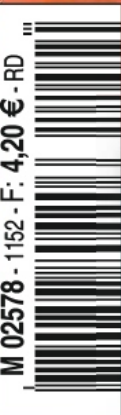


INSECTESQUELLE PLACE DANS
NOS ASSIETTES ?**SPORT**

SES EFFETS SUR LA SANTÉ

APRÈS LE BOSON DE HIGGS

UNE NOUVELLE
PHYSIQUE
VA NAÎTRE*9 idées révolutionnaires
pour réinventer le monde***VIEILLIR
MOINS
VITE****HÉRÉDITÉ
INNÉE... ET
ACQUISE !**France métro: 4,20 € - D: 6,90 € - BEL: 4,70 € - ESP: 4,90 € - GR: 4,90 € - DOM surf: 4,90 €
- DOM avion: 6,90 € - ITA: 4,90 € - LUX: 4,70 € - PORT CONT: 4,90 € - CAN: 6,50 \$ CAN -
MAR: 4,60 \$ - TOM: 5,750 CFP - TOM A: 1400 CFP - CH: 8,5 FS - TUN: 7,5 DTU

VOLKSWAGEN

PLUS D' ÉMOTIONS



L'hybride par Volkswagen réconcilie plaisir et éco-performance. **Nouvelle Jetta Hybrid.**

Jamais une voiture éco-responsable ne vous aura apporté autant de plaisir. Avec la toute nouvelle motorisation puissante et silencieuse de la Jetta Hybrid, passez de 0 à 100 km/h en 8,6 sec. grâce aux 170 ch cumulés* d'un moteur TSI et d'un moteur électrique. Profitez aussi d'une conduite souple et dynamique avec la technologie DSG. Et pour faire durer le plaisir, elle est remarquablement économique avec une moyenne de consommation de 4,1 l/100 km et seulement 95 g d'émissions de CO₂/km. Avec la Nouvelle Jetta Hybrid, roulez turbo, pensez éco et faites le choix de ne renoncer à rien.

Think Blue.

Volkswagen recommande **Castrol EDGE Professional**

* Sur une courte durée. **Modèle présenté** : Nouvelle Jetta Hybrid 1.4 TSI 170 (puissance cumulée sur une courte durée) DSG7 avec option projecteurs directionnels bi-Xénon. **Think Blue. : Pensez en Bleu. Das Auto. : La Voiture.**

Cycles mixte/urbain/extra-urbain (l/100 km) : 4,1/4,4/3,9. Rejets de CO₂ (g/km) : 95.

HYBRIDE

MOINS D' ÉMISSIONS

www.volkswagen.fr/jetta-hybrid



Das Auto.

UNE OFFRE SURPRENANTE !

ÉDITION SPÉCIALE M6 MOBILE 2H⁽¹⁾ BLACKBERRY®

INTERNET

500 Mo inclus⁽²⁾

BLACKBERRY® MESSENGER
E-MAILS BLACKBERRY®

SMS/MMS ILLIMITÉS

19.99€/mois

Avec engagement de 24 mois

BlackBerry® Curve™ 9320
DAS⁽³⁾ : 1,26 W/Kg



VOTRE BLACKBERRY® CURVE™ 9320 À

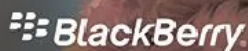
9€90⁽⁴⁾

Avec l'Édition Spéciale M6 mobile 2H⁽¹⁾ BlackBerry®
à 19.99€/mois avec engagement de 24 mois

ET AUSSI POUR TOUS LES CLIENTS M6 MOBILE

Plein de réductions sur une large
sélection de marques⁽⁵⁾

Plus d'infos sur m6mobile.fr et Inside M6 mobile



USAGES EN FRANCE MÉTROPOLITAINE

SMS/MMS illimités : hors nos spéciaux et surtaxés et nos courts, dans la limite de 250 correspondants différents/mois. Pour l'internet mobile : Usages Peer to Peer et Newsgroups interdits.

Offre soumise à conditions et valable en France métropolitaine du 22/08/2013 au 09/10/2013 sur réseaux et mobiles compatibles. Édition Spéciale disponible avec engagement de 12 mois pour 3€ de plus/mois.

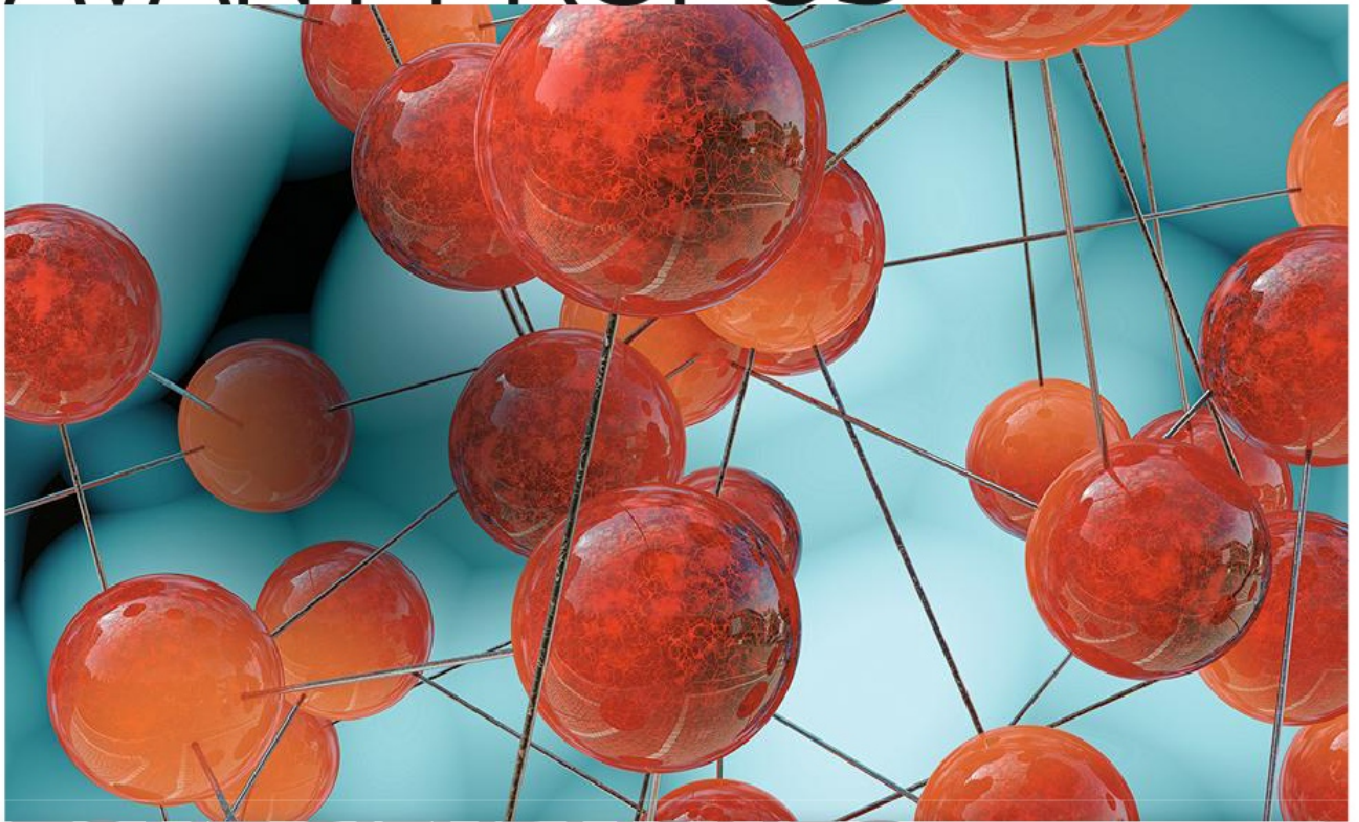
(1) Crédit équivalent à 2h d'appels voix (hors nos spéciaux). Les différents types de communications sont décomptés du forfait (puis du crédit rechargé pour la version bloquée ou au-delà du forfait pour la version non bloquée). (2) Envoi et réception d'e-mails et de pièces jointes dont 1 adresse mail BlackBerry® paramétrable et BlackBerry® Messenger. Le contrôle parental mobile n'est pas actif avec un smartphone BlackBerry® associé à une offre ou un service BlackBerry®. Usages bloqués à 500 Mo. Déblocage possible. Usages Modem et VOIP disponibles avec option correspondante. (3) Le DAS (débit d'absorption spécifique) des téléphones mobiles quantifie le niveau d'exposition maximal de l'utilisateur aux ondes électromagnétiques pour une utilisation à l'oreille. La réglementation française impose que le DAS ne dépasse pas 2 W/kg. (4) Prix de vente conseillé au 22/08/2013 pour la souscription à ce forfait. Mobile disponible avec engagement de 12 mois ou sans offre Orange selon tarif en point de vente. (5) Réductions valables jusqu'au 31/12/2013. Modalités de ces réductions uniquement sur m6mobile.fr.

M6 WEB, 89 Avenue Charles de Gaulle, 92575 Neuilly-sur-Seine Cedex. SAS au capital de 740 232 € - RCS Nanterre 414 549 469. Orange, SA au capital de 10 595 541 532 euros, 78 rue Olivier de Serres - 75015 Paris - 380 129 866 RCS Paris.

© 2013 BlackBerry. Tous droits réservés. BlackBerry® ainsi que les marques déposées, les noms et les logos qui leur sont associés sont la propriété de Research In Motion Limited et sont enregistrés et/ou utilisés aux États-Unis et dans les pays du monde entier. Utilisé sous licence de Research In Motion Limited. Fonds d'écrans simulés.



EN MODE #BONPLAN



TOUT S'EXPLIQUE ? **PRESQUE** TOUT...

Né peu après la révolution relativiste de 1905 et peu avant la révolution quantique des années 1920, c'est peu dire que *Science & Vie* fut un témoin privilégié des avancées des sciences physiques tout au long du XX^e siècle. Un témoin attentif et enthousiaste face aux progrès époustouflants accomplis dans la connaissance de l'Univers. De la matière qui le compose aux forces qui s'y exercent, des plus petites aux plus grandes échelles, plus rien n'est comme avant. On s'en souvient, à la fin du XIX^e siècle, l'Univers n'avait ni passé ni futur. Baigné d'un mystérieux éther y assurant la propagation des ondes, les énergies s'y déployaient conformément aux lois de la thermodynamique. Quant à l'immuable ballet des corps célestes, il obéissait à la perfection à la théorie newtonienne de la gravitation, connue de longue date. Et tout s'expliquait. Tout, ou presque. Jusqu'à ce que preuve soit faite que le mystérieux éther n'existait finalement pas. Et que les physiciens comprennent qu'ils allaient devoir revoir leur copie. Ce qu'ils firent de fond en comble.

C'est qu'il en a fallu du travail et du courage, de l'astuce et – osons le mot – du génie aussi, pour faire voler en éclats cette ancienne conception et suggérer ce qui paraissait impensable, à savoir que notre Univers a une histoire, que le temps et l'espace sont inextricablement liés, que masse et énergie expriment une seule et même chose et que les constituants de la matière sont tout à la fois ondes et particules... Tout au long du XX^e siècle, théoriciens et expérimentateurs n'ont cessé de peaufiner cette représentation et de mesurer son extrême justesse. Avec la confirmation de l'existence du boson de Higgs et l'image du satellite *Planck* aux portes du big bang, l'œuvre (on l'appelle le "modèle standard") est enfin complète. Tout s'explique cette fois ? Presque tout...

Alors, certains s'y préparent déjà : la belle œuvre va devoir être revue et corrigée. Probablement de fond en comble. C'est qu'il va en falloir du travail et du courage, de l'astuce, et du génie aussi...

S&V

FOTOLIA



RENAULT ZOE. SIMPLEMENT RÉVOLUTIONNAIRE.
100 % ÉLECTRIQUE, 0 BRUIT⁽¹⁾, 0 ÉMISSION⁽²⁾

(1) Zéro bruit moteur. (2) À l'usage (hors pièces d'usure). * Le futur.

RENAULT ZOE

THE FUTURE* - VERSION FRANÇAISE



**CHANGEONS DE VIE
CHANGEONS L'AUTOMOBILE**



48

LA MÉDECINE

POURQUOI LE CANCER TUE D'AVANTAGE LES PLUS DÉFAVORISÉS

Plus touchés par le cancer, les plus défavorisés ont aussi moins accès aux soins. Pourquoi ?



LES INÉGALITÉS FACE AUX FACTEURS DE RISQUE
Les inégalités sociales de santé sont-elles liées à des facteurs de risque ?



LES COMPAGNIES DE DÉVELOPPEMENT
Les entreprises de développement ont-elles un rôle à jouer dans la réduction des inégalités ?



LES ÉCARTS ENTRE CHÔMES
Les écarts entre chômeurs de longue durée et chômeurs de courte durée sont-ils en train de se réduire ?



LES ÉCARTS ENTRE CHÔMES
Les écarts entre chômeurs de longue durée et chômeurs de courte durée sont-ils en train de se réduire ?



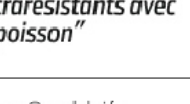
LES ÉCARTS ENTRE CHÔMES
Les écarts entre chômeurs de longue durée et chômeurs de courte durée sont-ils en train de se réduire ?



LES ÉCARTS ENTRE CHÔMES
Les écarts entre chômeurs de longue durée et chômeurs de courte durée sont-ils en train de se réduire ?



LES ÉCARTS ENTRE CHÔMES
Les écarts entre chômeurs de longue durée et chômeurs de courte durée sont-ils en train de se réduire ?



APRÈS LE BOSON DE HIGGS

UNE NOUVELLE PHYSIQUE VA NAÎTRE

9 idées révolutionnaires pour réinventer le monde



10 SEPTEMBRE 2013

56

APRÈS LE BOSON DE HIGGS

FONDAMENTAL

À LA UNE

56 APRÈS LE BOSON DE HIGGS UNE NOUVELLE PHYSIQUE VA NAÎTRE

78 EXPLOITS
VIEILLIR... MOINS VITE
DES EXPÉRIENCES DÉFIENT
LES LOIS DE LA NATURE

86 ENQUÊTE
INSECTES, MÉDUSES, KRILL...
QUELLE PLACE DANS
NOS ASSIETTES?

36



ACTUS

- 14 **LABOS**
Cette horloge va redéfinir la seconde; et si la virilité était féminine; teinté, le colza éloigne les insectes, etc.
- 20 **FOCUS**
Manuscrit Voynich: il a bien un sens caché
- 26 **ON EN REPARLE**
Plantes: elles savent aussi faire des maths
- 32 **FOCUS**
Sexe: voici le premier animal qui sait s'en passer!
- 34 **TERRE**
L'évolution est dépassée par le réchauffement; protégé par son glacier, le mont Blanc s'élève, etc.

- 40 **MÉDECINE**
Le premier foie cultivé fonctionne; s'il est malade, le sang émet un son différent, etc.
- 46 **ON TENAIT À VOUS DIRE**
La France est de nouveau accro aux antibiotiques
- 48 **LES CLÉS POUR COMPRENDRE**
Pourquoi le cancer tue davantage les plus défavorisés
- 50 **TECHNOS**
Dans les zones reculées, le Web arrive en ballon; une lentille avec zoom est à l'essai, etc.
- 54 **IDÉE NEUVE**
"Je veux fabriquer des vêtements ultrarésistants avec du mucus de poisson"

126

EN PRATIQUE
ZOOM DU MOIS
Pour préserver sa santé...
5 sports sur ordonnance

Quel est le meilleur sport pour préserver sa santé ? Une question qui se pose souvent, mais la réponse n'est pas évidente. Les sports ont des effets bénéfiques sur la santé, mais ils peuvent aussi avoir des effets négatifs. Il est donc important de choisir le sport qui convient le mieux à votre état de santé et à vos goûts.

Les 5 sports sur ordonnance :

- 1. La marche : un sport simple et accessible à tous, qui permet de maintenir une bonne condition physique.
- 2. Le vélo : un sport qui permet de travailler la endurance et la résistance.
- 3. La natation : un sport qui permet de travailler la force et la souplesse.
- 4. Le tennis : un sport qui permet de travailler la coordination et la réactivité.
- 5. Le yoga : un sport qui permet de travailler la concentration et la détente.

Méthodologie

Les sports ont des effets bénéfiques sur la santé, mais ils peuvent aussi avoir des effets négatifs. Il est donc important de choisir le sport qui convient le mieux à votre état de santé et à vos goûts.

Les 5 sports sur ordonnance :

- 1. La marche : un sport simple et accessible à tous, qui permet de maintenir une bonne condition physique.
- 2. Le vélo : un sport qui permet de travailler la endurance et la résistance.
- 3. La natation : un sport qui permet de travailler la force et la souplesse.
- 4. Le tennis : un sport qui permet de travailler la coordination et la réactivité.
- 5. Le yoga : un sport qui permet de travailler la concentration et la détente.

Matière, espace, temps : loin de tout régler, la découverte du boson de Higgs a laissé la physique face à ses nombreuses incohérences. Au point que les physiciens sont aujourd'hui de plus en plus nombreux à penser que des idées radicalement différentes sont nécessaires pour sortir de l'impasse. En voici 9 qui, chacune à sa manière, proposent de faire sa révolution.

VIEILLIR... MOINS VITE

Des expériences défient les lois de la nature

Et si le rêve d'une jeunesse éternelle devenait accessible ? C'est ce que proposent certains chercheurs. Ils ont mis au point des expériences qui défient les lois de la nature. Ils ont réussi à ralentir le temps, à prolonger la vie d'un organisme, à le rendre immortel. Ces expériences ont des implications importantes pour la médecine et la biologie.

78

141

EN PRATIQUE

94 RÉCIT
SUPERGÉANTE BLEUE
L'ÉTOILE QUI NE DEVRAIT PAS EXISTER

98 PORTFOLIO
IL NOUS RACONTE
50 000 ANS D'HISTOIRE
LE FABULEUX
BESTIAIRE SORTI
DES GLACES

106 DÉCOUVERTE
BACTÉRIES
ELLES FONT ET DÉFONT
LES ESPÈCES

113 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 acquis plutôt qu'inné

100 ANS SCIENCE & VIE

7 IDÉES NEUVES
POUR LE XXI^e SIÈCLE

Penser acquis plutôt qu'inné

Les idées nouvelles bousculent les anciens dogmes. Une grande série de Science & Vie, à retrouver chaque mois. Ce mois-ci :

Penser acquis plutôt qu'inné

124 BON À SAVOIR
126 ZOOM DU MOIS
Pour préserver sa santé
Cinq sports sur ordonnance

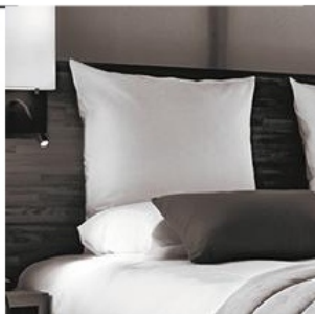
132 QUESTIONS / RÉPONSES
138 TECHNOFOLIES
La roue qui fait de votre bicyclette un vélo électrique ; la vidéo panoramique facile ; la voiture qui se gare toute seule au parking ; un nid de sauterelles pour la consommation ; la FI des vélos elliptiques, etc.

144 LE CIEL DU MOIS

146 Contre-sommaire

Un encart abonnement est jeté sur les exemplaires de la VAN France métropolitaine/Suisse/Belgique. Un encart "La Boutique S&V Catalogue" 16 pages est jeté en 4^e de CV sur une partie des ABO France Métro. Un encart "La Boutique S&V Big questions" A5 jeté en 4^e de CV sur une partie des ABO France Métro.

CE QUE VOUS ATTENDIEZ :



CE QUE VOUS N'ATTENDIEZ PAS :



MERCURE POTTERS CENTRE

TOUS MERCURE, TOUS DIFFÉRENTS.

À chacun de vos séjours, découvrez l'expérience unique des hôtels Mercure.

RÉSERVEZ AU MEILLEUR PRIX SUR **MERCURE.COM**

LE CLUB **ACCOR**
HOTELS

REJOIGNEZ NOTRE PROGRAMME DE FIDÉLITÉ
MONDIAL SUR ACCORHOTELS.COM

REDÉCOUVREZ
MERCURE

Mercure

PLUS DE 700 HÔTELS
DANS LE MONDE.

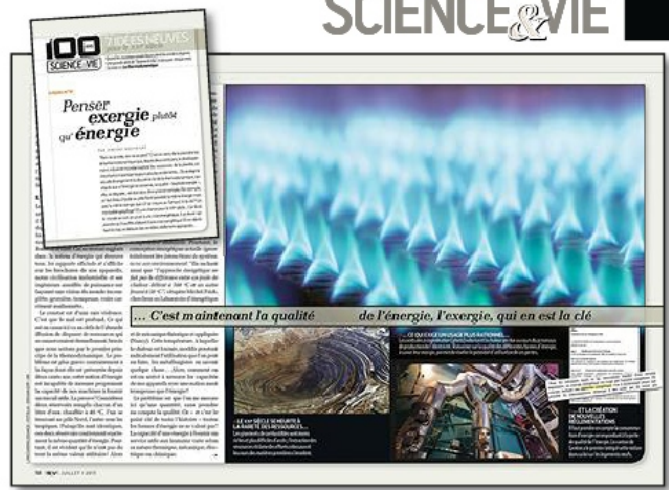
L'exergie, un concept fumeux ?

Je n'ai pas bien compris votre article "Penser exergie plutôt qu'énergie" (S&V n° 1150, juillet 2013, p. 115). Lors de sa lecture, on attend longtemps avant d'avoir un semblant de définition. Et il m'a semblé lire un discours de philosophe en mal de science, qui se sert de la thermodynamique pour appuyer un concept vaseux... Je ne suis pas convaincu.

Marc de Beaumont, par Internet

SV Votre scepticisme peut se comprendre, car notre article est probablement l'un des premiers à faire état de la notion d'exergie auprès du grand public français. Et la tâche ne s'annonçait pas facile : le juste vocabulaire

manque encore pour s'approprier cette notion peu connue, tandis que la thermodynamique et ses équations intimidantes tétanisent tout vulgarisateur. Notre enquête, qui s'inscrit dans le cadre de la série "7 idées neuves pour le XX^e siècle", voulait témoigner des renversements de mentalité en cours dans la communauté scientifique. Ni plus ni moins. Rappelons le message des thermodynamiciens : pour atteindre un développement durable, il ne faut plus seulement se préoccuper des quantités d'énergie mises en jeu, mais aussi de leur qualité. Bref, de l'exergie, qui mesure la partie utilisable d'une énergie. Concept vaseux, dites-vous ? "La notion d'exergie



est parfaitement définie depuis la fin du XIX^e siècle", répond Diogo Queiros-Conde, physicien à Paris X. Les équations sont donc posées depuis longtemps. Par exemple, l'exergie d'une quantité de chaleur se définit comme suit : $\text{exergie} = Q (1 - T_{\text{environnement}} / T_{\text{source de chaleur}})$. "L'exergie n'est qu'un mot dérivé du grec, on pourrait l'appeler 'énergie utilisable', ce n'est pas ça l'important, assène Adrian Bejan, thermodynamicien à l'université Duke (Etats-Unis).

L'important, c'est d'en limiter la consommation, d'éviter sa destruction." Là encore, les bases sont anciennes : le savant français Georges Gouy avait établi dès 1889 le théorème de la dégradation de l'exergie. Loin d'être une idée fumeuse, l'exergie est une grandeur concrète, consommable. Et un outil pour l'industrie, qui l'utilise afin d'optimiser ses procédés. Le défi ici n'est pas technique, mais bien psychologique et même... philosophique.

