarrage, les accélérations sont franches, précises et dynamiques. ZOE est à la fois électrique et

vive, il s'agit bien d'une révolution ! La boîte de vitesses automatique, elle, offre une conduite simple et linéaire. Fini les à-coups. Idéal pour les trajets urbains et périurbains. Enfin, avec une vitesse de pointe de 135 km/h, ZOE prendra l'autoroute avec autant de succès. Et pour les habitués des véhicules classiques, termine les vibrations et les bruits de moteur à explosion. Au démarrage, ZOE interpelle par son silence et ne monte pas le ton une fois lancée. L'expérience de rouler de manière silencieuse est à la fois fascinante

DE NOTRE SÉRÉNITÉ

UN CONCENTRÉ D'ÉQUIPEMENTS ET DE TECHNOLOGIES AU SERVICE

et euphorisante. À chaque accélération, on se surprend à écouter le silence. Dans l'habitacle élégant et confortable, seule cette douce

RENAULT ZOE.
MADE IN
FRANCE



LA FRANCE
A UNE LONGUE
TRADITION :
FAIRE LA RÉVOLUTION.