Ne prenez pas les radars pour de la confiture de myrtilles !

La réponse de *Science et Vie* à la question "Manger des myrtilles améliore-t-il vraiment la vue ?" (n° 1149, juin 2013, p. 131) contient une mystification historique : vous indiquez que la consommation de myrtilles augmente la vision nocturne, et que ces fruits ont aidé les pilotes de chasse anglais à améliorer leur vue pendant la Seconde Guerre mondiale. Or, ces informations ne sont pas justes... La vérité est que les Anglais ont fait circuler

ces données à l'époque pour cacher l'utilisation de leurs premiers radars. Il était important de dissimuler cette innovation aux Allemands, tout en trouvant une explication acceptable aux succès de la Royal Air Force (armée de l'air britannique) lors des raids de nuit, qui n'ont pas échappé à la Luftwaffe (armée de l'air allemande). La propagande anglaise a donc inventé l'histoire des myrtilles, qui est en fait à mettre dans le même panier

que les épinards de Popeye. Ce n'est pas sérieux de la part de *Science & Vie* de reprendre des allégations sans les vérifier, et de répandre des informations non scientifiques, sur lesquelles d'autres se baseront en vous faisant confiance. *Science & Vie* a toujours combattu les légendes urbaines, les méthodes pseudo-scientifiques, le paranormal et les fraudes, et j'attends de votre revue une information fiable, de plus en →

La boutique SCIENCE & VIE

Plus de **400**

Livres

Idées cadeaux

Objets scientifiques ou insolites

WWW
laboutiquescienceetvie.com

50 ANS

france
culture

**C'EST
POUR
VOUS**

DEPUIS 50 ANS, TOUTES LES SCIENCES SONT SUR FRANCE CULTURE

HISTOIRE DES SCIENCES, MÉDECINE, GÉOGRAPHIE,
ACTUALITÉ SCIENTIFIQUE, QUESTIONS DE SOCIÉTÉ
DU LUNDI AU VENDREDI
14H-15H

en partenariat avec

SCIENCE & VIE

VENEZ FÊTER LES 50 ANS DE FRANCE CULTURE
AU PALAIS DE TOKYO (PARIS) DU 6 AU 8 SEPTEMBRE 2013
ENTRÉE LIBRE
franceculture.fr



→ plus nécessaire dans un monde où chacun peut publier n'importe quoi.

Hubert Kirrmann, Baden, Suisse

S&V Votre lettre nous a fortement interpellés. Faire passer les premiers radars pour de la confiture de myrtille... Quelle formidable opération d'intoxication militaire ! Nous tenons d'abord à souligner que nous n'étions pas aussi catégoriques que vous l'affirmez. Nous écrivions que "si des études indiquent que les myrtilles sont effectivement bonnes pour la vue, d'autres suggèrent qu'elles

n'ont aucun effet...", tout en précisant que "cette idée [s'était] répandue après que des pilotes de la Seconde Guerre mondiale [eurent] rapporté une amélioration de leur vision la nuit, après avoir mangé de la confiture de myrtilles". Nous avons cependant tenté d'en savoir plus sur cette ruse potentielle du contre-espionnage anglais. Au-delà des divers travaux évoqués dans notre article pour démontrer ou invalider ce lien entre myrtilles et vision, force est de reconnaître qu'elle est restée prégnante au cœur même des institutions militaires.

"L'on indiquait, il y a encore une trentaine d'années, dans les écoles de pilotage, que manger des myrtilles était bénéfique pour la vision de nuit", se souvient le capitaine Christian Brun, chef du laboratoire histoire et sociologie militaires au Centre de recherche de l'armée de l'air, à Salon-de-Provence. Serait-ce la continuation d'une longue intoxication ? "Il est possible que les Anglais aient usé de cette ruse pendant la Seconde Guerre mondiale", répond le chercheur. Mais, à ma connaissance, rien ne permet de le confirmer. Et il est difficile, voire

impossible, de vérifier cette information car il n'existe pas d'archives sur la question." Cette histoire en rappelle une autre, mieux documentée : au début de la Seconde Guerre mondiale, pour écouler leur important stock de carottes, les autorités anglaises ont vanté leurs effets sur la vision de nuit auprès de leur population soumise à de très nombreux black-out. Y a-t-il confusion entre ces deux opérations d'intox ? Si l'un d'entre vous a des données permettant d'en savoir plus sur cette potentielle mystification au goût de myrtilles, elles sont les bienvenues !

Comment les étudier, quand il est interdit de les détenir ?

J'ai lu avec grand intérêt votre enquête sur la recherche d'antidotes aux armes chimiques (S&V n° 1151, p. 94). Et je m'étonne que tant de laboratoires militaires et civils français travaillent sur le gaz sarin. Comme vous le soulignez dans l'encadré "Que dit la loi ?", "les armes chimiques sont prohibées depuis l'entrée en vigueur, en avril 1997, de la Convention sur l'interdiction des armes chimiques" qui en "interdit l'usage, la détention et la production". Quelle est alors la légalité de telles recherches,

fussent-elles dans un strict but défensif ?

Daniel Robert, Angers (49)

S&V Votre remarque est tout à fait pertinente : pour que les chercheurs français cités dans notre article puissent travailler sur un antidote, ils doivent forcément disposer du poison en question ! Une logique implacable qui a poussé la Convention sur l'interdiction des armes chimiques, en dépit de son extrême sévérité, à prévoir une dérogation. Nathalie Chaptal-Gradoz, chef du service d'application des



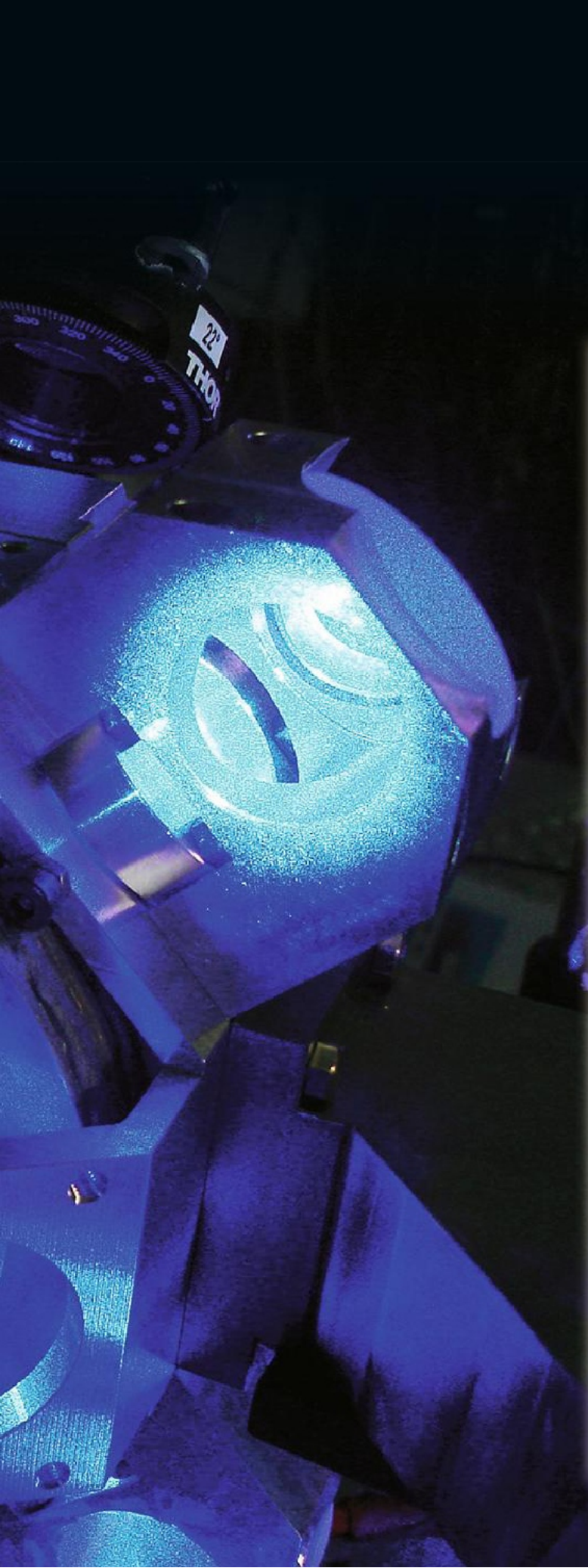
contrôles internationaux à l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire, précise que "chaque Etat a le droit de fabriquer jusqu'à 100 g par an de produits considérés comme armes chimiques (sarin, ypérite, tabun...), et cela sur un seul site de production et uniquement à des fins de recherche visant à s'en prémunir". Sachant que

la dose létale du sarin pour un humain n'est que de 0,5 milligramme, cette dérogation est donc loin d'être anodine et fait l'objet des contrôles les plus stricts. Rappelons enfin que la secte Aum, responsable de l'attentat au sarin dans le métro de Tokyo en 1995, était en mesure d'en produire plusieurs tonnes par an...

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

actus labos

J. LODEWYCK, OBSERVATOIRE DE PARIS



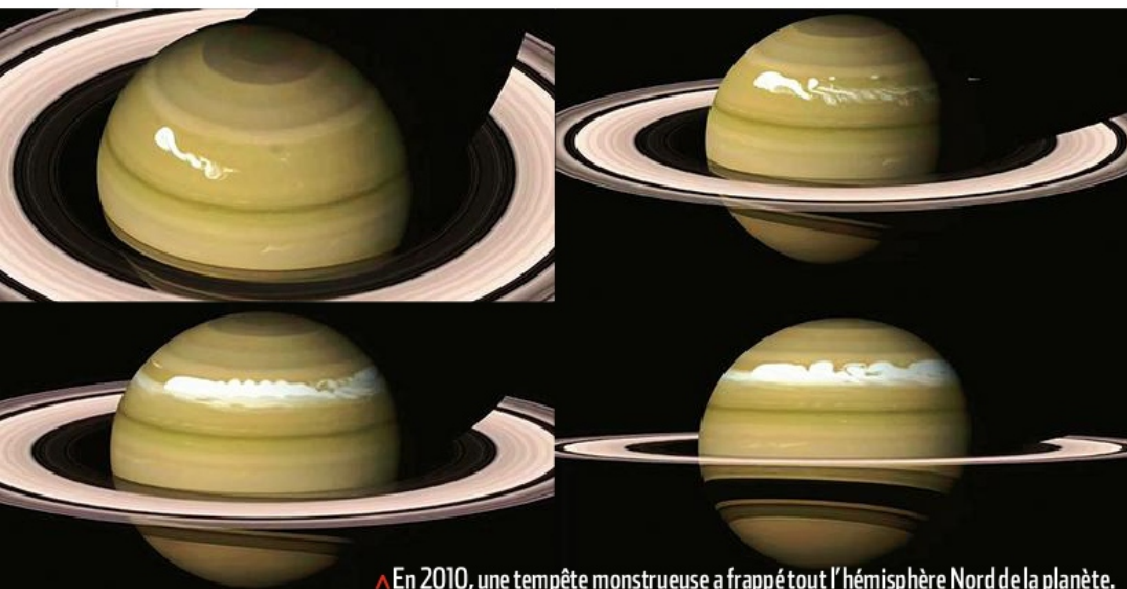
MÉTROLOGIE

CETTE HORLOGE VA REDEFINIR LA SECONDE

Jérôme Lodewyck et son équipe de l'Observatoire de Paris viennent de gagner une étape dans la course que mènent les physiciens contre le temps : pour la première fois, ils sont parvenus à concevoir deux horloges aux mesures plus précises que celles permettant jusqu'ici de définir la seconde, et à prouver qu'elles sont synchrones. *"Depuis 1967, la seconde est définie comme la durée de 9 192 631 770 oscillations de la radiation micro-onde absorbée ou émise par un atome de césium 133,* rappelle Jérôme Lodewyck, qui a mené les recherches. *On sait depuis longtemps que l'on peut atteindre une meilleure précision avec des horloges qui captent les radiations des atomes dans*

les domaines ultraviolet ou optique, on en a même déjà fabriqué... Restait à prouver leur fiabilité." Pour ce faire, les chercheurs ont collecté la lumière produite par des milliers d'atomes de strontium dans deux horloges différentes, avant de comparer leurs mesures, prouvant finalement que leurs nouveaux métronomes battent avec une stabilité 20 fois supérieure et une précision trois fois plus grande que les horloges actuelles. De quoi aboutir à une nouvelle définition de la seconde... Et enfin mesurer plus précisément certaines constantes de la physique, comme la vitesse de la lumière, pour savoir si elles varient, comme le prédisent d'audacieuses spéculations. **M.F.**

< Capable de capter les radiations des atomes avec une stabilité 20 fois supérieure, cette horloge au strontium est plus précise que la seconde.



▲ En 2010, une tempête monstrueuse a frappé tout l'hémisphère Nord de la planète.

MÉTÉOROLOGIE PLANÉTAIRE

LA TEMPÊTE, QUI A BALAYÉ SATURNE A ÉTÉ MODÉLISÉE

Le cœur de la tourmente était en fait 300 kilomètres sous les nuages ! En épluchant les images captées par la sonde Cassini, une équipe espagnole est parvenue à détailler les mécanismes du monstrueux phénomène qui a frappé un hémisphère entier de Saturne en 2010. Selon leur modèle, la condensation de vapeur d'eau en bas de l'atmosphère, formant des milliards de gouttes, a donné

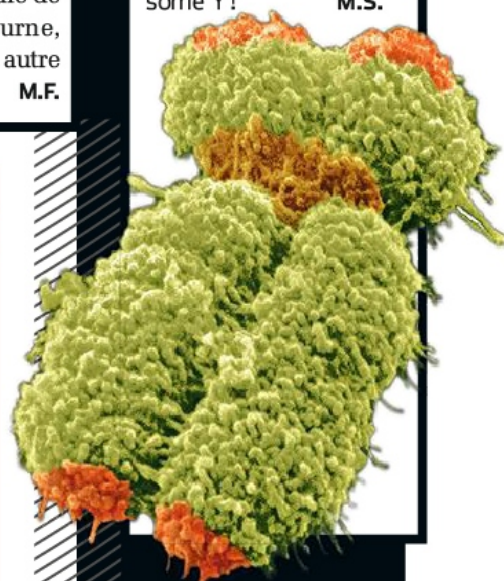
naissance à un cumulus de la taille de la Terre, qui s'est ensuite élevé progressivement jusqu'à des dizaines de kilomètres au-dessus du plafond nuageux. Il s'est alors mis à interagir avec l'atmosphère, donnant naissance à des vents de plus de 500 km/h et à une longue succession de vortex. *"Durant sept mois, ce mécanisme n'a cessé d'alimenter la tête de la tempête en énergie et en matière,*

jusqu'à provoquer, dans la stratosphère, un réchauffement énorme, de l'ordre de 70° en moyenne, qui persiste encore aujourd'hui", précise Enrique Garcia, qui a dirigé l'étude au centre astronomique de Catalogne. Et en prime, son équipe de chercheurs a aussi pu confirmer la structure verticale de l'atmosphère de Saturne, similaire à celle d'une autre géante, Jupiter. **M.F.**

GÉNÉTIQUE

ET SI LA VIRILITÉ ÉTAIT FÉMININE...

Chez les mammifères, les chromosomes sexuels X et Y sont porteurs d'informations presque identiques... Du moins le pensait-on. Car une équipe anglo-américaine vient de montrer le contraire. En analysant la composition génétique du chromosome X chez des souris et des hommes, les scientifiques ont remarqué que 340 de ses gènes différaient. Mais le plus surprenant, c'est que ces gènes, principalement exprimés dans les testicules, joueraient un rôle clé dans la production de spermatozoïdes. La masculinité ne serait donc pas seulement l'apanage du chromosome Y ! **M.S.**



BIOPHYSIQUE

Les toiles d'araignée sont attirées par l'électricité statique de leurs proies

L'insecte audacieux qui s'approche trop près d'une toile d'araignée est en fait attiré dans un véritable piège... mouvant. Les fils de soie sont en effet sensibles à la charge électrique des insectes, acquise lors du vol par frottement des ailes contre les molécules d'air. Au point que la toile se déforme pour mieux les capturer, d'après les images recueillies par Victor Ortega-Jimenez (université Berkeley, États-Unis). Lorsque des insectes approchent de la toile, qui est légèrement chargée négativement, les fils de soie se soulèvent de 1 à 2 mm vers la proie, à une vitesse avoisinant 1 mètre par seconde. **E.H.**

LE TECHNO SPACE

7 PLACES

VISION 360*

PARE-BRISE
PANORAMIQUE

COMMANDES TACTILES

SERVICES CONNECTÉS⁽³⁾



NOUVEAU CITROËN GRAND C4 PICASSO e-HDi 115

À PARTIR DE **269 € / MOIS⁽¹⁾** ENTRETIEN 4 ANS INCLUS

APRÈS UN 1^{ER} LOYER DE 6 100 € EN LOCATION LONGUE DURÉE DE 48 MOIS ET 40 000 KM SOUS CONDITION DE REPRISE.

NOUVEAU CITROËN GRAND C4 PICASSO

Le Nouveau Citroën Grand C4 Picasso, le Technospace, révolutionne l'univers des monospaces et met le meilleur de la technologie au service de votre bien-être. Ouvert sur le monde, le Nouveau Citroën Grand C4 Picasso offre un espace intérieur encore plus spacieux et propose 7 vraies places confortables, baignées de lumière grâce à son pare-brise panoramique. Sa tablette tactile 7", qui commande toutes les fonctions du véhicule, son écran panoramique 12" HD personnalisable⁽²⁾ et ses technologies embarquées, vous permettent de rester connecté en toutes circonstances. Grâce à sa nouvelle conception technologique, profitez de sensations de conduite inégalées tout en maîtrisant votre consommation et vos émissions de CO₂*. Vous parcourez le monde en toute sérénité et le monde entre dans votre voiture.

CRÉATIVE TECHNOLOGIE



Modèle présenté : Nouveau Citroën Grand C4 Picasso THP 155 Exclusive avec options peinture métallisée, toit vitré panoramique, vision 360 et lave-projecteurs, projecteurs directionnels Xénon bi-fonction et jantes alliage 18" (LLD entretien inclus sur 48 mois et 40 000 km : 47 loyers de 419 €, après un 1^{er} loyer de 7 200 €, sous condition de reprise). (1) Exemple pour la LLD sur 48 mois et 40 000 km d'un Nouveau Citroën Grand C4 Picasso e-HDi 115 Attraction neuf, hors option ; soit 47 loyers de 269 €, après un 1^{er} loyer de 6 100 € ; sous condition de reprise d'un véhicule d'occasion quel que soit son âge ; contrat d'entretien 4 ans inclus, au prix de 21 €/mois pour 48 mois et 40 000 km (au 1^{er} des 2 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 réservée aux particuliers, valable jusqu'au 30/09/13, 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. (2) Équipement de série ou non disponible selon versions. (3) Voir conditions en point de vente.

* CONSOMMATIONS MIXTES ET ÉMISSIONS DE CO₂ DE NOUVEAU CITROËN GRAND C4 PICASSO : DE 3,8 À 6,3 L/100 KM ET DE 98 À 145 G/KM.



✖ Soumises aux lois d'Einstein, les relations entre les atomes du mercure s'affaiblissent au point de former un métal... liquide.

CHIMIE

LE MERCURE EST BIEN LIQUÉFIÉ PAR LA RELATIVITÉ

"On le soupçonnait depuis des années, mais on n'avait jamais pu le prouver", raconte Florent Calvo, chercheur à l'université de Lyon. Le mercure a enfin livré son secret. A l'aide de nouveaux modèles et de simulations, le chercheur et ses collaborateurs viennent de comprendre pourquoi il est le seul métal liquide à température ambiante. C'est à cause de la relativité, la théorie mise au point par Einstein pour décrire les échelles cosmologiques, les énergies colossales et les plus grandes vitesses. "Nous avons fait tourner deux modèles, l'un intégrant les lois de la relativité, et l'autre non; nous nous sommes alors aperçus,

tout simplement, que sans effets relativistes, ça ne marche pas", relate Florent Calvo. Ainsi, les chimistes trouvaient dans cette simulation une température de fusion de 82 °C au lieu des -39 °C observés expérimentalement. Il n'y a donc plus de doute: soumis à l'attraction d'un noyau atomique particulièrement chargé, les électrons du mercure voient leur vitesse s'approcher de celle de la lumière. Ils tombent alors sous le joug des lois d'Einstein, qui les lient plus fortement à leur propre noyau, et affaiblissent leur liaison avec des atomes voisins. Ce qui nous offre le spectacle étrange d'un métal liquide.

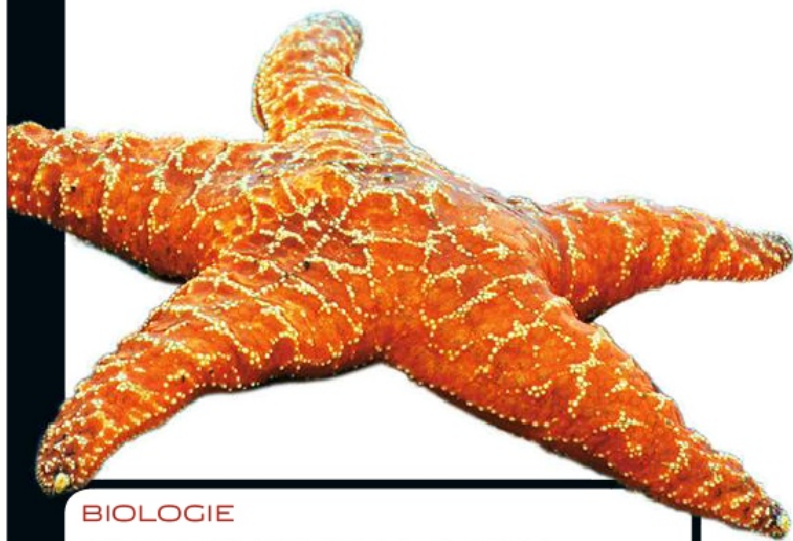
M.F.

BIOLOGIE MOLÉCULAIRE

Des cellules fonctionnent sans membrane

Ekaterina Sokolova et son équipe de l'université Radboud (Pays-Bas) ont créé des cellules sans membrane ! Leur recette : une mixture d'ADN, ARN (molécule "messagère" de l'ADN), enzymes et protéines de bactéries placée dans des gouttelettes d'un milliardième de millilitre d'eau flottant dans l'huile. Constatant la production d'ARN messagers à des taux proches de ceux observés *in vivo* dans les bactéries, ils supputent que les premières cellules ont pu se former ainsi.

L.C.



BIOLOGIE

SES BRAS OU LA VIE : L'ÉTOILE DE MER A CHOISI

Pour se rafraîchir, l'étoile de mer n'hésite pas à se couper un bras ! C'est ce qu'a découvert Sylvain Pincebourde, de l'université de Tours, en examinant en laboratoire la réaction de ces échinodermes lorsqu'ils sont exposés à de fortes températures extérieures. Placé des conditions extrêmes, lorsque son organisme s'approche de la limite létale de 35 °C, *Pisaster ochraceus* va dériver une partie de son excès de température en direction de ses cinq membres. Et si cela ne suffit pas, il va se débarrasser d'un ou de plusieurs des bras dans lesquels la chaleur s'est emmagasinée – ils peuvent atteindre 4 °C de plus que le disque central – afin de sauver ses organes vitaux.

R.B.

DRÔLE D'HALLOWEEN





JUSQU'À
-40%
SUR VOTRE SÉJOUR*
RÉSERVEZ AVANT
LE 30 SEPTEMBRE

ET LE SÉJOUR EST GRATUIT POUR LES -7 ANS**

* Offre valable dans au moins un hôtel Disney par date d'arrivée. Durées de séjour spécifiques à certaines dates d'arrivée. Arrivées jusqu'au 02.04.2014. Non applicable à certaines dates. ** 1 forfait adulte acheté = le même forfait offert aux -7 ans.

 **0 825 820 820**
0,15 € TTC/min

 disneylandparis.com

 **agences de voyages**

© Disney Euro Disney Vacances SAS - Siren 383 850 278 - RCS MEAUX - Capital social 132 470 €
IM077100030 - Licenc. n° 5, n° 1-1021070 - 1-1021082 ; 2-1021084 et 3-1021083



MANUSCRIT VOYNICH

IL A BIEN UN SENS CACHÉ

Découvert au XV^e siècle, le code Voynich semblait définitivement dépourvu de sens. Or, une approche inédite issue des théories de l'information vient de révéler que ses mystérieux symboles constituent bien un langage. Qui reste à décrypter...

Voilà une énigme à faire pâlir le Sphinx, pourtant grand spécialiste des messages sibyllins et autres casse-tête mythiques : le code Voynich est un mystérieux manuscrit du XV^e siècle que nul n'a sans doute jamais su lire, hormis son auteur inconnu...

104 FOLIOS FANTASTIQUES

Et ce n'est pas faute d'essayer, car depuis sa redécouverte dans une bibliothèque romaine en 1912, ses 104 folios fascinent. Leur belle écriture peut tout aussi bien être l'œuvre d'un illuminé que d'un extraterrestre... Quarante symboles étranges composent des "mots" que

personne ne sait lire, le tout dans une langue non identifiée. Loin d'aider, les dessins qui ornent les pages donnent vie à une centaine de plantes inconnues, représentent des zodiaques fantaisistes ou plongent des femmes nues dans des bains à la plomberie labyrinthique... Ces enluminures permettent juste de distinguer cinq parties dans l'ouvrage, dites botanique, astrologie, biologie, pharmacologie et "recettes".

C'est sans succès que les spécialistes se sont penchés sur cet entrelacs de "mots" et de signes. Le texte garde son secret. A l'inverse, des études comme celle du chercheur britannique en

REPÈRES

Rédigé au **XV^e siècle**, perdu deux siècles plus tard, le manuscrit est ensuite acheté en **1912** par l'antiquaire Wilfrid Voynich. Les hypothèses se multiplient quant à son mystérieux contenu : langue morte ou cryptée, langage artificiel, faux ? Le type de codage lui-même échappe aux spécialistes.

intelligence artificielle Gordon Rugg suggéraient en 2004 que l'on pouvait créer de faux textes ressemblant au Voynich avec des tables de cryptage du XV^e siècle (voir *S&V* n° 1045, p. 102). Une idée s'était alors peu à peu imposée : et s'il n'y avait tout simplement pas de texte caché dans la "prose voynichienne" ? L'affaire y perdrait certes en poésie, mais elle serait résolue...

Aujourd'hui, de nouveaux arguments rouvrent le jeu. Un texte suit des règles qu'ignorent les créations de Gordon Rugg... mais pas le Voynich ! "Nous nous sommes intéressés à ses lois, indique Marcelo Montemurro,



« Sans même chercher le sens des mots employés, les scientifiques de l'université de Manchester ont pu déterminer que le vocabulaire des chapitres dits des "recettes" (1) et d'astrologie (2) et ceux de botanique (3) et de pharmacologie (4) étaient liés. Seule la biologie (5) est à part.

de l'université de Manchester (Grande-Bretagne). Nous avons analysé l'organisation globale du texte du manuscrit et la statistique derrière l'usage des mots." Une approche inédite issue des théories de l'information pour ce nouveau venu chez les exégètes. Le scientifique a fourbi ses armes statistiques dans l'étude du code neural, qui crypte le monde réel dans nos réseaux de nos neurones ! Rien à voir ? Au contraire : "Nous étudions des données dont nous ne connaissons pas le contenu. Mais avec nos méthodes, nous pouvons

dire si elles contiennent quelque chose – même si nous ne savons pas quoi..."

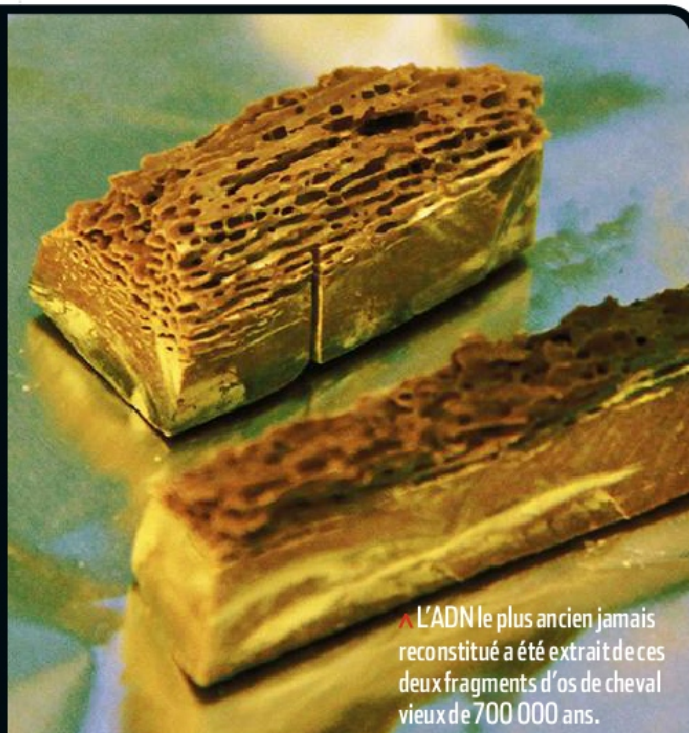
Marcelo Montemurro a donc analysé la fréquence de chaque "mot" du Voynich. Car, fait incontournable, un mot générique ("un", "et"...) se retrouve de façon régulière dans un texte, quand le vocabulaire spécifique est, lui, utilisé plus sporadiquement. Le scientifique a traqué ces irrégularités d'usage, et il les a trouvées ! "Nous avons pu classer, mais aussi créer des réseaux de relations entre ces mots. Nous avons même montré que la struc-

ture du texte était cohérente avec l'iconographie : les chapitres aux illustrations proches ont un vocabulaire proche !", s'enthousiasme Marcelo Montemurro.

En découvrant une structure dans le Voynich, en y identifiant les "mots" les plus riches en information, il repousse l'hypothèse du charabia, certes admirable mais sans queue ni tête. Il y a bien un sens dans ce drôle de manuscrit, même si on ne sait pas encore lequel, et ces premières données seront forcément primordiales pour le déchiffrement final.

E.R.

BEINECKE RARE BOOK & MANUSCRIPT LIBRARY, YALE UNIV



▲ L'ADN le plus ancien jamais reconstitué a été extrait de ces deux fragments d'os de cheval vieux de 700 000 ans.

PALÉOGÉNÉTIQUE

LE PLUS VIEIL ADN FOSSILE RÉÉCRIT L'HISTOIRE ÉQUINE

Un échantillon d'os retrouvé en 2003 dans le sol gelé (pergélisol) de Thistle Creek, au Canada, fait sensation chez les spécialistes de l'ADN ancien : vieux de plus de 700 000 ans, il conservait l'ADN d'un cheval archaïque ! Double stupeur au laboratoire de Ludovic Orlando, de l'université de Copenhague (Danemark), qui l'a analysé. Car en comparant la séquence obtenue avec celles d'autres chevaux – un spécimen de 43 000 ans, un cheval de Przewalski (dernière souche sauvage), cinq équidés modernes et un âne – le généticien a découvert que leur dernier ancêtre commun avait plus de 4 millions d'années. Deux

fois plus qu'on ne le pensait ! Mais surtout, personne n'avait jamais lu un ADN de plus de 100 000 ans. En 2012, des chercheurs avaient calculé que des fragments d'un million d'années pourraient théoriquement être conservés. On en a désormais la preuve. Ludovic Orlando a décidé de tenter sa chance lorsque la spectrométrie de masse du fossile a montré la trace de 73 protéines différentes. Essai transformé, puisqu'il a réussi à reconstituer 70 % du génome. Ce résultat confirme la possibilité de retrouver du matériel génétique très ancien, par exemple celui d'hominidés, si les conditions de conservation sont adéquates. **E.R.**

TRAQUER LES GÉOCROISEURS

Dix mille : c'est le nombre d'astéroïdes et de comètes susceptibles de s'approcher à moins de 45 millions de kilomètres de la Terre qui ont été identifiés. L'objectif étant d'en répertorier un maximum afin d'anticiper une éventuelle collision. Mais selon la Nasa, ces géocroiseurs seraient au moins dix fois plus nombreux. **S.D.**

UN LIT DE FLEURS MORTUAIRE DE 12 000 ANS

La célébration des morts importait déjà pour nos ancêtres *Sapiens*. Une équipe israélienne a trouvé les ossements de deux humains enterrés sur un lit de fleurs dans un cimetière vieux de 12 000 ans. Un nouvel indice pour dater l'apparition des rites funéraires chez l'homme. **S.D.**

ET UNE LUNE DE PLUS POUR NEPTUNE !

Le télescope spatial *Hubble* a débusqué un nouveau satellite de Neptune, temporairement nommé S/2004 N1, avant qu'on lui trouve un plus joli nom. C'est la 14^e lune de la géante de glace, et la plus petite : son diamètre atteint péniblement les 19 km. **S.D.**

ÉTHOLOGIE

LES SINGES AUSSI DIFFÉRENCIENT LES HOMONYMES

En fonction du contexte, le hocheur, un singe d'Afrique, poussera des cris qui, même en étant identiques, ne seront pas interprétés de la même façon. Kate Arnold, de l'université de Saint Andrews (Ecosse), a ainsi constaté que les femelles ne réagissent pas toujours de la même façon en entendant un mâle crier "hak", le cri d'alerte annonçant la présence d'un aigle. Si habituellement leur regard se porte alors vers le ciel, elles chercheront pourtant ailleurs l'origine de l'alerte si le son "hak" est précédé du bruit d'un arbre qui tombe. La chercheuse en conclut donc que les singes savent différencier des cris en fonction de leur environnement sonore. **O.D.**





Assurez-vous une position confortable.

Nouvelle ŠKODA Superb TDi

Gamme à partir de

289 € /mois

sous conditions de reprise⁽¹⁾

4 ANS

garantie⁽²⁾
entretien⁽³⁾

- Détecteur de fatigue⁽⁴⁾
- À partir de 109 g CO₂/km et 4,2 l/100 km⁽⁵⁾
- Espace aux jambes à l'arrière de 1m57

IL Y A TOUJOURS QUELQU'UN DE BIEN DANS UNE ŠKODA.

(1) Location longue durée sur 48 mois. 1^{er} loyer 2 234 € et 47 loyers de 289 €. Offre valable du 01/07/2013 au 31/08/2013. Exemple pour une nouvelle Superb berline Active 1.6 TDi 105 ch en location longue durée sur 48 mois et pour 60 000 km maximum, hors assurances facultatives. Aide à la remise de 3 500 € TTC et aide à la reprise de 1 000 € TTC (conditions générales ArgusTM) déduites du tarif au 27/05/2013. Offre réservée aux particuliers chez tous les Distributeurs présentant ce financement, sous réserve d'acceptation du dossier par Volkswagen Bank GmbH - SARL de droit allemand - Capital 318 279 200 € - Succursale France : Paris Nord 2 - 22 avenue des Nations 93420 Villepinte - RCS Bobigny 451 618 904 - ORIAS : 08 040 267 (www.orias.fr). Modèle présenté : Nouvelle Superb Combi Elégance 2.0 TDi 140 GreenTec BVM6, avec options park assist et toit ouvrant panoramique. Aide à la remise de 3 500 € TTC et aide à la reprise de 1 000 € TTC (conditions générales ArgusTM) déduites du tarif au 27/05/2013 : 1^{er} loyer de 3 291 € suivi de 47 loyers de 435 €. (2) Garantie additionnelle de deux ans obligatoire souscrite auprès d'Opteven Assurances, Société d'assurance et d'assistance au capital de 5 335 715 €. Siège social : 35-37, rue L. Guérin, 69100 Villeurbanne. RCS Lyon n° 379 954 886 régie par le Code des assurances et soumises au contrôle de l'ACP (Autorité de Contrôle Prudentiel). (3) Forfait Service Entretien obligatoire souscrit auprès d'Opteven Services, SA au capital de 365 878 € - RCS Lyon B 333 375 426 siège social : 35-37, rue L. Guérin - 69100 Villeurbanne. (4) En option. (5) Sur Berline 1.6 L TDi 105 ch Greenline. * Voir conditions auprès de votre Distributeur. Simply Clever : Simplement Évident. Volkswagen Group France - Division ŠKODA - 02600 Villers-Cotterêts - RCS Soissons B 602 025 538. Publicité diffusée par le concessionnaire en qualité d'intermédiaire de crédit, à titre non exclusif, de Volkswagen Bank.

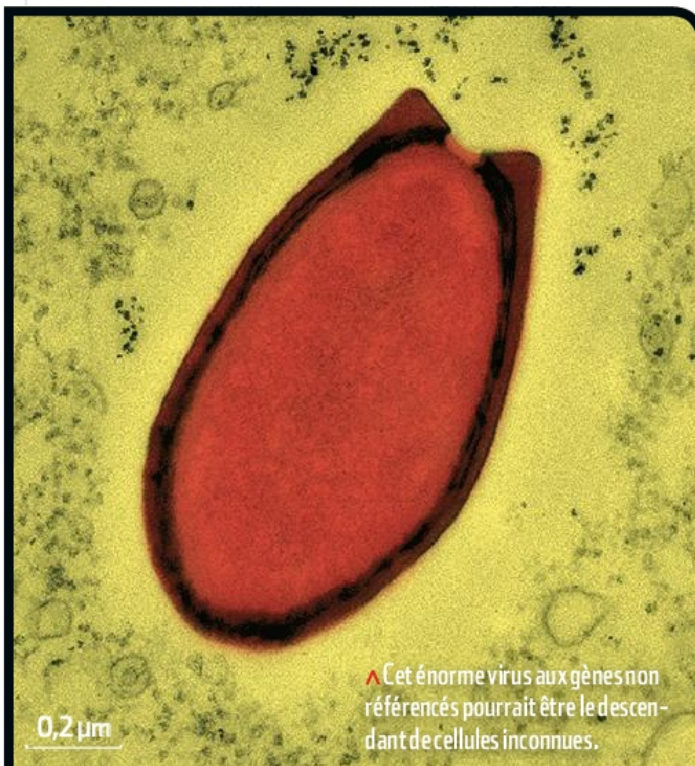
Consommation mixte de la Superb Combi 2.0 TDi 140 GreenTec BVM6 : 4,6. Émissions de CO₂ (g/km) : 121.
Consommations mixtes de la gamme Superb (l/100 km) : 4,2 à 9,4. Émissions de CO₂ (g/km) : 109 à 217.

ŠKODA recommande Castrol EDGE Professional. www.skoda.fr

Assistance 24h/24 pendant 7 ans*

215 Points Service ŠKODA partout en France

Renseignements : 0 969 390 904 (appel non surtaxé)



0,2 µm

▲ Cet énorme virus aux gènes non référencés pourrait être le descendant de cellules inconnues.

VIROLOGIE

CE VIRUS ANNONCE UN QUATRIÈME RÈGNE DU VIVANT

Les deux virus découverts par Nadège Philippe (université Aix-Marseille) et ses collègues, dans des sédiments marins et lacustres prélevés au Chili et en Australie, pulvérisent les records de taille et d'étrangeté. Baptisés *Pandoravirus salinus* et *Pandoravirus dulcis*, ils sont en apparence tellement différents des autres virus que les scientifiques ont dû vérifier qu'il ne s'agissait pas de parasites unicellulaires. Mesurant 1 µm de longueur sur 0,5 µm de largeur, soit la taille d'une petite bactérie, ces virus visibles au microscope infectent les amibes (organismes unicellulaires de forme changeante). Deux

fois supérieurs aux plus gros génomes viraux répertoriés, leurs génomes dépassent en taille ceux de nombreuses bactéries, voire d'organismes unicellulaires eucaryotes (possédant un noyau entouré d'une membrane). Mais ces mensurations exceptionnelles ne sont pas leur caractéristique la plus étonnante: seulement 7 % de leurs gènes se trouvent déjà dans les bases de données! Les *Pandoravirus* ne sont donc apparentés à aucun micro-organisme référencé. Leurs découvreurs estiment qu'ils pourraient appartenir à un quatrième règne du vivant, lointains descendants de cellules inconnues. **L.C.**

GÉNIE GÉNÉTIQUE

Une goutte de sang suffit pour cloner une souris

Le clonage se simplifie ! Des chercheurs japonais l'ont réussi grâce à une seule goutte de sang prélevée dans la queue d'une souris. Ils l'ont transformée en une suspension de globules blancs, dont les noyaux ont été utilisés pour fertiliser un œuf vide. Des rongeurs avaient déjà été clonés à partir de globules blancs du foie, de la moelle osseuse ou des ganglions lymphatiques, mais jamais de cellules en circulation, plus accessibles et ne nécessitant donc pas d'euthanasier le donneur. **E.L.**

ARCHÉOLOGIE

UN FABULEUX TRÉSOR PRÉ-INCA A ÉTÉ MIS AU JOUR

Des grands bâtisseurs qui dominèrent le Pérou entre le VI^e et le XII^e siècles, on ne sait pas grand-chose... La découverte, par l'archéologue Milosz Giersz (université de Varsovie, Pologne), de tombes royales wari inviolées sur le site d'El Castillo de Huarney est donc majeure. Des milliers d'objets – bijoux d'or et d'argent, bols d'albâtre, haches de bronze ou céramiques peintes – attendaient les scientifiques, protégés du pillage par 30 tonnes de gravats. Ce trésor funéraire accompagnait trois reines et 60 personnes, dont six furent sans doute sacrifiées, enroulées dans des tissus de laine. Leur étude va enfin éclairer la vie et l'organisation des Wari, ces puissants précurseurs des Incas. **E.R.**



TOTAL WAR™ ROME II

JUSQU'OU IREZ VOUS POUR ROME?



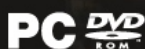
PRÉCOMMANDEZ LE JEU
ET OBTENEZ GRATUITEMENT
3 FACTIONS JOUABLES

CATÉGORIE :
JEU DE STRATÉGIE



3 SEPT 2013

WWW.TOTALWAR.COM



© SEGA. Creative Assembly, le logo Creative Assembly, Total War, Total War: ROME et le logo Total War sont des marques commerciales ou déposées de The Creative Assembly Limited. SEGA et le logo SEGA sont des marques commerciales ou déposées de SEGA Corporation. Tous droits réservés.



SCIENCE & VIE

N° 7146

MARS 2013

PLANTES

ELLES SAVENT AUSSI FAIRE DES MATHS

Une petite plante vient de démontrer sa capacité à gérer ses réserves énergétiques, même lorsque son cycle est contrarié. Une découverte à mettre au crédit de l'intelligence des plantes, qui faisait notre une il y a quelques mois.

Intelligentes, les plantes? *Science & Vie* l'affirmait au mois de mars dernier en s'appuyant sur des expériences récentes qui révélaient leurs capacités de communication, de mémorisation, d'entraide... Or Martin Howard, biologiste au Centre John Innes (Royaume-Uni), vient de mettre en lumière un autre comportement étonnant: *Arabidopsis thaliana* serait capable de faire des divisions! Cette "arabette des dames" sait parfaitement gérer, la nuit, les réserves énergétiques qu'elle a accumulées pendant la journée sous forme d'amidon. Que la nuit dure six ou douze heures, qu'elle soit interrompue par quelques heures de lumière, artificielle ou non, il lui restera toujours la même quantité d'amidon à l'aube: 5 %, soit une marge suffisante pour tenir en cas de coup dur.

UN MODÈLE ÉPROUVÉ DE GESTION DES RESSOURCES

Comment diable parvient-elle à optimiser ainsi la gestion de ses réserves? Par une simple opération mathématique! L'équipe anglaise a en effet fourni de sérieux indices sur l'existence d'un mécanisme capable de mesurer, à tout moment, la quantité d'amidon disponible et le temps



restant jusqu'à l'aube, puis de diviser le premier paramètre par le second pour ajuster en temps réel l'utilisation de l'amidon. "Nous avons imaginé un modèle de calcul reposant sur deux molécules: une molécule S, liée à la teneur en amidon, et une molécule T, dont la concentration refléterait le temps jusqu'à l'aube, explique Martin Howard. S favoriserait la dégradation de l'amidon, tandis que T l'inhiberait, par exemple en se liant à S pour la désactiver."

Eprouvé sur des plants perturbés par des alternances jour/nuit irrégulières, ou par des mutations génétiques, ce modèle a

▲ En perturbant ses nuits et en la modifiant génétiquement, Martin Howard et Alison Smith ont mis à l'épreuve la capacité de calcul de l'arabette des dames.

démonstré toute sa pertinence. Ces travaux ouvrent donc des perspectives inédites: "Ce modèle pourrait aussi être pertinent pour d'autres classes de processus biologiques dans lesquels les réserves alimentaires sont accumulées en avance sur des périodes de temps déterminées, et sont juste suffisantes pour assurer la survie à la fin de la période", suggère Antonio Scialdone, coauteur de l'étude. Périples des oiseaux migrateurs, couvade du manchot empereur... Autant de situations potentiellement résolues par de simples opérations arithmétiques!

E.H.

J. INNES CENTRE

Les 3 bonnes raisons d'aménager **maintenant** vos combles



UN PLACEMENT RENTABLE POUR VOTRE ÉPARGNE

Le meilleur placement du moment est sous votre toit.

- **Accessible.** Augmentez la surface habitable de votre logement pour des travaux à 1 235 €* du m².
- **Rentable.** Réalisez une plus-value appréciable en cas de revente au prix de l'immobilier (exemple : 2540 €/m² à Nantes et 8260 €/m² à Paris**).
- **Attractif.** En profitant du déblocage anticipé de l'épargne salariale, vous réaliserez rapidement vos travaux, sans payer d'impôt !***

* Coût moyen des travaux d'aménagement de combles calculé sur 53 projets d'aménagements présentés sur le site revedecomble.fr

** Prix médian au m² des appartements anciens au 1^{er} trimestre 2013 selon le site notaires.fr

*** Circulaire du 4 juillet 2013 sur le déblocage de l'épargne salariale.

JEU-CONCOURS

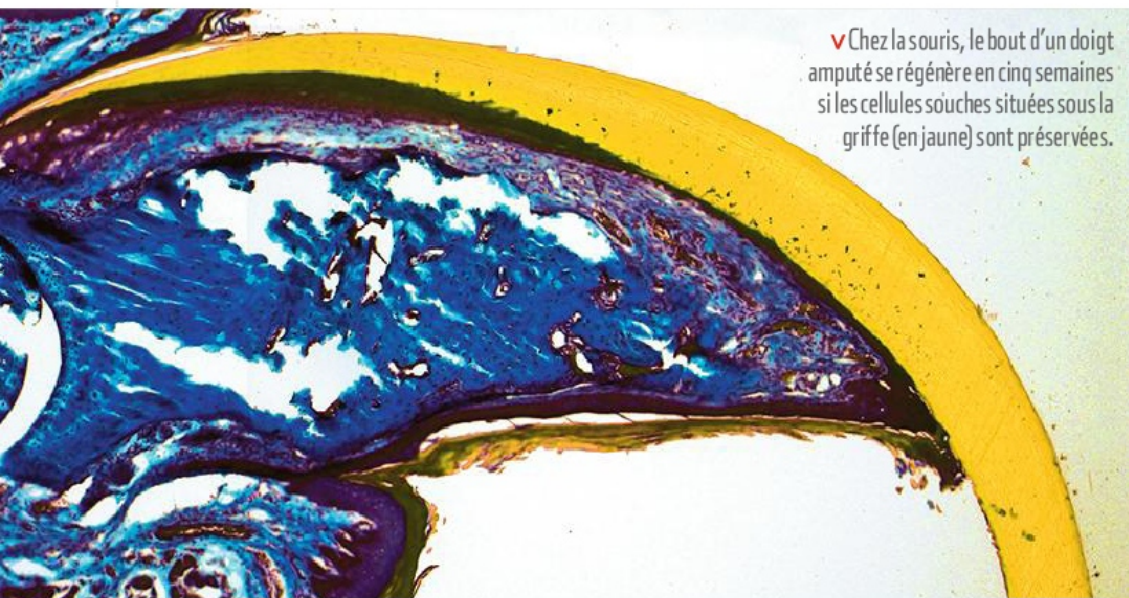


**Gagnez
10 000€**
pour aménager
vos combles

Règlement sur revedecomble.fr

VELUX®

Rendez-vous sur revedecomble.fr pour en savoir plus.



✓ Chez la souris, le bout d'un doigt amputé se régénère en cinq semaines si les cellules souches situées sous la griffe (en jaune) sont préservées.

BIOLOGIE CELLULAIRE

C'EST GRÂCE À SON ONGLE QU'UN DOIGT SE RÉGÉNÈRE

Comparée, par exemple, à celle des amphibiens, notre capacité de régénération est faible: adultes, nous ne reconstituons que l'extrémité de nos doigts. Il y a quarante ans, des biologistes avaient déjà démontré la nécessité de garder pour cette raison un petit bout d'ongle. Puis en 1999, l'effet positif de sa transplantation sur un doigt amputé bas était prouvé. Des faits connus, mais inex-

pliqués, tout comme la repousse régulière de l'ongle... L'équipe de Mayumi Ito, du département de biologie cellulaire de l'université de New York (Etats-Unis), vient enfin d'expliquer le phénomène. Sous les griffes des souris, le dermatologue a repéré la présence de cellules souches capables de se renouveler et qui produisent une protéine Wnt, primordiale pour la formation des membres

de l'embryon. Lors d'une amputation, ces cellules favorisent la repousse locale des nerfs, qui vont à leur tour agir sur la reformation d'os, de muscles, etc. Si elles sont éliminées lors de l'amputation, il n'y a pas de reconstitution. L'identification de ce groupe de cellules est donc un pas important dans notre quête de régénération... Reste à comprendre le mécanisme de leur intervention. **E.R.**

PHYSIOLOGIE

LES CAÏMANS SONT BARDES DE CAPTEURS

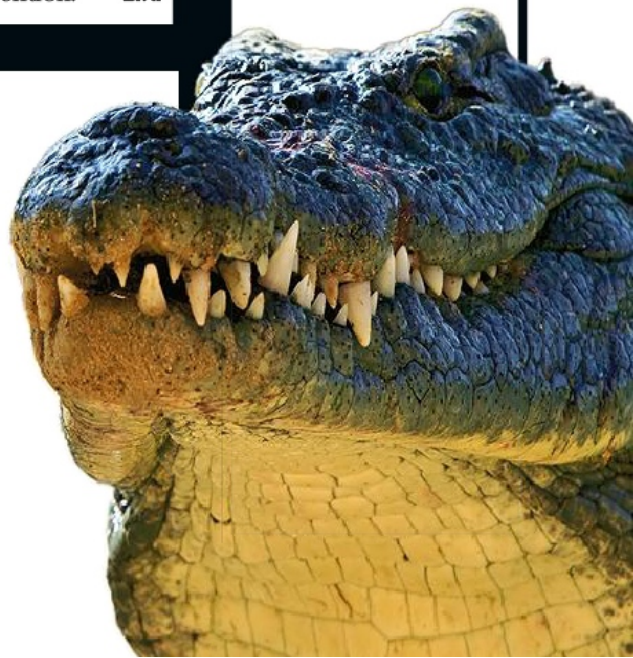
Sous leurs dehors cuirassés, les crocodiles, caïmans et autres alligators cachent une grande sensibilité: leur peau abrite en effet d'étonnants capteurs, des "organes sensoriels tégumentaires". Nicolas Di-Poi et Michel Milinkovitch, de l'université de Genève (Suisse), ont mis au jour ceux du caïman à lunettes et du crocodile du Nil (photo). Sur le crâne du premier et sur l'ensemble du corps du second, des structures très innervées leur permettent de détecter la température, les changements de pH, ainsi que les variations de pression autour d'eux, qui les alertent sur la proximité d'une proie, même en eaux troubles... **L.C.**

NEUROLOGIE

Nous avons tous la même carte des émotions dans le cerveau

Peur, colère, fierté... Une équipe américaine a observé la signature de neuf émotions distinctes dans les cerveaux de comédiens scannés par IRM fonctionnelle. Grâce à un modèle informatique, ils ont pu associer chaque émotion à un schéma d'activation neuronale. "Malgré des psychologies différentes entre individus, ces schémas d'activation sont identiques, ce qui montre que la façon dont notre cerveau traite les émotions est universelle", souligne Marcel Just (université Carnegie Mellon, Etats-Unis), coauteur de l'étude. **J.G.**

ITO LAB. - M. GUNTHER / BIOS



Les 3 bonnes raisons d'aménager **maintenant** vos combles

EN 2014 + 3% DE TVA



Passez à l'action avant l'augmentation !

- **Économisez 3 %** sur le montant global de vos travaux*. Petit ou grand chantier, l'économie est significative puisqu'elle englobe produits et main-d'œuvre.
- **Pratique.** Les travaux sont rapides à réaliser, et si vous ne connaissez pas de professionnel pour réaliser les travaux, VELUX se chargera de vous mettre en relation avec un installateur formé.
- **Rapide.** Si votre nouvelle surface de plancher ne dépasse pas 40m² une simple déclaration de travaux suffit**.

* Selon l'article 68 de la 3ème loi de finances rectificative pour 2012, les travaux de rénovation réalisés par une entreprise dans un logement ancien sont soumis au taux de 7 % sous certaines conditions. Le taux intermédiaire de la TVA passera à 10 % au 1er janvier 2014.

** Article RU2-12-2 du code de l'urbanisme.

JEU-CONCOURS



**Gagnez
10 000€**
pour aménager
vos combles

Règlement sur revedecombles.fr

Rendez-vous sur **revedecombles.fr** pour en savoir plus.

VELUX®



▲ Le rémanent (au centre de l'anneau) de la supernova 1987A déjoue le modèle des chercheurs.

ASTROPHYSIQUE

CETTE SUPERNOVA N'A PAS EXPULSÉ CE QUI ÉTAIT PRÉVU

C'est un modèle vieux de plusieurs dizaines d'années qui est ébranlé. Les chercheurs pensaient pouvoir prédire l'évolution du rémanent des supernovæ, cette matière éjectée lors de l'explosion des étoiles. Mais voilà que les observations d'une équipe internationale bouleversent leurs certitudes. Leur étude porte sur la matière éjectée, il y a 26 ans, par la supernova 1987A. "Nous avons observé que le rémanent était un grand réservoir de poussières et de molécules beaucoup plus denses et froides que prévu", souffle Mikako Matsura de l'University Collège de Londres, qui a dirigé les

recherches. Le gaz, supposé rester chaud pendant des décennies, se refroidirait en fait très rapidement. Les observations faites grâce aux télescopes *Herschel* et *Alma* ont permis d'estimer la masse de ces poussières et molécules à environ 250 000 fois celle de la Terre. "Cela représente bien plus de matière que ce que nous pensions trouver. C'est tout le modèle qui doit être repensé", reconnaît la chercheuse. Mais il faudra être patient : seule la prochaine explosion d'une étoile proche permettra d'établir si, oui ou non, 1987A doit être considérée comme un nouveau modèle, ou comme une exception. **S.D.**

PALÉONTOLOGIE

Le diplodocus renouvelait ses dents tous les mois

Les grands dinosaures herbivores remplaçaient chacune de leurs dents tous les un à deux mois, selon Michael D'Emic (université de Stony Brook, États-Unis), qui a étudié les mâchoires de deux espèces de sauropodes. Sous leurs dents se trouvait une batterie de remplaçantes en développement. Le chercheur a évalué le rythme de remplacement à 35 jours chez *Diplodocus* et 62 jours chez *Camarasaurus*, un écart expliqué par leurs régimes alimentaires différents. **S.D.**

ÉTHOLOGIE

LES PIGEONS "INTELLOS" COMMANDENT EN VOL

Chez les pigeons bisets, on ne confond pas oiseaux dominant et meneur : la structure sociale s'envole en même temps que les oiseaux, comme l'ont découvert des chercheurs anglais et hongrois. Grâce à un procédé informatique permettant d'établir le rang social des oiseaux au sol et en suivant le comportement en vol de pigeons équipés de GPS miniatures, ils ont montré que la hiérarchie variait selon le contexte. Au sol, la dominance s'avère être liée à l'agressivité et à la taille des oiseaux. Mais ces caractéristiques ne sont plus prépondérantes en vol : ce sont alors l'expérience ou la bonne connaissance de la route aérienne empruntée qui sont privilégiées. **M.S.**



< Si, au sol, les pigeons se soumettent aux plus agressifs, ils suivront en vol celui qui a le plus d'expérience.

Les 3 bonnes raisons d'aménager **maintenant** vos combles

RAISON
3

PROFITEZ DE LA NOUVELLE GÉNÉRATION VELUX

Découvrez un plaisir de vie inédit sous les toits.

- **Plus de lumière.** Jusqu'à 63 % de lumière naturelle en plus* et donc plus de perception d'espace.
- **Plus de confort.** Avec un design repensé, la manipulation de la fenêtre et de ses équipements est encore plus fluide, jusqu'à devenir complètement automatique avec la fenêtre motorisée VELUX INTEGRA®.
- **Moins d'énergie dépensée.** Des performances d'isolation inégalées, été comme hiver.

* Étude réalisée avec le logiciel VELUX Daylight Visualizer, intégrant l'optimisation de la transmission lumineuse et de la surface vitrée de la Nouvelle Génération (même pièce, même orientation, même dimension de fenêtre)

JEU-CONCOURS



Gagnez
10 000€
pour aménager
vos combles

Règlement sur revedecombles.fr

Rendez-vous sur revedecombles.fr pour en savoir plus.

VELUX®

© 2013 Groupe VELUX® VELUX et le logo VELUX sont des marques déposées et utilisées sous licence par le groupe VELUX®. Ce document n'est pas contractuel. RCS EVRY 970 200 044.

SEXE

VOICI LE PREMIER ANIMAL QUI SAIT S'EN PASSER !

Une population entière d'invertébrés et... pas un mâle ? C'est possible. Un rotifère se reproduit depuis des millions d'années de façon asexuée. Sans s'en porter plus mal. La fin d'un dogme tenace.

C'est la fin d'un mystère de l'évolution. Et d'un dogme scientifique : dans le règne animal, la reproduction sexuée (accouplement d'un mâle et d'une femelle) était jusqu'ici considérée comme le seul moyen d'assurer la survie et l'évolution d'une espèce sur le long terme, grâce au brassage génétique qui en résulte. La reproduction asexuée ne pouvait être qu'un pis-aller temporaire, cantonnée au monde végétal et à des organismes simples comme les bactéries...

UN CHAOS DE CHROMOSOMES

Cinq années de recherches à l'université de Namur (Belgique) et au CEA-Génoscope, à Evry, sur un petit invertébré du nom d'*Adineta vaga*, viennent de balayer cette idée reçue :

depuis cinquante ans qu'ils étudiaient ce rotifère bdelloïde, les scientifiques ne lui connaissaient que des femelles et un mode de reproduction asexué, mais rien n'avait permis d'affirmer qu'il n'y avait ni mâles ni sexe... Jusqu'à la découverte de l'équipe de Jean-François Flot, qui vient définitivement prouver qu'*Adineta* n'utilise plus et ne peut plus avoir recours du tout à la reproduction sexuée !

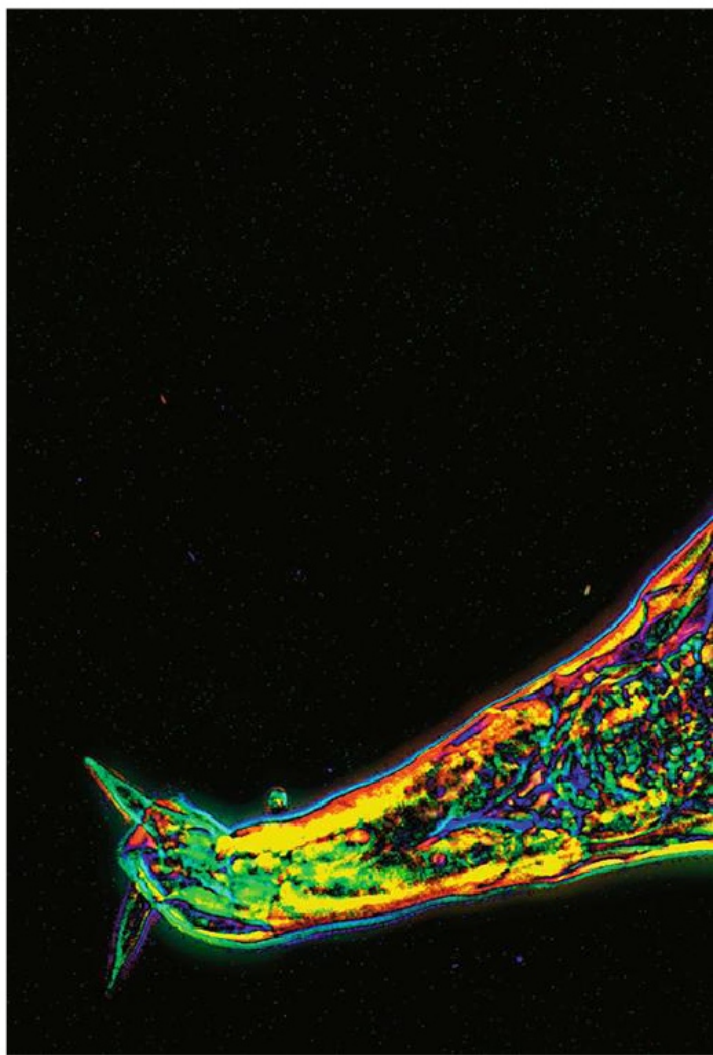
Cette découverte a été rendue possible grâce au séquençage du génome de l'animal. Pour ce faire, Jean-François Flot, principal coauteur de l'étude, a dû mettre au point une nouvelle méthode : *"La clef du problème était l'assemblage du génome. En effet, plusieurs autres équipes dans le monde s'étaient*

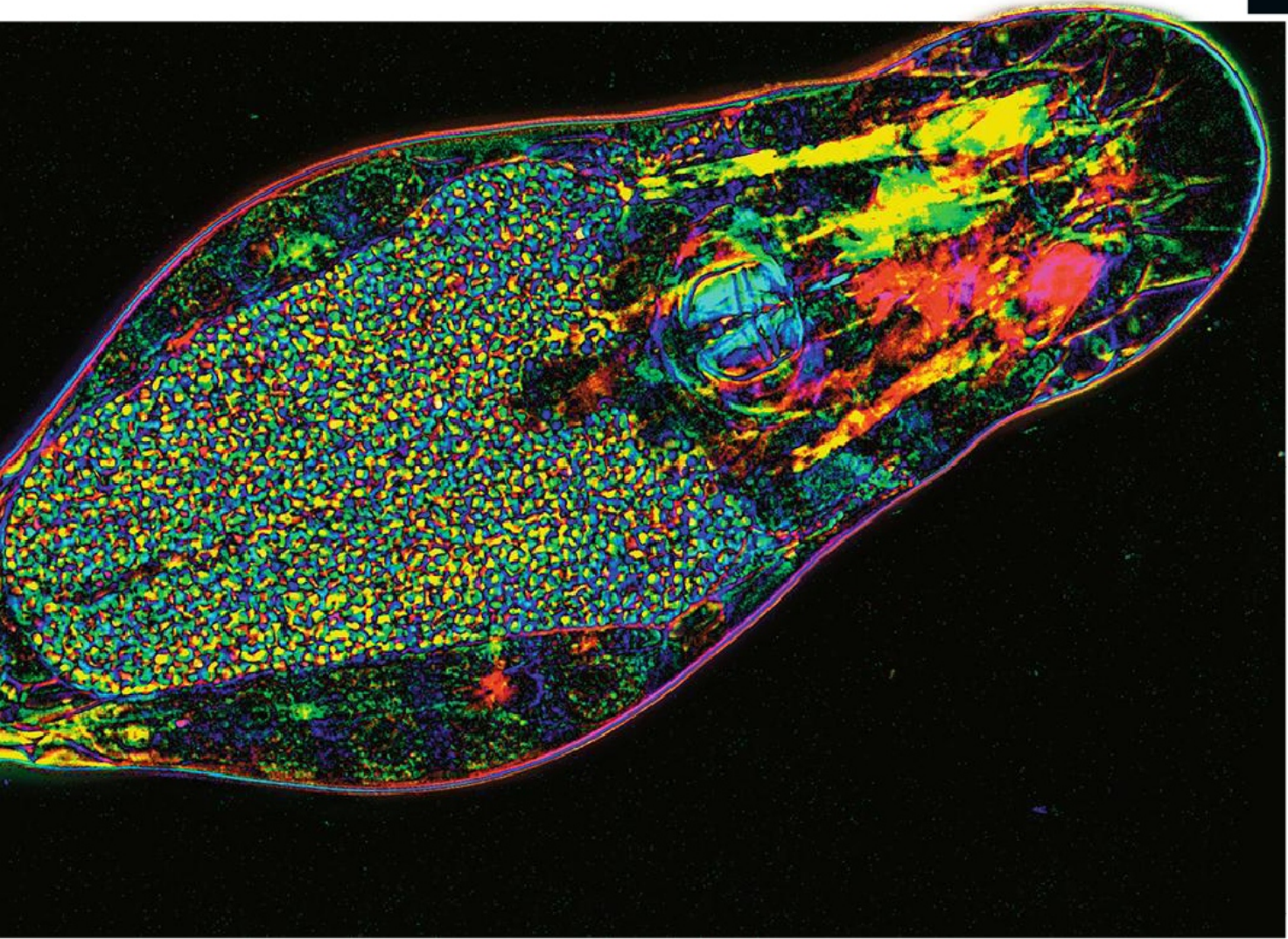
REPÈRES

De façon exceptionnelle, certains animaux "complexes" peuvent avoir recours à la **parthénogenèse**, où une femelle se reproduit seule. Cela arrive chez les lézards ou les insectes (guêpes, etc.), et quelques cas sont connus chez les varans et les requins. Mais rien d'aussi systématique qu'avec notre rotifère...

déjà lancées dans le séquençage de rotifères, sans parvenir à un assemblage satisfaisant. "Et c'est cet assemblage qui a permis de résoudre l'énigme. Car une fois reconstitué, le génome a révélé que, contrairement à ce qui s'observe chez les espèces sexuées, les chromosomes d'*Adineta vaga* n'étaient pas "homologues".

En effet, les chromosomes fonctionnent normalement par paires provenant des deux génomes parentaux, et les gènes y sont rangés dans un ordre respecté de part et d'autre. Ce qui permet leur distribution en lots équivalents lors de la création des gamètes, spermatozoïdes et ovules ; ces gamètes fusionnent ensuite, lors de la copulation et de la fécondation, permettant la création d'un nouvel individu.





Mais chez *Adineta*, côté disposition des gènes le long des chromosomes, c'est le chaos ! Ils sont distribués n'importe comment, au point qu'il lui est impossible de former des gamètes porteurs d'un patrimoine génétique équilibré. Or, sans gamète, pas de sexe reproductif envisageable. Ce qui prouve donc indubitablement qu'*Adineta vaga* est bien asexué, et ce depuis plusieurs dizaines de millions d'années !

Les rotifères bdelloïdes ne sont probablement pas les seules espèces animales ayant réussi à vivre sans sexe, et sans s'en porter plus mal. Maintenant que la voie est ouverte, d'autres exemples devraient venir confirmer que la reproduction asexuée n'est pas l'impasse évolutive que certains imaginaient. **P.-Y.B.**

▲ Après plus de cinquante ans de travaux, les chercheurs ont dû se rendre à l'évidence : *Adineta vaga*, petit invertébré des zones humides appartenant au groupe des rotifères bdelloïdes, est bien totalement asexué.

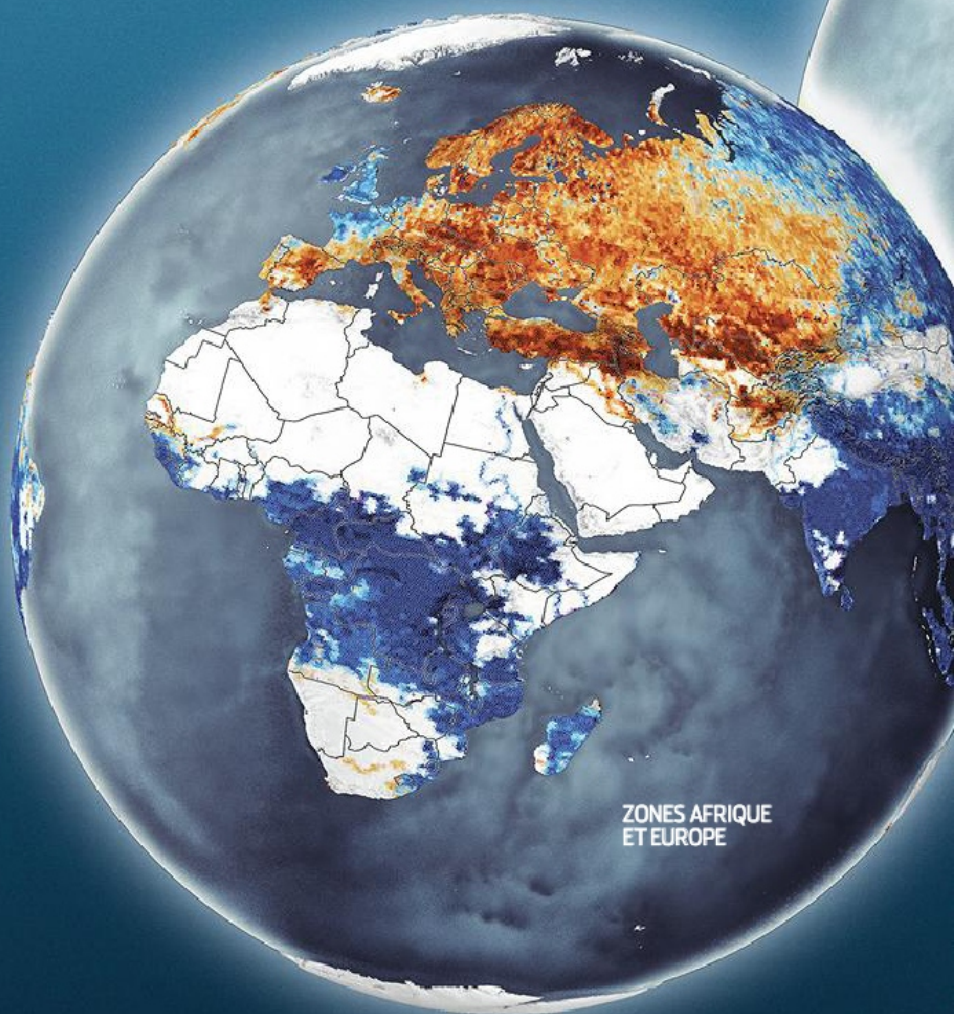
DES RUSES POUR SE PASSER DU BRASSAGE GÉNÉTIQUE

La reproduction sexuée implique un brassage génétique bénéfique pour l'adaptation à l'environnement et limitant les mutations délétères. Comment *Adineta* s'y prend-il sans sexe ? Il existe deux subterfuges. Le premier, la conversion génique, est une sorte de "copier-coller" entre les différentes versions d'un gène : une des versions est "copiée" puis "collée" à la place des autres gènes. Ce qui lui permet d'uniformiser le tout et de remplacer les mutations indésirables par les séquences saines. Le second, le transfert horizontal, abondamment utilisé par les bactéries, consiste à absorber des fragments d'ADN (donc des gènes) d'autres espèces présents dans l'environnement ; fragments qui enrichiront son propre patrimoine génétique. Deux mécanismes qui pourraient aussi être à l'origine des incroyables capacités développées par ces rotifères, capables de survivre à de sévères déshydratations.

CLIMATOLOGIE

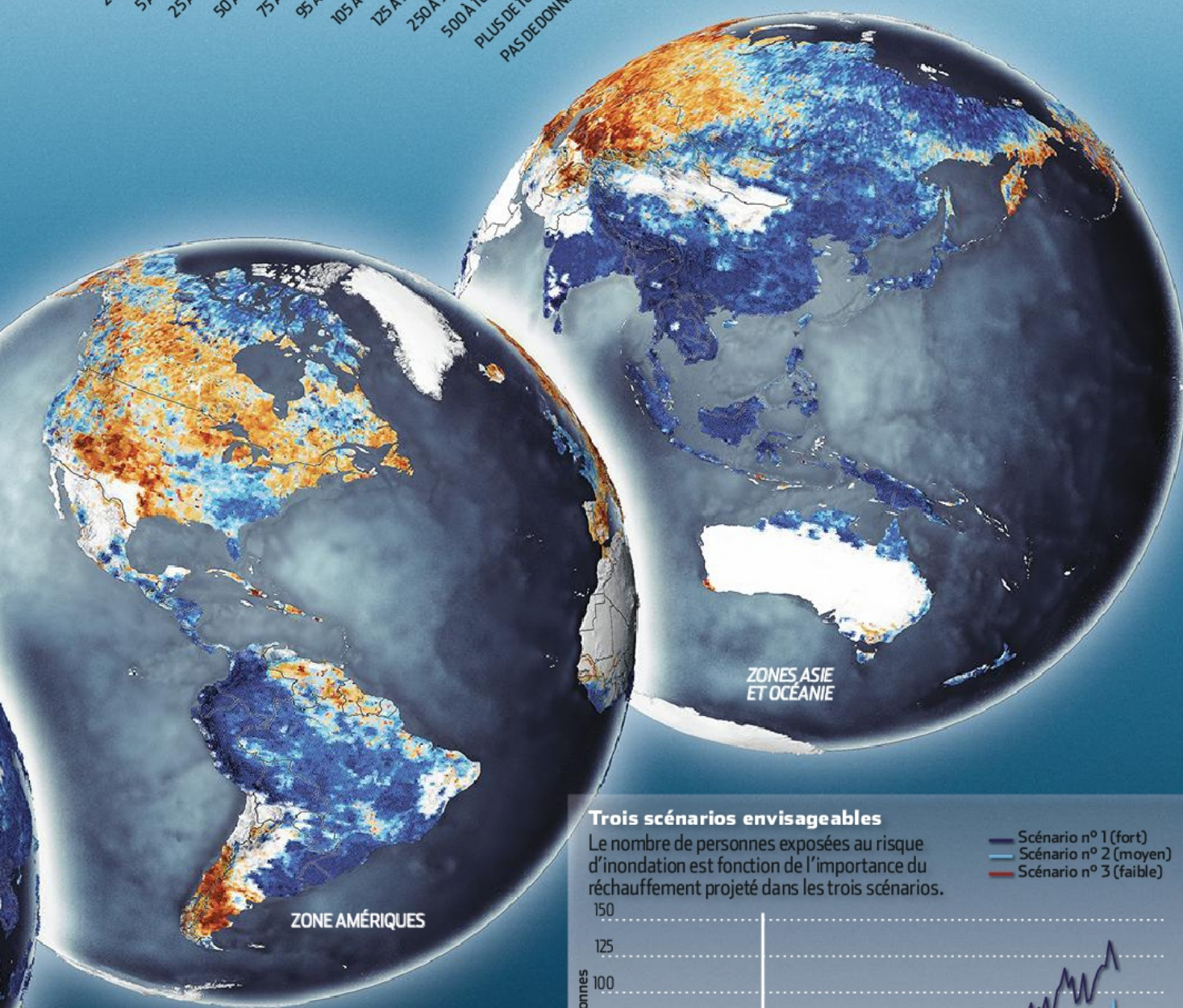
VOICI OÙ LA FRÉQUENCE DES INONDATIONS SERA MODIFIÉE EN 2100

Le changement climatique aura un impact sur le risque d'inondation très différent selon les régions du monde. C'est ce qui ressort des travaux de Yukiko Hirabayashi et de son équipe (université de Tokyo, Japon), qui viennent de dresser une carte de la fréquence des crues à l'horizon 2100. D'après cette étude, 42 % des surfaces continentales risquent d'être plus souvent inondées qu'aujourd'hui, et seulement 18 % moins souvent. L'incertitude règne sur les 40 % restants. L'Asie du Sud-Est, l'Afrique centrale, et l'Amérique latine seront en première ligne : dans certaines zones, des crues jusqu'ici observées une fois par siècle seraient susceptibles de se produire tous les deux à cinq ans ! A l'inverse, dans une grande partie de l'Europe et dans le centre des Etats-Unis, ces crues qualifiées aujourd'hui de centennales ne devraient plus se produire que tous les 125 à 1 000 ans. Les chercheurs ont également évalué le rapport entre la hausse de la température moyenne du globe et le nombre de personnes exposées au risque d'inondation : une augmentation de 2 °C à 4 °C d'ici à 2100 ferait de 27 à 63 millions de victimes potentielles des caprices des fleuves. **G.S.**



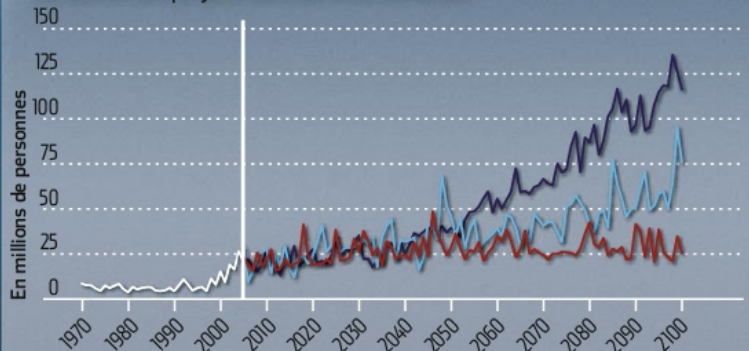
Fréquence de retour des crues centennales

(en années, et selon le scénario le plus fort)



Trois scénarios envisageables

Le nombre de personnes exposées au risque d'inondation est fonction de l'importance du réchauffement projeté dans les trois scénarios.



SOURCE: NATURE CLIMATE CHANGE

30 % d'augmentation du débit des rivières est prévue dans les zones où les crues vont être plus fréquentes.

20 ans, c'est la fréquence de retour des crues d'intensité centennale pour le Rhin en 2100.

1,2 % de la population sera inondée, chaque année, contre 0,1 % aujourd'hui.

BIODIVERSITÉ

L'ÉVOLUTION EST DÉPASSÉE PAR LE RÉCHAUFFEMENT

Incapables d'évoluer suffisamment vite pour s'adapter au changement climatique en cours, de nombreuses espèces de vertébrés risquent de disparaître. C'est le triste constat établi par Ignacio Quintero et John Wiens, des universités Yale et d'Arizona (Etats-Unis). Si on soupçonnait déjà cette tension, les chercheurs l'ont mesurée précisément, en calculant la rapidité à laquelle des espèces appartenant aux principaux groupes de vertébrés terrestres se sont adaptées à de nouvelles conditions climatiques. Ils ont pour cela sélectionné 270 paires d'espèces sœurs, très proches évolutivement. Chaque couple devait

répondre à deux critères : vivre sous des climats différents et avoir un ancêtre commun d'âge connu. Les scientifiques ont ainsi pu estimer le temps mis par chaque espèce pour évoluer sous de nouveaux climats. Les résultats sont sans appel : en moyenne, il faut plus d'un million d'années à une espèce pour s'accommoder d'un changement de température de 1°C. Or, d'ici à 2100, le Groupe intergouvernemental sur l'évolution du climat prévoit une hausse globale de 4 °C. Les vertébrés devront donc évoluer de 10 000 à 100 000 fois plus vite qu'ils ne l'ont fait jusqu'ici pour supporter ce changement... L.C.



▲ Comme certains vertébrés, cette salamandre tachetée risque de ne pas avoir le temps de s'adapter à un climat plus sec.

5,5 ans

C'est ce qu'ont perdu en espérance de vie les habitants du nord de la Chine du fait de l'utilisation massive de charbon. Selon Yuyu Chen, de l'université de Pékin, c'est le résultat de livraisons gratuites de ce combustible pour le chauffage de 1950 à 1980. La concentration en particules fines dans l'air y aurait ainsi été 55 % plus élevée qu'au Sud, provoquant des maladies cardio-respiratoires. S.F.

AGRICULTURE

Teinté, le colza éloigne les insectes

Verra-t-on au printemps des champs de colza rouge vif ? Des biologistes anglais ont eu l'idée de teindre des fleurs de colza à l'aide de colorants alimentaires de différentes couleurs pour mesurer l'attractivité de ces fleurs sur le mélégière, parasite attiré par leur couleur jaune. Surprise : les insectes dédaignent les fleurs aux pétales rouges ! Voilà une stratégie écologique de lutte contre ce ravageur devenu résistant aux traitements conventionnels qui pourrait bien séduire les agriculteurs français.

E.H.



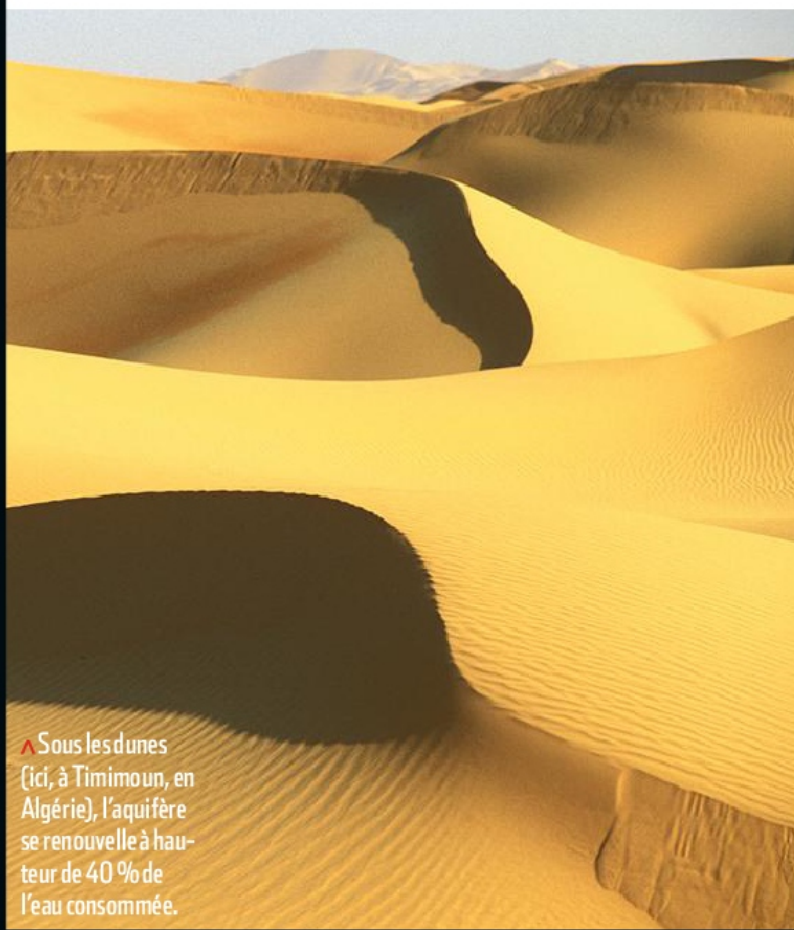


HYDROLOGIE

SOUS LE SAHARA, UNE NAPPE D'EAU FOSSILE SE RÉGÈNÈRE

Qui l'eût cru ! Dans le sous-sol du Sahara, entre l'Algérie, la Tunisie et la Libye, dorment près de 30000 milliards de mètres cubes d'eau, répartis sur une surface grande comme deux fois la France. Un immense réservoir d'eau gisant à des centaines de mètres sous la surface depuis des centaines de milliers d'années. On pensait ces réserves fossiles, c'est-à-dire non renouvelables, comme le charbon ou le pétrole ; il n'en est rien. L'équipe de Julio Gonçalves (Institut de recherche pour le développement) vient de démontrer, à grand renfort d'images satellite, qu'une partie de ces nappes étaient en fait réapprovisionnées. Malgré les faibles pluies et l'intense évaporation dans la région, 1,4 milliard de mètres cubes d'eau s'infiltrent chaque année dans le sous-sol. C'est peu à l'échelle du système aquifère, mais cela représente 40 % des volumes prélevés annuellement pour l'agriculture, le tourisme, l'industrie ou la vie des oasis du nord du Sahara. *"Ces apports ne compensent pas les prélèvements effectués, expliquent les géologues. Mais cette recharge significative permet d'envisager une gestion durable de l'aquifère, principale ressource en eau des régions semi-arides de l'Algérie et de la Tunisie."*

E.H.



▲ Sous les dunes (ici, à Timimoun, en Algérie), l'aquifère se renouvelle à hauteur de 40 % de l'eau consommée.

G.C. MERKE / VISUALS UNLIMITED / BSIP - FOTOLIA - BSIP / UIG VIA GETTY

GÉOPHYSIQUE

PROTÉGÉ PAR SON GLACIER, LE MONT BLANC S'ÉLÈVE

Haut de 4810 m, le mont Blanc pourrait encore gagner en altitude grâce au glacier des Bossons qui protège son sommet de l'érosion: voici ce que révèle une étude menée par Jean-François Buoncristiani, de l'université de Bourgogne. *"La particularité de cette montagne, c'est qu'en fonction de l'altitude, les roches ne sont pas du même type ni de la même période",* explique le chercheur. En analysant les sédiments

transportés par le glacier et retrouvés dans les torrents en contrebas, les scientifiques ont pu déterminer leurs origines et quantifier l'érosion sous-glaciaire de la face nord du mont Blanc. Résultat: 16 % d'érosion en moins sous la glace froide du sommet que sous la glace tempérée située plus bas. Grâce à cet effet protecteur, le mont Blanc pourrait atteindre *"5 000 m dans 200 000 ans,* estime le scientifique. *Mais à la longue, ce*

bouclier est amené à disparaître." Avec l'augmentation des températures, l'effet protecteur va diminuer en même temps que la zone de glace froide. Et même dans un scénario sans réchauffement, l'augmentation du relief va rendre les pentes de la montagne plus abruptes, ce qui pourrait entraîner un décrochage des glaciers plus rapide. *"Le mont Blanc ne fera jamais 8 000 m",* conclut Jean-François Buoncristiani. **M.S.**

ÉCOLOGIE

LE CRABE ROYAL N'A JAMAIS QUIT

Le crabe royal est-il vraiment un envahisseur menaçant la faune de l'Antarctique? Pas si sûr... Depuis la découverte, il y a trois ans, de millions d'individus au fond de l'océan Austral, on soupçonnait ce géant de

profiter du réchauffement pour coloniser une région qu'il aurait quittée il y a 15 à 40 millions d'années. Mais l'étude pilotée par Huw Griffiths, du British Antarctic Survey, qui a compilé plus de 16 000 enregistrements de crabes et de homards, suggère plutôt leur présence durable au pôle Sud. *"Plutôt*





« Au sommet du mont Blanc, le glacier des Bossons constitue un bouclier contre l'érosion.

TÉ L'ANTARCTIQUE

que d'avoir disparu, [puis] récemment envahi l'Antarctique depuis l'extérieur, le crabe royal a probablement persisté sur le talus continental de l'Antarctique, écrivent les auteurs. Nous concluons qu'il n'y a pas de preuve pour une invasion moderne de crabes. Voilà le crustacé réhabilité.

R.B.

LES DÉCHETS PLASTIQUES ABRITENT DES ÉCOSYSTÈMES

Une riche vie microbienne prolifère sur le nouvel écosystème, baptisé "plastisphère", découvert par Erik Zettler (Woods Hole Oceanographic Institution) dans l'Atlantique Nord : un seul micro-déchet peut abriter plus d'un millier d'espèces. Reste à déterminer leur interaction avec les écosystèmes marins. S.F.

LES FUSÉES FABRIQUENT DES NUAGES

La prolifération des nuages de glace dans la mésosphère (de 50 à 100 km d'altitude) au-dessus des pôles serait en partie due aux rejets d'eau par les moteurs des fusées – et précédemment des navettes –, d'après David Siskind (Naval Research Laboratory). S.F.

LES BALEINES BLEUES FUIENT LES SONARS

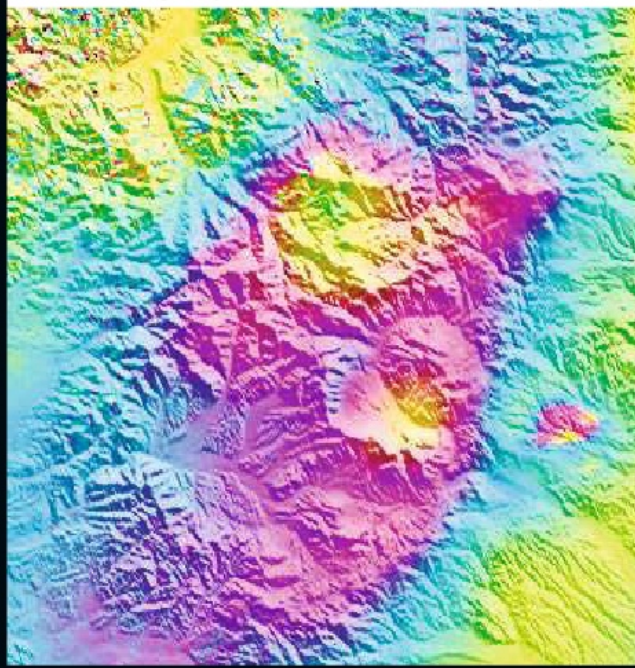
On savait, sans pour autant comprendre par quel mécanisme, que les sonars militaires étaient à l'origine d'échouages de cétacés. Des océanographes viennent de montrer qu'en réponse à cette pollution sonore, les baleines bleues arrêtent de s'alimenter, augmentent leur vitesse ou changent leur direction de nage. M.S.

SISMOLOGIE

CERTAINS SÉISMES FONT SOMBRE LES VOLCANS

Les grands séismes sont décidément de grands agitateurs. Les scientifiques avaient déjà remarqué, après un tremblement de terre, des déformations du sol, des anomalies thermiques, des changements hydrologiques, ou même des éruptions volcaniques. On sait aujourd'hui qu'ils peuvent aussi faire s'affaïsser des volcans... C'est ce qu'ont montré deux équipes de géophysiciens de part et d'autre de l'océan Pacifique. À l'aide d'images satellite, ces chercheurs ont mis en évidence, au Chili et au Japon, des affaissements consécutifs, respectivement, au séisme de Maule en 2010 (de magnitude 8,8), et à celui de Tohoku-Oki en 2011 (de magnitude 9). La forme elliptique et l'intensité de l'enfoncement – de 5 à 15 cm pour des zones de 15-20 km de longueur –, sont similaires dans ces deux régions du globe. Ce qui suggère que les mécanismes mis en œuvre sont les mêmes. Pourtant, les explications données diffèrent. Pour les chercheurs japonais, la chambre magmatique des volcans aurait coulé quasi instantanément lors du séisme à la suite de la déformation des roches l'entourant, fragilisées par la température. L'équipe américano-chilienne, elle, suppose que la formation de nombreuses petites fractures a permis aux fluides hydrothermaux de s'échapper, provoquant l'affaissement des volcans. C.L.

▼ La zone d'affaissement après le séisme de Tohoku-Oki correspond bien à la chambre magmatique du Kurikoma, sur l'île d'Honshu (Japon).



A.COOPER / BIOS - SPL / COSMOS - NATURE

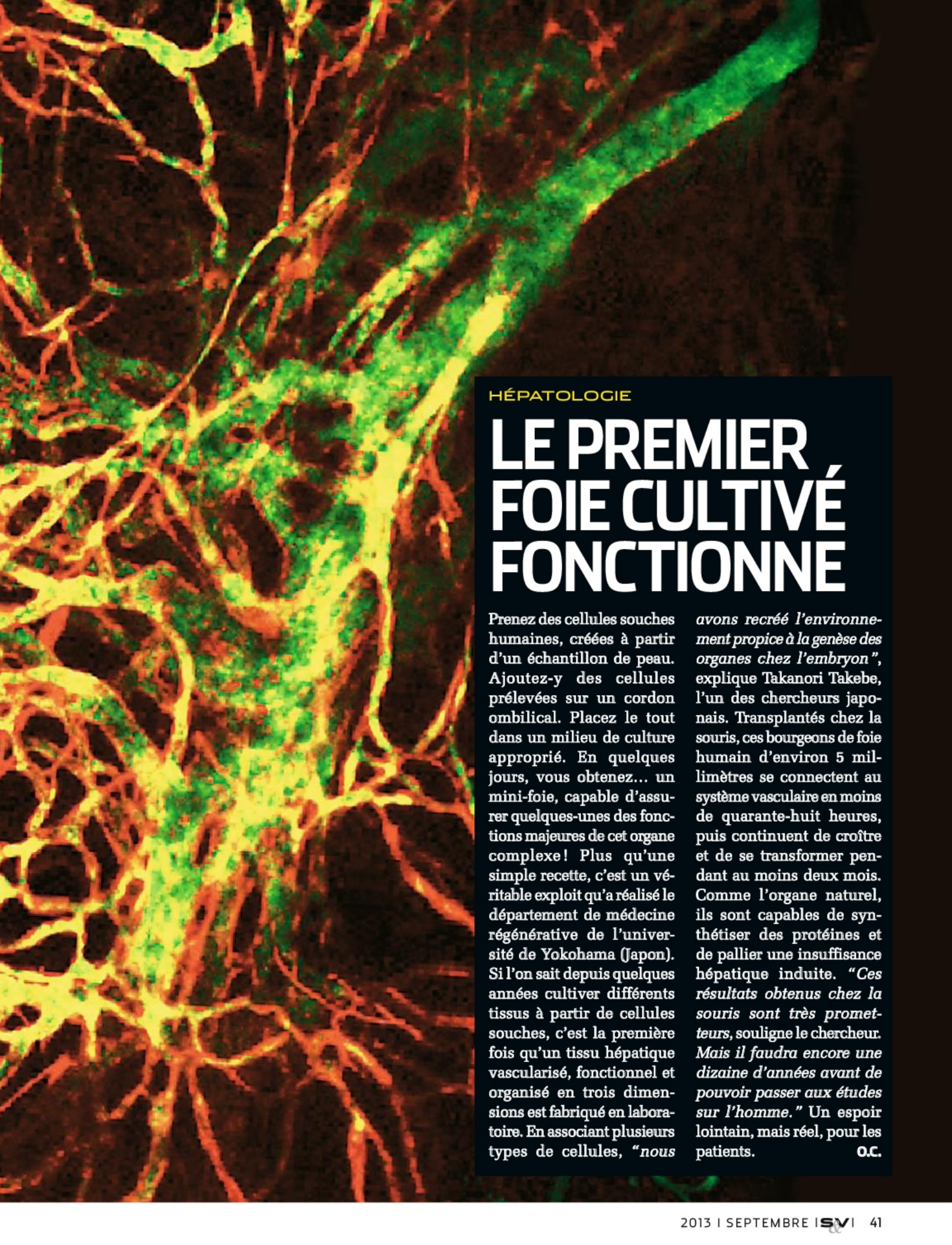
actus médecine

YOKOHAMA CITY UNIVERSITY GRADUATE SCHOOL OF MEDICINE



▲ C'est une grande première : un mini-foie humain, cultivé à partir de cellules souches et possédant son propre système vasculaire (ci-dessus)...

< ... a été greffé à des souris. Chaque organe de 5 mm (en rose dans les boîtes) s'est révélé fonctionnel.



HÉPATOLOGIE

LE PREMIER FOIE CULTIVÉ FONCTIONNE

Prenez des cellules souches humaines, créées à partir d'un échantillon de peau. Ajoutez-y des cellules prélevées sur un cordon ombilical. Placez le tout dans un milieu de culture approprié. En quelques jours, vous obtenez... un mini-foie, capable d'assurer quelques-unes des fonctions majeures de cet organe complexe ! Plus qu'une simple recette, c'est un véritable exploit qu'a réalisé le département de médecine régénérative de l'université de Yokohama (Japon). Si l'on sait depuis quelques années cultiver différents tissus à partir de cellules souches, c'est la première fois qu'un tissu hépatique vascularisé, fonctionnel et organisé en trois dimensions est fabriqué en laboratoire. En associant plusieurs types de cellules, "nous

avons recréé l'environnement propice à la genèse des organes chez l'embryon", explique Takanori Takebe, l'un des chercheurs japonais. Transplantés chez la souris, ces bourgeons de foie humain d'environ 5 millimètres se connectent au système vasculaire en moins de quarante-huit heures, puis continuent de croître et de se transformer pendant au moins deux mois. Comme l'organe naturel, ils sont capables de synthétiser des protéines et de pallier une insuffisance hépatique induite. "Ces résultats obtenus chez la souris sont très prometteurs, souligne le chercheur. Mais il faudra encore une dizaine d'années avant de pouvoir passer aux études sur l'homme." Un espoir lointain, mais réel, pour les patients. **O.C.**

HÉMATOLOGIE

S'IL EST MALADE, LE SANG ÉMET UN SON DIFFÉRENT

Une nouvelle méthode permet de connaître l'état de santé des globules rouges (hématies)... rien qu'en les écoutant! Ou plutôt, en écoutant leurs réponses au laser d'un microscope photo-acoustique. Très précis, son faisceau est capable de cibler une seule hématie. Le globule frappé absorbe l'énergie lumineuse du tir et émet en retour un ultrason, enregistré à l'université Ryerson de Toronto (Canada). Eric Strohm et ses collègues ont d'abord utilisé un détecteur très sensible pour écouter les hématies normales, puis ont modifié le milieu de culture pour les déformer progressivement. Leurs résultats montrent que

le "chant" des globules varie selon leur morphologie: les ultrasons d'une hématie normale ne sont pas ceux d'une hématie gonflée, ou hérissée de spicules (picots)... Or, ces conformations atypiques sont souvent signes de maladie. Cirrhoses, troubles cardiaques, paludisme et autres anémies falciformes pourraient ainsi être facilement détectés. Automatisable, rapide et sensible, la méthode doit encore être validée en conditions réelles. Mais déjà, ses concepteurs rêvent d'un diagnostic précis établi en quelques secondes à partir d'une goutte de sang, en remplacement des techniques existantes, lentes et fastidieuses. **L.C.**

▲ Les globules rouges sains (ci-dessus) renvoient des ultrasons différents de ceux des globules déformés par une maladie.



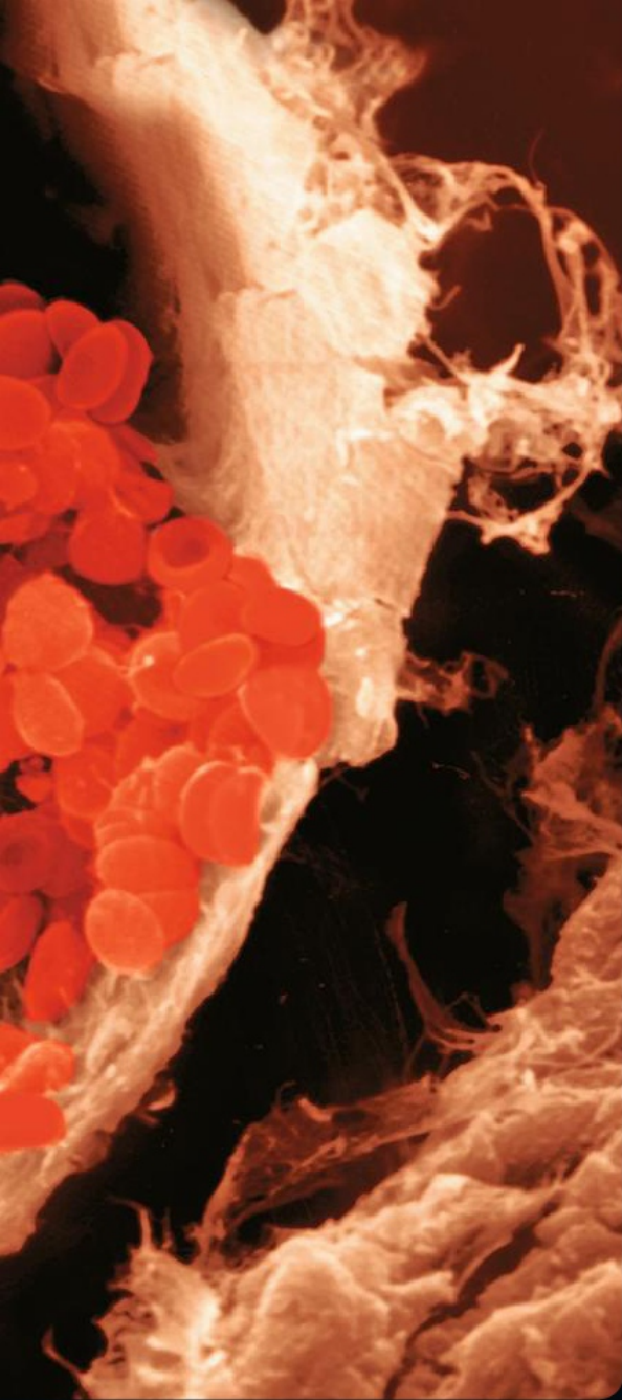
IMMUNOLOGIE

L'ECZÉMA RENFORCE LE RISQUE D'ALLER

L'eczéma augmente le risque de futures allergies alimentaires.

Ce lien, longtemps suspecté chez l'animal, est pour la première fois mis en avant chez l'humain. Une équipe anglaise a recherché la présence d'eczéma chez 619 enfants allaités âgés de

3 mois, puis les a exposés à des allergènes alimentaires classiques, comme le lait de vache, l'œuf ou la cacahuète. Résultat: plus les enfants ont d'eczéma, plus ils réagissent aux tests cutanés. L'effet protecteur de la peau étant amoindri, les cellules immunitaires cutanées sont



UN PACEMAKER POUR BAISSER LA TENSION

Une équipe de médecins lyonnais a implanté un stimulateur capable de réguler la tension artérielle au niveau des artères carotides d'un homme souffrant d'hypertension, une première en France. Cette intervention s'adresse aux 5 à 10 % de patients hypertendus et résistants aux médicaments. **M.S.**

OBÉSITÉ : MEXIQUE ET AFRIQUE DU SUD EN TÊTE

Deux pays viennent de passer devant les États-Unis pour la proportion d'obèses dans leur population. Selon le dernier rapport de la Food and Agriculture Organization, l'Afrique du Sud et le Mexique affichent respectivement 33,5 % et 32,8 % d'adultes obèses contre 31,8 % pour les Américains. **M.S.**

PRISE DE SANG ET CHOC SEPTIQUE

Parce qu'une infection peut se généraliser et conduire à un choc septique souvent mortel, une équipe américaine propose un test sanguin pour prédire ces décès. La technique est basée sur l'analyse de la composition sanguine en protéines et petites molécules. **M.S.**

GIE ALIMENTAIRE

davantage exposées, et ce, dès la naissance. Au moment de la diversification alimentaire, le système immunitaire de ces enfants est déjà hypersensibilisé. L'allergie alimentaire naîtrait donc au niveau de la peau, et non de l'intestin. **M.S.**



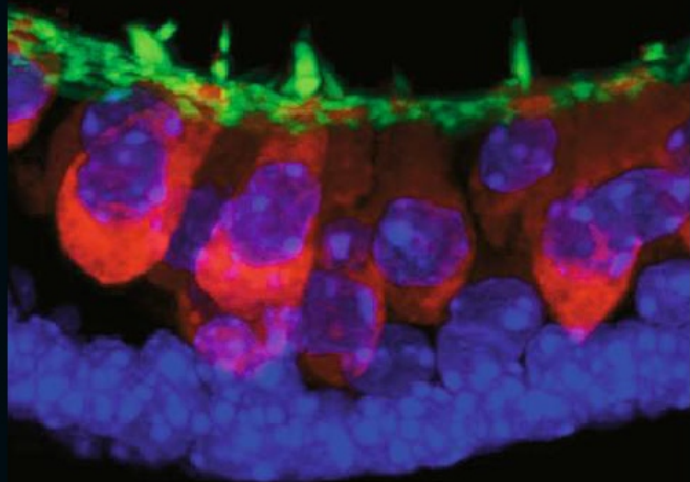
GÉNÉTIQUE

L'EXERCICE MET EN SOURDINE DES GÈNES DU DIABÈTE

Les bénéfices du sport sur le métabolisme sont de mieux en mieux connus (voir p. 122), mais des chercheurs suédois sont allés plus loin : une équipe de l'université de Lund vient de montrer que l'exercice physique pourrait avoir une influence bénéfique sur l'expression des gènes à l'intérieur des cellules adipeuses. Ils ont étudié l'ADN de ces cellules chez 23 hommes habituellement peu actifs, avant et après six mois d'activité physique. A la sortie de l'expérience, la méthylation de leur génome, un phénomène qui régule la transcription des gènes en protéines, était modifiée. Des gènes potentiellement impliqués dans l'obésité et le diabète de type 2, notamment, seraient mis en sommeil par le sport. *"Nous allons mener d'autres études pour mieux comprendre la relation entre la méthylation de l'ADN, l'expression des gènes dans les tissus et le développement des maladies",* précise l'épigénéticienne Tina Rönn.

H.R.

✓ Indispensables au fonctionnement de l'oreille interne, ces cellules ciliées (en rouge et vert) ont été recrées pour la première fois en laboratoire.



OTORHINOLARYNGOLOGIE

ON POURRAIT ENFIN RÉPARER L'OREILLE INTERNE

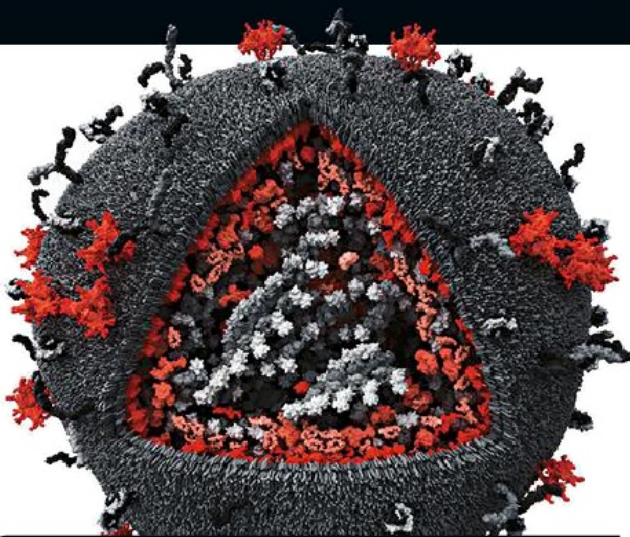
Une fois endommagés par un traumatisme sonore ou par certains médicaments, les composants de l'oreille interne ne se régénèrent pas spontanément, provoquant ainsi des troubles irréversibles de l'équilibre ou de l'audition. Jusqu'à présent, les tentatives de recréer ces cellules avaient toutes échoué. Mais les neuroscientifiques s'en approchent, grâce aux cellules souches. A l'école de médecine de l'université d'Indiana (Etats-Unis), une équipe de chercheurs a réussi à recréer en laboratoire une oreille interne de souris, ouvrant ainsi la voie à de potentiels futurs traitements sur l'homme. Pour

cela, ils ont transformé des cellules souches embryonnaires de l'animal en cellules ciliées de l'oreille interne, responsables de la détection des sons et du sens de l'équilibre. "Nous avons observé les mécanismes qui forment les cellules ciliées chez l'animal, et exposé nos cellules souches aux mêmes contraintes chimiques, explique la chercheuse Eri Hashino, qui a dirigé les recherches. Les résultats ont été bien au-delà de nos espérances, puisque les cellules ciliées créées ont d'elles-mêmes évolué pour former différents types de cellules de l'oreille interne." Enfin une piste pour une toute première thérapie. **S.D.**

CANCÉROLOGIE

Un modèle mathématique aide à combattre les tumeurs

Des chercheurs américains et autrichiens ont élaboré un modèle mathématique prédisant les effets des traitements sur les tumeurs cancéreuses en fonction de leur patrimoine génétique. Dans le cas de mélanomes et de cancers du pancréas ou du colon, il montre que pour éviter les résistances, il faut non seulement employer plusieurs médicaments spécifiques visant des cibles cellulaires variées, mais aussi les administrer simultanément, faute de quoi l'échec est inévitable. **L.C.**



VIROLOGIE

UN NOUVEL ESSAI DE GREFFE A ENRAYÉ LE VIH

Quelques mois après une greffe de moelle osseuse réalisée à Boston, deux personnes séropositives conservent encore un taux de virus indétectable dans le sang, alors qu'elles ont arrêté les antirétroviraux. Mieux : les réservoirs du VIH (stock de virus dormants qui empêchent la guérison) sont eux aussi indétectables. De premiers résultats encourageants, s'ils se maintiennent. La méthode utilisée à Boston est plus facilement reproductible que celle qui a guéri un patient à Berlin en 2008 (voir S&V n° 1135, p. 102) ; la moelle ne venant pas, cette fois, d'un donneur particulièrement résistant au VIH (moins de 1 % de la population). **R.P.**

LA FRANCE EST DE NOUVEAU ACCRO AUX ANTIBIOS

Par Caroline Tourbe

C'est reparti ! La France replonge dans les antibiotiques. Poudres, sirops, gélules, comprimés... La consommation de médicaments repart à la hausse. Dans son dernier rapport, basé sur les chiffres de l'année 2012, l'Agence nationale de sécurité du médicament et des produits de santé indique en effet une augmentation de 5 % sur les quatre dernières années. Un étonnant renversement de tendance, quand on sait que depuis le tournant du XXI^e siècle, nous étions enfin partis sur la bonne voie : -16,5 % entre 2000 et 2008. Voilà donc le pays de Pasteur retombé dans ses vieux travers : surconsommer des médicaments efficaces pour lutter contre les infections bactériennes, y compris en les utilisant, très souvent, à contre-emploi lors d'infections virales.

Certes, la France ne détient plus le record européen du plus gros consommateur d'antibiotiques, titre auquel elle pouvait prétendre jusqu'au début des années 2000. Devant elle, désormais, on trouve la Grèce, la Belgique et le Luxembourg. Mais elle reste encore très au-dessus de la moyenne européenne. C'est simple, il faudrait diminuer de 25 % les prescriptions pour espérer enfin atteindre le milieu du tableau ! Or, cette attitude désinvolte nous expose, et par ricochet nos voisins européens également, à l'émergence de bactéries résistantes aux traitements. En effet, selon un mécanisme biologique bien connu, plus un antibiotique est utilisé, plus les microbes apprennent à lui résister. En Europe, 25000 décès par an sont liés à des infections bactériennes résistantes, contre lesquelles on ne dispose plus de traitement efficace... Un chiffre qui devrait être multiplié par dix dans dix ans, selon le Centre européen de prévention et de contrôle des maladies. Mais si les conséquences néfastes de la surconsommation sont à ce point connues, pourquoi la demande repart-elle à la hausse en France, après une nette amélioration ? Que s'est-il passé ?



Il y a d'abord eu l'arrêt d'une campagne d'information dont le slogan – "Les antibiotiques, c'est pas automatique !" – avait réussi à marquer les esprits. Un peu plus de cinq ans après sa fin, son effet s'est sérieusement émoussé... Et aucun message aussi efficace n'est venu le remplacer. Voilà pour le grand public. Du côté des médecins ? On peut incriminer le quasi-abandon des tests de diagnostic rapide des angines, à partir du moment où l'assurance-maladie a cessé d'organiser des sessions de sensibilisation. Ces examens permettaient de différencier les infections provoquées par des bactéries de celles provoquées par des virus. Combien de parents continuent d'exiger des antibiotiques pour un simple rhume, persuadés que sans cela leur enfant ne guérira pas ? Et si les pharmaciens ont désormais le droit de pratiquer ces tests, on imagine mal comment ils arriveront à faire renoncer à sa prescription un malade qui sort d'un cabinet médical armé de son ordonnance.

Mais, surtout, depuis le mois d'avril, il n'y a plus de pilote dans l'avion. Le comité de suivi du Plan antibiotiques, autrement dit l'instance chargée de surveiller et de mettre en musique les campagnes de réduction de la consommation de médicaments sur tout le territoire, a tout simplement... disparu, victime collatérale d'un plan d'économies, comme près de cent autres commissions dans tous les domaines. Pour les infectiologues qui regardent les courbes de consommation remonter avec inquiétude, c'est le coup de massue final. Si la pertinence économique d'une telle décision est sans doute valable à court terme, à long terme, nous risquons tous d'en payer le prix.

LE COMITÉ DE SUIVI DU PLAN ANTIBIOTIQUES A PUREMENT ÉTÉ... SUPPRIMÉ

■ S. AQUINDO

Pour la vie sur Mars, on ne sait pas encore. Pour les cinq vies du papier, c'est sûr.

La force de tous les papiers, c'est de pouvoir être recyclés
au moins cinq fois en papier. Cela dépend de chacun de nous.
www.recyclons-les-papiers.fr

Tous les papiers ont droit à plusieurs vies.
Trions mieux, pour recycler plus !

Votre magazine agit pour le recyclage
des papiers avec Ecofolio.



POURQUOI LE CANCER TUE DAVANTAGE LES PLUS DÉFAVORISÉS

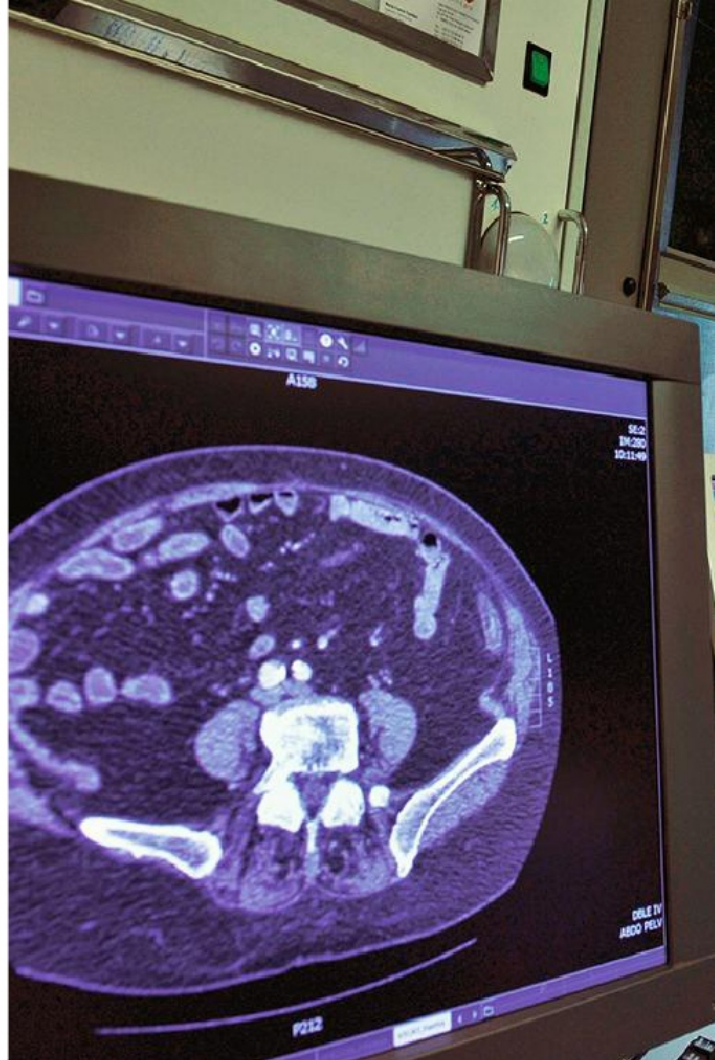
Plus touchées par le cancer, les catégories socioprofessionnelles les moins élevées ont également un taux de survie plus faible. Une prévention ciblée devrait permettre de réduire les écarts.

Le Plan cancer 2009-2013 a fait de la lutte contre les inégalités face au cancer l'une de ses priorités. Le constat est en effet implacable : au bas de l'échelle sociale – que ce soit en termes de niveau d'études, de revenus ou de catégorie socioprofessionnelle – on est plus souvent victime du cancer et on en meurt plus. Pis, les écarts se creusent. Dans les années 1970, le risque de mourir d'un cancer était 1,5 fois plus élevé chez les personnes ayant un niveau d'étude faible par rapport aux plus diplômées. Aujourd'hui, ce chiffre s'élève à 2,5 ! Et en la matière, notre pays fait figure de très mauvais élève. *“La France est un des pays d'Europe de l'Ouest où les inégalités de mortalité par cancer sont les plus importantes”*, écrivaient les chercheurs de l'Institut national du cancer (Inca) dans un rapport de 2012. Un exemple ? Pour les cancers des voies aérodi-

gestives (cavité buccale, larynx, pharynx), l'écart de mortalité entre le haut et le bas de l'échelle sociale est deux fois plus important en France qu'en Belgique ou au Danemark. Un constat d'autant plus étonnant qu'il concerne un pays souvent vanté pour la qualité et l'accessibilité de son système de santé. Comment de telles inégalités ont-elles pu perdurer, et même se renforcer au fil des ans ?

LA PRÉVENTION POUR TOUS PROTÈGE INÉGALEMENT

“La prévention, le dépistage ont probablement bénéficié de façon plus importante aux catégories les plus favorisées”, avance l'Institut dans son étude. Autrement dit, le message est bien passé dans les classes supérieures, beaucoup moins dans les autres. Ce qui a renforcé les écarts. Le Plan cancer prévoit donc de mettre en place des campagnes



d'information mieux ciblées. Certains facteurs de risque, précisément liés au monde du travail, devront aussi être pris en compte : on sait que, parmi les salariés exposés aux cancérigènes en milieu professionnel, 70 % sont des ouvriers.

Et même les exceptions, comme le cancer du sein, finissent par se conformer à la règle de l'inégalité sociale. Les études épidémiologiques montrent que les femmes les plus aisées ont 1,6 fois plus de risques de développer une tumeur. La raison principale de cette différence ? Des grossesses plus tardives et un nombre moins élevé d'enfants, deux facteurs de risque connus de ce type de cancer. Pourtant, on s'aperçoit que les plus aisées présentent également le meilleur taux de survie à la maladie. Pas de doute, en ce qui concerne le cancer, la pauvreté tue. **M.S.**

REPÈRES

La France a compté **148 378** décès par cancer en 2012, dont 57 % chez l'homme et 43 % chez la femme. Depuis **2005**, le taux de mortalité par cancer (en s'affranchissant des effets de l'augmentation de la population et de son vieillissement) a diminué de **2,9 %** par an chez l'homme et de **1,4 %** par an chez la femme.

P. ALLARD / REA

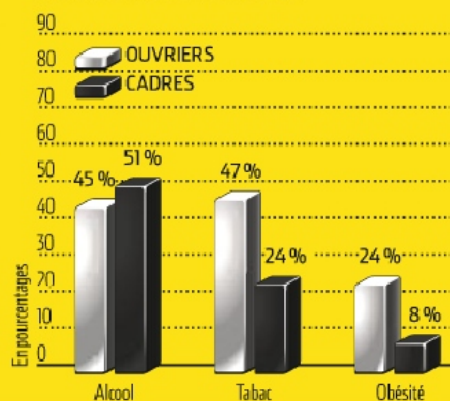


CLÉ N° 1

Les inégalités face aux facteurs de risque...

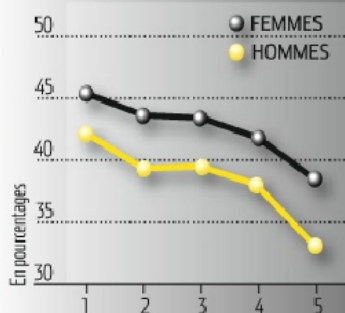
Alcool, tabac, surpoids... Sur les trois principaux facteurs de risque, les deux derniers concernent particulièrement les catégories peu aisées. Quant au premier, même si plus de cadres consomment de l'alcool, les ouvriers se situent non loin derrière. De plus, les idées fausses (seuls les alcools forts et l'ivresse sont dangereux) restent plus prégnantes parmi les moins diplômés.

Part de la population concernée exposée aux facteurs de risque



CLÉ N° 2

Taux de participation au dépistage en fonction de l'indice de désavantage social



... aux campagnes de dépistage...

Pourtant gratuites, les campagnes nationales de dépistage (cancer du sein, cancer colorectal) attirent davantage les catégories sociales les plus aisées. En Isère, la différence de participation au dépistage des cancers colorectaux est de 29 % entre les zones de résidence les plus aisées et les plus précaires. A noter que les femmes y adhèrent plus que les hommes.

▲ Des campagnes ciblées sont indispensables pour améliorer le dépistage, notamment du cancer du sein, aujourd'hui diagnostiqué plus tôt, et donc avec davantage de chances de survie, chez les femmes des milieux plus aisés.

CLÉ N° 3

... et à l'accès aux soins...

Etre bien soigné dépend aussi de son lieu de résidence. En France, la répartition géographique des oncologues, médecins spécialisés dans l'étude, le diagnostic et le traitement du cancer, est inégale. Les cinq régions présentant les plus faibles densités de spécialistes sont parmi les régions de France ayant le plus fort taux de pauvreté. Par contre, la part d'activité dédiée à la cancérologie par les autres spécialistes est difficile à évaluer.

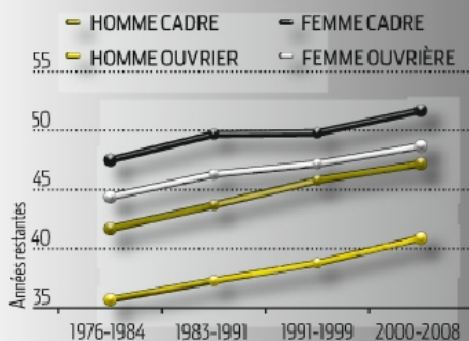


Densité de cancérologues par région au 1^{er} janvier 2012

Densité pour 100 000 habitants

- 1,25 à 1,93
- 0,95 à 1,24
- 0,69 à 0,94
- 0,32 à 0,68

Espérance de vie à 35 ans (en années restantes)




CLÉ N° 4

... renforcent les écarts entre classes sociales en matière d'espérance de vie

La mortalité par cancer pèse pour 30 % dans la mortalité totale en France. Son impact sur l'espérance de vie est donc important. Même si toutes les catégories sociales ont profité de l'amélioration de leur espérance de vie, les écarts entre cadres et ouvriers se sont maintenus. Et les démographes ne prévoient pas que cela disparaisse. L'inégalité entre les sexes, elle aussi, se maintient : les femmes vivent plus longtemps que les hommes, quel que soit leur groupe social.

actus technos



➤ Google vient de tester son "projet dingue" en Nouvelle-Zélande : lâchés à une vingtaine de kilomètres d'altitude, des ballons équipés d'antennes radio connecteront à Internet les régions les plus isolées du monde.

J. SHENK/EPA



COMMUNICATIONS

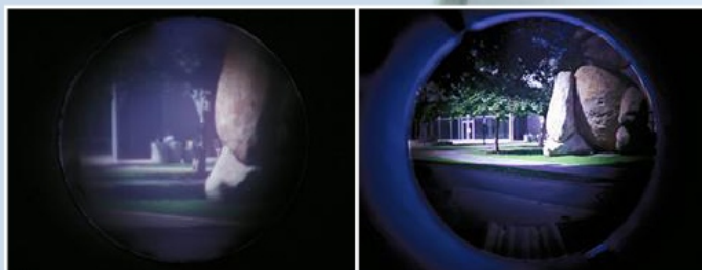
DANS LES ZONES REÇULÉES, LE WEB ARRIVE EN BALLON

Internet pour tous, même dans les endroits les plus isolés du monde. C'est le défi qu'espère relever Google avec son "Project Loon" ("projet dingue"). L'idée? Couvrir les régions du globe peu peuplées et dépourvues d'accès au Web en envoyant dans les airs des ballons de 15 m de diamètre équipés d'antennes radio... au lieu

d'installer des câbles. Ils agiraient comme des ponts de plusieurs centaines de kilomètres entre l'antenne de l'utilisateur et la station connectée à Internet la plus proche. Google prévoit d'envoyer ses ballons dans la stratosphère, entre 18 et 27 km d'altitude. Ceci pour ne pas gêner les avions, et afin que les ballons puissent profiter des vents réguliers

présents à cette altitude pour se repositionner. Le géant du Net mise sur des algorithmes déterminant l'altitude que chaque ballon doit rejoindre pour profiter des différents courants et s'installer à l'emplacement assurant la continuité du réseau. Pour cela, les ballons peuvent être gonflés ou dégonflés, afin de monter ou descendre. Équipées

de panneaux solaires, ces antennes mobiles délivreront un débit équivalent à la 3G sur une zone au sol de 40 km de diamètre. Elles tiendront plus de cent jours en l'air, avant de devoir redescendre pour maintenance. Un premier test a été mené avec succès en juin dernier en Nouvelle-Zélande, où 30 ballons ont été déployés. **G.S.**



OPTIQUE

UNE LENTILLE AVEC ZOOM EST À L'ESSAI

Vous rappelez-vous cette scène dans laquelle Superman zoome avec son œil pour repérer les bandits, à plusieurs centaines de mètres ? Des chercheurs suisses et californiens pourraient bientôt mettre ce superpouvoir à notre portée : ils ont développé une lentille de contact pourvue d'un zoom intégré ! Cette lentille en polyméthacrylate de méthyle innove car elle est assez fine (à peine plus d'un millimètre d'épaisseur) pour être portée et ne nécessite pas de chirurgie. Elle grossit près de trois fois tout objet présent dans le champ de vision. Le mécanisme est proche de celui d'un télescope : sur le pourtour de la

lentille sont intégrés de minuscules miroirs, chargés de dévier la lumière afin de projeter sur la rétine une image 2,8 fois plus grande. Pour l'instant, le prototype fonctionne avec une paire de lunettes 3D qui permet d'activer la fonction "zoom". Cette "prothèse" intéresse à des fins militaires l'Agence américaine pour les projets de recherche avancée de défense (Darpa), qui a financé en partie ces travaux. A terme, elle pourrait aussi aider les victimes de dégénérescence maculaire liée à l'âge, une maladie de la rétine. Essai clinique à venir dans les prochains mois, promet Eric Tremblay, qui a dirigé les travaux. **S.B.**

▲ Un polariseur dirige la lumière vers les bords de la lentille, où de petits miroirs grossissent l'image 2,8 fois (en haut à g.).

POUR MIEUX TRAQUER LES EMPREINTES

Comment mieux identifier les empreintes digitales sur une scène de crime ? En exploitant les propriétés isolantes des traces de sueur et d'huiles naturelles laissées par les doigts. Des chercheurs anglais ont eu l'idée de déposer dessus un film dont la couleur change selon la charge électrique, révélant un négatif précis. **L.B.**

LONGUE VIE AU MOTEUR IONIQUE

Plus de cinq ans et demi sans s'arrêter ni refaire le plein : c'est la prouesse atteinte, en laboratoire, par le propulseur ionique Next (Nasa). Alimenté par des panneaux solaires, il n'a consommé que 870 kg de "carburant" (du gaz xénon), contre 10 000 kg pour un réacteur de fusée traditionnel. **L.B.**

RECORD DE STOCKAGE SUR UN DVD

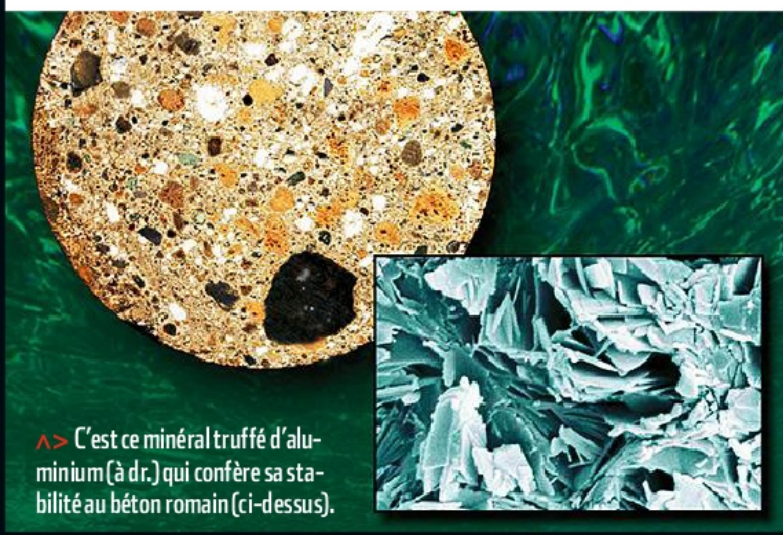
Des chercheurs australiens ont réussi à stocker 1 million de gigaoctets sur un simple DVD. Leur technique ? Graver extrêmement finement le disque (en 9 nm, contre 150 nm pour un Blu-ray), grâce à deux faisceaux lumineux. **L.B.**

ETREMBLAY/EPFL - COURTESY UC BERKELEY - D.DUCROS/CNRS

MATÉRIAU

LES ROMAINS INSPIRENT MÊME L'ARCHITECTURE DE DEMAIN

Le secret de la longévité des constructions romaines vient d'être dévoilé... Il tient à un élément : l'aluminium ! Exhumant des morceaux de béton immergés dans une baie près de Naples, une équipe internationale a reconstitué les réactions chimiques qui dominaient, il y a 2000 ans, la fabrication du ciment. "Aujourd'hui, la majorité des ciments sont composés de chaux et de cendres dérivées de la combustion du charbon, précise Marie Jackson, qui a participé à l'étude. Or, les Romains utilisaient des cendres volcaniques... riches en aluminium. Et c'est ce qui fait la différence !" Lorsque le ciment romain est mélangé à de l'eau de mer, ses atomes d'aluminium s'arrangent en un réseau cristallin, donnant naissance à un minéral hydrothermal très stable. Mieux, pour fabriquer un tel ciment, les Romains ne chauffaient qu'à 900 degrés... "alors qu'aujourd'hui, les fours des cimenteries montent jusqu'à 1450 degrés", rappelle la chercheuse. De quoi donner envie de réinventer le premier matériau de construction, dont la conception consommerait moins d'énergie et émettrait moins de CO₂... **M.F.**



➤ C'est ce minéral truffé d'aluminium (à dr.) qui confère sa stabilité au béton romain (ci-dessus).

AÉROSPATIALE

LA FUTURE FUSÉE ARIANE 6 DÉVOILE SA SILHOUETTE

Conçue par l'Agence spatiale européenne, la future Ariane sera une fusée à trois étages qui enverra en orbite un seul satellite de 3 à 6,5 t à la fois, contre deux (de 10 t au total) pour l'actuelle Ariane 5. Les deux premiers étages seront propulsés par quatre moteurs à poudre (propergol solide) identiques, produits en série. Le troisième étage sera propulsé par un moteur cryogénique rallumable (à hydrogène et oxygène liquides), actuellement développé pour la prochaine Ariane 5 ME, qui assurera la transition dès 2018. Cette configuration vise à réduire les coûts face à la concurrence étrangère. Le prix d'un lancement sera ainsi réduit de 30 %. Premier vol prévu à partir de 2021. **L.B.**



JE VEUX FABRIQUER DES VÊTEMENTS ULTRARÉSISTANTS AVEC DU MUCUS DE POISSON

SON IDÉE

DOUGLAS FUDGE, biologiste à l'université de Guelph (Canada)

Science & Vie : D'où vous est venue cette idée ?

Douglas Fudge : Tout a commencé accidentellement, à la fin des années 1990. Je préparais à la British Columbia University une thèse sur les calmars, quand El Niño a décimé toute la population sur laquelle je travaillais... Je n'avais donc plus de sujet d'étude. Mon directeur de thèse, John Gosline, qui se consacre aux propriétés de la soie d'araignée, m'a alors mis un peu par hasard sur la piste de la myxine, une sorte de grosse anguille nécrophage. Quand il se sent agressé, ce poisson de mer sécrète un mucus qui se transforme au contact de l'eau en une substance particulièrement volumineuse destinée à engluier son assaillant. Ce mucus est constitué d'une dizaine de milliers de fibres cent fois plus fines qu'un cheveu humain. Or, j'ai découvert que ces fibres ont presque les mêmes propriétés que la soie d'araignée, dont on cherche à faire des fibres textiles.

S&V : Quelles sont les qualités de ces fibres ?

D.F. : Ce sont des filaments de 1 à 3 micromètres de diamètre, plus fins que la soie de la plupart des araignées, mais tout aussi solides. Ils sont composés de protéines appelées "filaments intermédiaires", qu'on trouve aussi dans les ongles et les cheveux des mammifères. Leur assemblage leur confère des propriétés biomécaniques proches de celles des fibres synthétiques hautement performantes comme le Kevlar, dont on fait les gilets pare-balles. L'autre avantage, c'est que ces fibres sont parfaitement biodégradables et que les glandes d'une seule myxine sont capables de produire des centaines de kilomètres de fils !

S&V : Vous envisagez donc de faire des élevages de myxines ?

D.F. : Non, au contraire. Nous essayons de développer différentes techniques qui nous éviteraient de recourir à des

Vivant dans les grands fonds marins, la myxine est une sorte d'anguille qui sécrète, pour se défendre, une substance gluante et fibreuse, aussi solide que la soie des araignées. Pourquoi ne pas utiliser ces fibres naturelles pour en faire des vêtements techniques ultrarésistants ?

poissons vivants... Comme on le fait déjà pour produire de la soie d'araignée artificielle, par exemple, en introduisant les gènes des filaments intermédiaires dans des bactéries pour leur permettre de fabriquer les protéines adéquates. A nous, ensuite, de les assembler en fibres.

S&V : Quelles applications leur réservez-vous ?

D.F. : Evidemment, nous n'envisageons pas de remplacer le coton ou la laine qui sont des textiles déjà peu chers, naturels, et même isolants en ce qui concerne la laine. Nous pensons plutôt les proposer comme une alternative au Nylon et au Kevlar, des textiles issus de l'industrie pétrochimique, pour la fabrication de vêtements techniques ou de protection. Bien sûr, il nous faut encore développer le procédé pour en réduire les coûts, mais nous avons déjà déposé un brevet.

Propos recueillis par O.D. ✎



RENTÉE SUPER DISCOUNT !

Offre réservée aux lecteurs de
SCIENCE&VIE

12 magazines à prix cassés

Abonnez-vous vite !

jusqu'à
-50%
sur le prix kiosque



Mon magazine partout avec moi,
sur tablette, smartphone ou ordinateur.

**La version numérique
OFFERTE !**



-50%

Nouvelle vie,
nouvelles envies !

12 n° pour 21€
au lieu de 42€
soit 1,75€ le n° au lieu de 3,50€



-39%

Une foule d'idées et conseils
déclencheurs d'idées créatives !

12 n° pour 16€
au lieu de 26,40€
soit 1,33€ le n° au lieu de 2,20€



-33%

Le + pratique et le + complet
des mensuels de jardinage

10 n° pour 29,90€
au lieu de 45€
soit 2,99€ le n° au lieu de 4,50€



-35%

Le news fashion magazine !

20 n° pour 19,50€
au lieu de 30€
soit 0,98€ le n° au lieu de 1,50€



-42%

Beaucoup plus que
des recettes !

6 n° pour 12€
au lieu de 21€
soit 2€ le n° au lieu de 3,50€



-27%

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

12 n° pour 43€
au lieu de 59,40€
soit 3,58€ le n° au lieu de 4,95€



-31%

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

12 n° pour 42,90€
au lieu de 62,40€
soit 3,58€ le n° au lieu de 5,20€



-38%

Explorer, comprendre le monde
qui entoure les 13-18 ans

12 n° + 6 HS pour 55,90€
au lieu de 90,60€
soit 2,98€ le n° au lieu de 4,80€
soit 5,09€ le HS au lieu de 5,50€



-29%

Le magazine des passionnés
d'histoire et de stratégies militaires

6 n° pour 25€
au lieu de 35,70€
soit 4,17€ le n° au lieu de 5,95€



-39%

Un voyage inédit au cœur des
splendeurs et mystères du passé

8 n° pour 29€
au lieu de 47,60€
soit 3,63€ le n° au lieu de 5,95€



**22 n°
GRATUITS**

Le Ter Journal qui se met
à la place du conducteur

52 n° pour 59€
au lieu de 103,48€
soit 1,13€ le n° au lieu de 1,99€



**10 n°
GRATUITS**

Tous les plaisirs
de l'automobile

26 n° pour 54€
au lieu de 91€
soit 2,08€ le n° au lieu de 3,50€

BULLETIN D'ABONNEMENT

A retourner à OPÉRATION RENTÉE MONDADORI - B805 - 60643 CHANTILLY CEDEX

www.KiosqueMag.com

1 Je choisis mes abonnements et je coche les cases ci-dessous.

Magazine	Réf.	Durée de l'abonnement	Prix normal au numéro	Mon prix	Ma réduction
<input type="checkbox"/> Pleine Vie	18	1 an - 12 n°	42,00 €	21 €	- 50%
<input type="checkbox"/> Modes et Travaux	12	1 an - 12 n°	26,40 €	16 €	- 39%
<input type="checkbox"/> L'Ami des Jardins	10	10 mois - 10 n°	45,00 €	29,90 €	- 33%
<input type="checkbox"/> Grazia format poche	57	5 mois - 20 n°	30,00 €	19,50 €	- 35%
<input type="checkbox"/> Réponses Photo	05	1 an - 12 n°	59,40 €	43 €	- 27%
<input type="checkbox"/> 750g Le Mag	62	1 an - 6 n°	21,00 €	12 €	- 42 %
<input type="checkbox"/> Science&Vie Découvertes	35	1 an - 12 n°	62,40 €	42,90 €	- 31%
<input type="checkbox"/> Science&Vie Junior + 6 HS	33	1 an - 18 n°	90,60 €	55,90 €	- 38%
<input type="checkbox"/> Guerres & Histoire	37	1 an - 6 n°	35,70 €	25 €	- 29%
<input type="checkbox"/> Les Cahiers de Science&Vie	36	1 an - 8 n°	47,60 €	29 €	- 39%
<input type="checkbox"/> Auto Plus	40	1 an - 52 n°	103,48 €	59 €	22 n° GRATUITS
<input type="checkbox"/> L'Auto-Journal	42	1 an - 26 n°	91,00 €	54 €	10 n° GRATUITS
Nombre total d'abonnements			TOTAL DE MA COMMANDE		

EXCLUSIF

www.KiosqueMag.com

+ rapide et - cher !

Et en plus à partir de 2 abonnements

-10%
supplémentaires

2 Adresse(s) de livraison des abonnements :

738435

Mes coordonnées (à remplir dans tous les cas) pour recevoir les abonnements

références : _____
Nom _____
Prénom _____
Adresse _____
Code postal _____ Ville _____
Pour recevoir mes codes d'accès à la version numérique de mon(ou mes) magazines, je note :
Email _____
☐ J'accepte d'être informé(e) des offres commerciales du groupe Mondadori France et de celles de ses partenaires.

Coordonnées de la personne à qui j'offre des abonnements

références : _____
Nom _____
Prénom _____
Adresse _____
Code postal _____ Ville _____

3 Mon règlement : Le montant total de ma commande est de : _____ €

Je joins mon chèque à l'ordre de Mondadori Magazines France.

Et pour tout règlement par carte bancaire rendez-vous sur **www.KiosqueMag.com**


Offre réservée aux nouveaux abonnés en France Métropolitaine jusqu'au 30/09/2013.

En application de l'article 27 de la loi du 6 janvier 1978, les informations ci-dessus sont indispensables au traitement de votre commande. Elles peuvent donner lieu à l'exercice du droit d'accès et de rectification auprès de Mondadori Magazines France. Par notre intermédiaire, vous pouvez être amené à recevoir des propositions d'autres organismes. En cas de refus de votre part, il vous suffit de nous prévenir par simple courrier.

APRÈS LE BOSON DE HIGGS

UNE NOUVELLE PHYSIQUE VA NAÎTRE

*9 idées révolutionnaires
pour réinventer le monde*

The background of the page is an abstract composition of several large, translucent red spheres of varying sizes. These spheres are interconnected by a network of thin, black, slightly irregular lines that crisscross the frame. The overall effect is reminiscent of a molecular structure or a complex web. The lighting is soft, giving the spheres a three-dimensional appearance with subtle highlights and shadows.

Matière, espace, temps : loin de tout régler, la découverte du boson de Higgs a laissé la physique face à ses nombreuses incohérences. Au point que les physiciens sont aujourd'hui de plus en plus nombreux à penser que des idées radicalement différentes sont nécessaires pour sortir de l'impasse. En voici 9 qui, chacune à sa manière, proposent de faire sa révolution.

PAR MATHIEU
GROSSON

De symposiums en discussions de couloir, de conférences internationales en séminaires confidentiels, c'est désormais une certitude: il souffle sur le petit monde de la physique fondamentale comme un drôle de vent nouveau. D'un côté, l'impression désagréable que, malgré des décennies d'efforts pour tenter d'assembler les pièces qui composent le grand puzzle de la nature, les physiciens vont devoir remiser sur l'étagère de l'Histoire toutes les théories et tous les modèles auxquels ils se sont accrochés pour décrire la matière, l'espace et le temps...

De l'autre, cette sensation d'air frais qui annonce les grands chambardements, avec la prise de conscience que, pour le meilleur, tout est à recommencer.

"La nature a peut-être choisi de suivre un plan différent de tous ceux que nous avons imaginés", résume simplement Gian Giudice, théoricien à l'Organisation européenne pour la recherche nucléaire (Cern). "Je suis persuadé que les grandes questions ne pourront pas être résolues dans le cadre du paradigme actuel de la physique", confirme Erik Verlinde, à l'Institut de physique théorique →

Matière, espace et temps sont décrits par un modèle dit standard...

La nature est décrite par un ensemble de lois physiques fondamentales, dont les deux piliers sont le modèle standard de la physique des particules et le modèle standard de la cosmologie. Fondé sur la relativité restreinte d'Einstein et la mécanique quantique, le premier décrit toutes les particules de matière connues. Le second, basé sur la relativité générale, décrit l'évolution de la trame spatio-temporelle de l'Univers, ainsi que son contenu, depuis le big bang.



Big bang

... que de grandes difficultés obligent à repenser

Malgré d'indéniables succès, le modèle standard laisse de côté une partie de la réalité physique. Or, les expériences phares des dix dernières années ont révélé que les solutions envisagées par les physiciens pour dépasser les difficultés de leur modèle se révèlent être autant d'impasses.

LE MODÈLE STANDARD NE RACONTE PAS LE BIG BANG

Parce qu'elles n'intègrent pas les effets de la gravitation à l'échelle microscopique, les équations du modèle standard échouent à décrire la naissance de l'Univers... et donc de l'espace-temps.

IL NE DIT PAS COMMENT EST NÉE LA MATIÈRE

Les équations du modèle standard devenant "folles" à très haute énergie, elles ne disent rien de la naissance de la matière dans les tout premiers instants de l'Univers.

→ de l'université d'Amsterdam. "De nouvelles théories restent à inventer", assène de son côté Fabrice Piquemal, directeur du Laboratoire souterrain de Modane. "Des théories fondées sur des concepts radicalement nouveaux", ajoute Alexei Grinbaum, au Laboratoire des recherches sur les sciences de la matière (CEA-Saclay). Avant d'insister: "Les réponses ne viendront pas de petites modifications à la marge de nos théories actuelles. Il est même possible que ce qui nous apparaît aujourd'hui comme des problèmes insurmontables

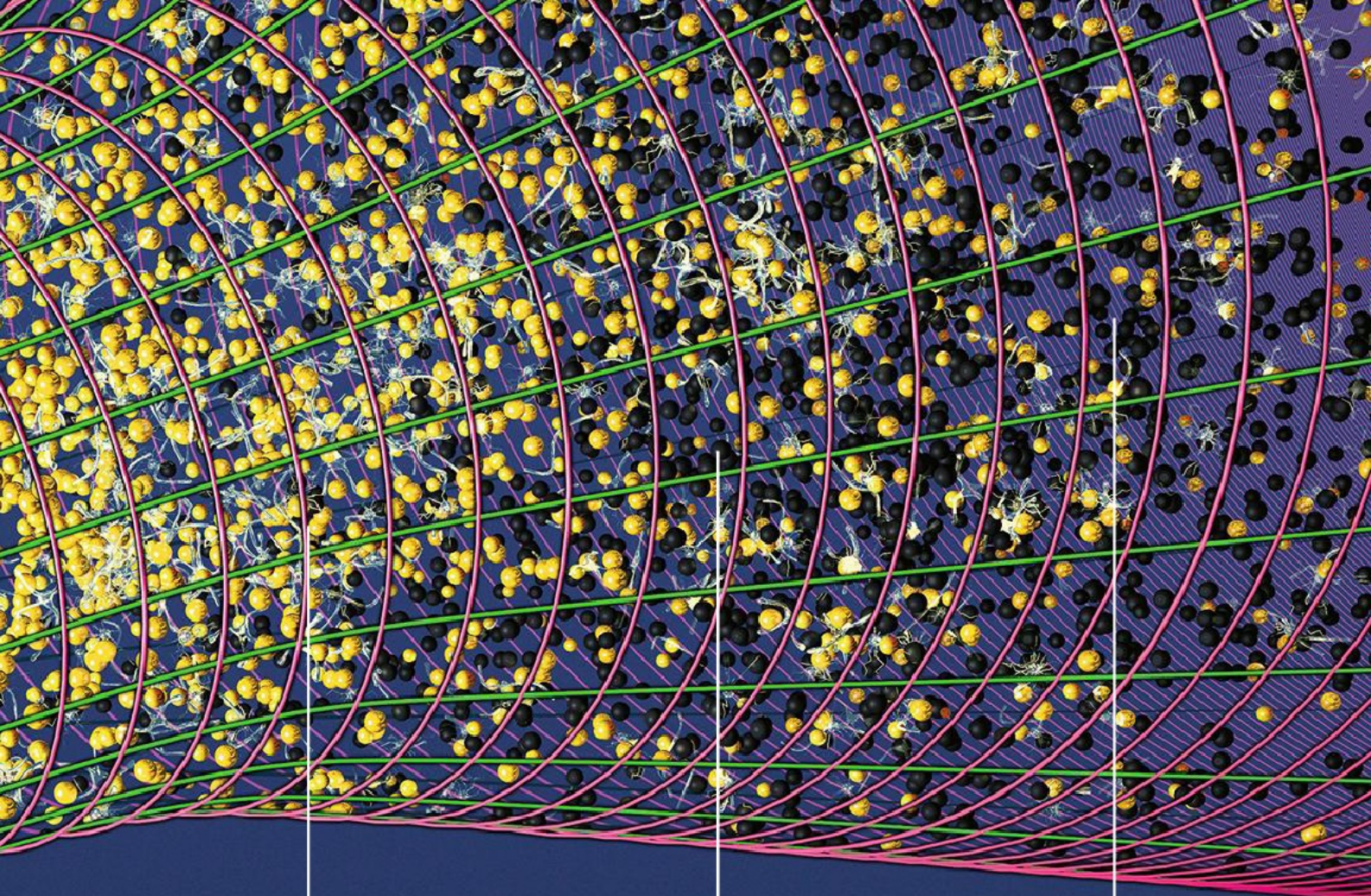
ne se pose plus dans les mêmes termes demain, dans le nouveau langage qu'il nous faut inventer."

Etonnant, alors même que les deux expériences reines de la physique fondamentale de ce début de millénaire ont confirmé les prédictions des grandes théories en vigueur depuis des décennies. Ainsi les expérimentateurs du Cern ont-ils annoncé triomphalement la découverte du boson de Higgs, l'unique particule qui manquait encore à l'appel au sein du bestiaire théorique de la physique des particules. Tandis

que le satellite *Planck* a magistralement confirmé la vision que les cosmologistes se faisaient de l'Univers, en mesurant l'exactitude de leur modèle jusqu'aux portes du big bang (voir *S&V* n° 1142, p. 76, et n° 1148, p. 76).

DEUX THÉORIES CHANCELANTES

Sauf que les physiciens savent depuis longtemps que leurs deux grands modèles standard, celui dédié à l'infiniment petit (la physique des particules) comme celui qui s'attelle à l'infiniment grand (la cosmologie), sont défaillants



IL ACHOPPE SUR LE MYSTÈRE DE L'ANTIMATIÈRE

Le modèle standard a beau prédire que matière et antimatière (la forme "miroir" de la matière) devraient exister dans des proportions équivalentes... l'Univers semble pourtant vide d'antimatière.

IL ÉCHOUE À DÉCRIRE LA MATIÈRE NOIRE

Alors que toutes les observations indiquent la présence d'une mystérieuse matière, dite noire, à toutes les échelles du cosmos, le modèle standard se révèle incapable de rendre compte de sa nature.

IL SÈCHE SUR LA NATURE DE L'ÉNERGIE SOMBRE

Les mesures de *Planck* sont formelles : l'Univers est composé à 68,3 % d'une "énergie sombre" responsable de l'accélération de son expansion... sans que le modèle standard n'en dise quoi que ce soit.

(voir infographie ci-dessus). D'abord parce qu'ils sont incapables de décrire la nature telle qu'elle se laisse observer. Ainsi, les équations fondamentales prédisent que de discrètes particules sans charge électrique, nommées neutrinos, n'ont pas de masse, alors que tous les détecteurs, depuis une dizaine d'années, leur en mesurent bel et bien une. Elles prévoient également que l'Univers est constitué pour moitié d'une antimatière... dont les télescopes ne trouvent pas la moindre trace. A l'inverse, elles échouent à

décrire la majeure partie du contenu du cosmos observé par les astrophysiciens ! Comme vient de le mesurer *Planck* avec une précision sans précédent, les particules du modèle standard ne semblent constituer que 4,9 % de l'Univers, le reste étant partagé entre une matière inconnue (26,8 %) et une mystérieuse énergie (68,3 %). Or, de cette "matière noire" et de cette "énergie sombre", la théorie ne dit rien...

Sans compter que ces modèles standard ont aussi de sérieux problèmes de cohérence. Ainsi, en cosmologie,

les équations se révèlent incapables de décrire la naissance de l'Univers, faute d'une théorie sur les effets de la gravitation à l'échelle de l'infiniment petit – il faudrait réussir à marier la théorie de la relativité générale d'Einstein à la mécanique quantique, ce qui reste un défi. Quant aux particules, les équations perdent la boussole dès que l'énergie engagée dans une collision entre elles dépasse quelques téraélectronvolts, et prédisent inlassablement des valeurs infinies à certains paramètres. Un non-sens physique qui avait justifié →

Si les résultats du LHC se confirment, il faudra admettre que les théoriciens ont été sur la mauvaise voie durant plusieurs décennies

DAVID GROSS

PRIX NOBEL DE PHYSIQUE 2004

Il nous faut inventer un nouveau langage, des théories fondées sur des concepts radicalement neufs

ALEXEI GRINBAUM

PHYSICIEN AU LABORATOIRE DES RECHERCHES SUR LES SCIENCES DE LA MATIÈRE (CEA-SACLAY)

On a besoin d'un nouvel Einstein

PASQUALE SERPICO

PHYSICIEN AU LABORATOIRE D'ANNECY-LE-VIEUX

→ l'édification du LHC, cet accélérateur de particules hyperpuissant censé indiquer aux physiciens la façon de compléter cette vision incohérente.

Les spécialistes ne manquent pas de rappeler que, d'ici deux ans, le LHC redémarrera avec une énergie doublée. De quoi commencer à tisser les fils d'une nouvelle trame mathématique pour décrire l'espace, le temps et la matière ? Pas sûr. Pour Jean Iliopoulos, du Laboratoire de physique théorique de l'Ecole normale supérieure, à Paris, *"il est probable que le LHC ait, avec le Higgs, fait la plus spectaculaire de ses découvertes"*. Une opinion partagée par nombre de chercheurs, pour qui la physique serait dans une impasse. A l'Institut des hautes études scientifiques, à Bures-sur-Yvette, Pierre Vanhove reconnaît que *"le message du LHC n'est pas très inspirant"*. A l'Institut de physique théorique du Commissariat à l'énergie atomique, à Saclay, c'est Marco Cirelli qui confirme que *"le LHC n'est pas du tout en train de nous aider"*. Et au Laboratoire de physique subatomique et de cosmologie, à Grenoble, Laurent Derome se dit *"dans le flou pour avancer"*. David Gross, prix Nobel de physique 2004, a résumé la situation par cette phrase laconique lors d'un symposium à Zurich, en juin dernier : *"Si les résultats se confirment, il faudra admettre que les théoriciens ont été sur la mauvaise voie durant plusieurs décennies."*

Mais dans ce qui commence à ressembler à un champ de ruines, le silence du LHC et du télescope *Planck* a tout de même du bon : il met les physiciens face à l'impérieuse nécessité de reprendre depuis le début tout ce qu'ils pensaient connaître. Désormais, ils n'ont d'autre choix que de ramener à la vie des théories laissées de côté car jugées trop exotiques ou incomplètes, de se tourner vers des hypothèses révolutionnaires, de porter tous leurs espoirs sur des expériences jusqu'alors reléguées au second plan...

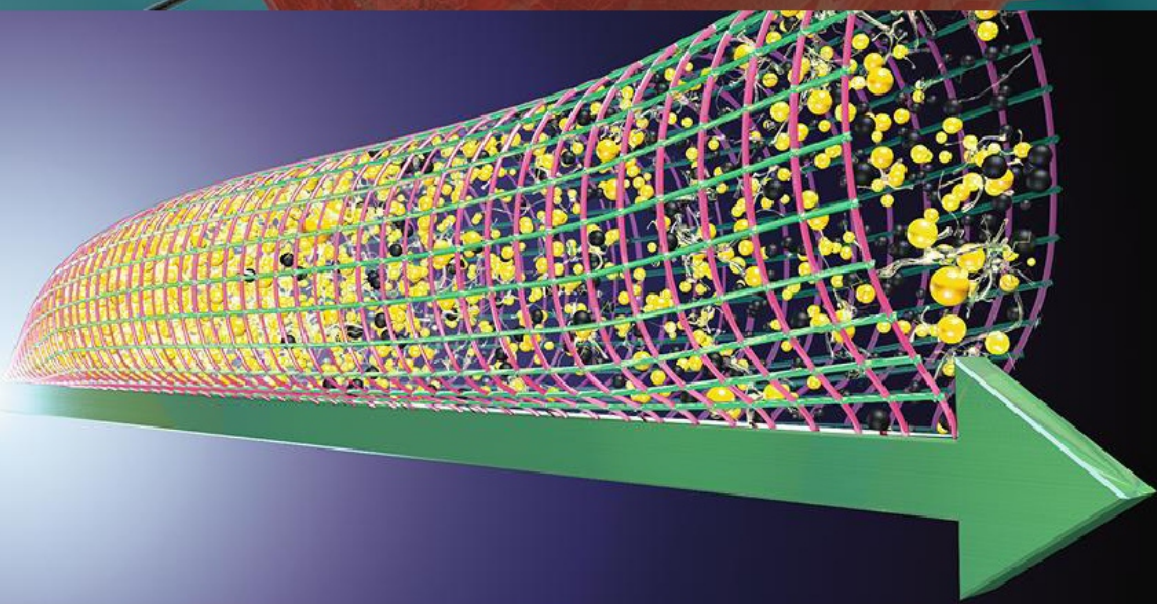
CHANGER DE PERSPECTIVE

Une poignée de physiciens est déjà à l'ouvrage (voir les 9 idées). Les plus radicaux ont commencé à repenser le statut de notre Univers et des interactions fondamentales, ces quatre forces censées être à l'origine de tous les phénomènes physiques. Ainsi, qui sait si la gravitation, qui lie le contenu en matière de l'Univers avec la courbure de l'espace-temps, ne serait pas qu'une vaste illusion cosmique... Pour d'autres, c'est la théorie quantique, cet ensemble de lois gouvernant l'infiniment petit, qu'il convient de réinterroger en profondeur. D'aucuns imaginent que le salut viendra d'une

compréhension des liens entre la gravitation et l'antimatière. A moins que la clé ne se situe au cœur de la matière, dans les propriétés encore mal connues du neutrino, la plus insaisissable des particules élémentaires. Ou dans celles de grains de matière hypothétiques appelés axions qui, étrangement, semblent apparaître dans différentes spéculations depuis de nombreuses années, sans que personne soit jamais parvenu à les mettre en évidence. Le plus stupéfiant étant peut-être, comme le suggèrent certains, que les nouveaux visages de la matière, de l'espace et du temps se révèlent non pas au travers de dispositifs toujours plus gigantesques, mais grâce à de modestes expériences réalisées sur un coin de table.

"Les résultats du LHC nous obligent à changer de perspective," résume Pasquale Serpico, du Laboratoire d'Annecy-le-Vieux de physique théorique. *"On a besoin d'un nouvel Einstein, de penser quelque chose de complètement différent."* C'est aussi ce que clamait John Ellis, pilier de la division théorique du Cern, en mai dernier à Stockholm, sur l'un des transparents de la conférence qu'il donnait au Nobel symposium on LHC results : *"De nouvelles idées sont nécessaires!!!"*

Ses confrères n'ont pas attendu pour lui répondre... De retour au tableau noir ou à la paillasse, ils sont déjà en train d'explorer de nouvelles voies, théoriques ou expérimentales, pour sortir de l'impasse. Voici les neuf plus prometteuses. Comme un avant-goût d'une imminente révolution dans notre vision de la matière, de l'espace et du temps.



1 CONSIDÉRER LE TEMPS COMME UN OBJET PHYSIQUE RÉEL

L'INTÉRÊT

Tout ce que l'on sait du temps (son origine, son écoulement...), mais aussi ce que l'on sait de la matière et de l'espace, devient cohérent.

LE PROBLÈME

La solidité des équations régissant l'infiniment petit et l'infiniment grand, une fois réécrites avec un temps réel et absolu, reste à prouver.

"Il nous faut désormais considérer le temps comme une entité réelle."

Lee Smolin, à l'Institut Perimeter (Waterloo, Canada), en est persuadé : c'est en repartant de cette idée toute simple que la physique peut ouvrir un nouveau chapitre de son histoire. La proposition n'en est pas moins osée... En effet, plus les théories physiques se sont développées, plus la notion de temps y est devenue

évanescence. D'abord avec l'introduction de la relativité, en 1905, qui lui fit perdre son caractère absolu – les notions de présent ou de durée devenant dépendantes de l'observateur. Puis avec la mécanique quantique, deux décennies plus tard, qui plongea dans le "flou" l'idée même de temps...

Sans compter que la physique n'a jamais fait grand cas de ce qui, selon le théoricien, devrait pourtant être essentiel : la distinction entre passé et futur. Une indifférence patente dans la théorie de la relativité, où le temps devient intimement lié à l'espace, pour lequel cette distinction n'a aucun sens. De même que les lois de la microphysique n'indiquent aucune direction d'écoulement privilégiée. Au point que, pour les physiciens, si un verre

brisé ne se répare jamais spontanément, ce n'est pas parce qu'on ne peut pas revenir dans le passé... mais simplement parce que la configuration "réparé" est moins probable que "cassé" !

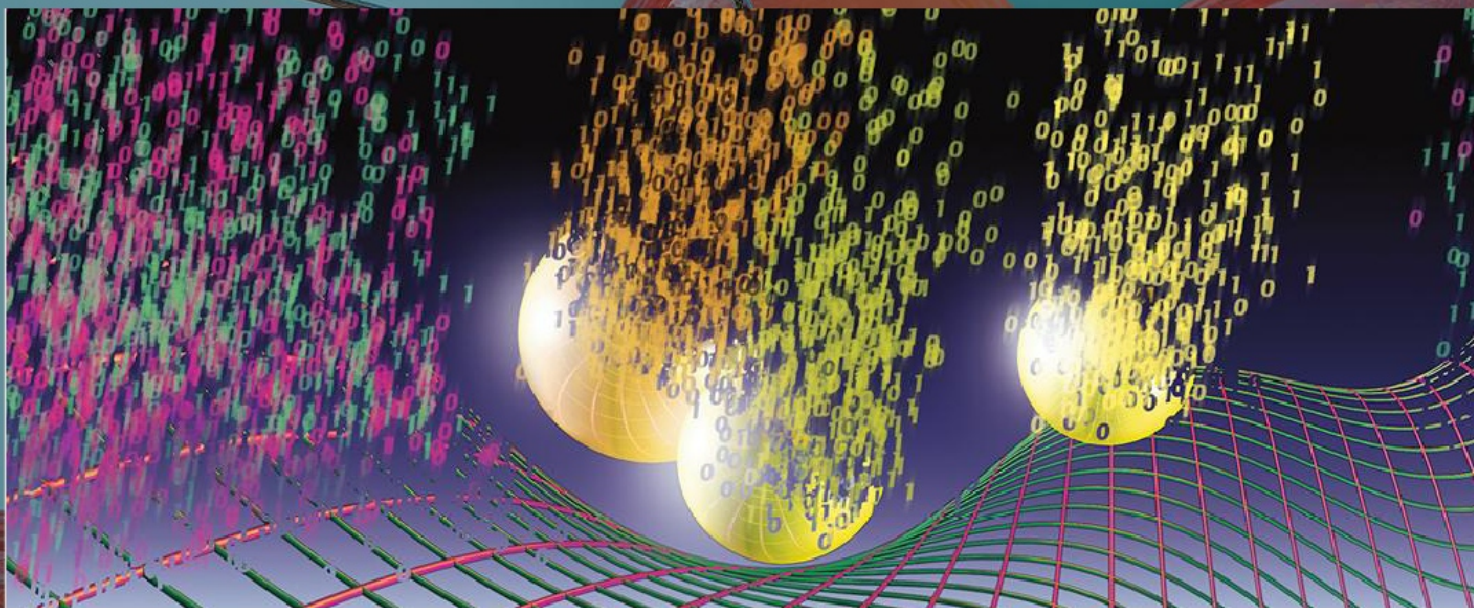
Lee Smolin ne l'entend pourtant pas de cette oreille : *"Je pars du principe que le temps contient en soi la différence entre le passé et le futur. Cette différence devrait donc être au cœur de nos lois les plus fondamentales, et l'apparente réversibilité des phénomènes microscopiques ne devrait être qu'une approximation."*

Pour lui, ce temps, devenu entité physique à part entière, recouvrerait son caractère absolu, c'est-à-dire indépendant de tout observateur – comme avant la révolution relativiste. Et il fait le pari que, ainsi incarné,

ce "nouveau" temps redéfinirait la relativité générale, la rendant compatible avec les règles quantiques, incapables sinon d'intégrer un temps relatif. De quoi opérer enfin la nécessaire réconciliation entre l'infiniment grand et l'infiniment petit, pour dresser une vision cohérente du comportement de la matière à travers l'espace et le temps. Pour l'instant, l'équipe de Lee Smolin en est au stade des premiers modèles simplifiés.



Lee Smolin, Institut Perimeter, Waterloo (Canada)



2 ADMETTRE QUE LA GRAVITATION N'EST QU'UNE ILLUSION

L'INTÉRÊT

L'unification des théories quantique et relativiste n'est plus nécessaire ; deux grands mystères (matière noire et énergie sombre) disparaissent.

LE PROBLÈME

Il reste difficile de donner une traduction mathématique rigoureuse aux concepts radicalement nouveaux qui rendent la gravitation inutile.

"Ce que nous appelons constituants fondamentaux de la matière [les particules élémentaires et les quatre forces fondamentales] a en réalité été introduit de façon ad hoc, et est par conséquent parfaitement réfutable", avance Erik Verlinde, à l'université d'Amsterdam. Depuis quelques années, ce physicien respecté développe une théorie selon laquelle la gravitation n'aurait aucune existence à l'échelle

microscopique. Cette force qui nous fait garder les pieds sur terre, cette déformation de l'espace et du temps qui provoque l'attraction des corps entre eux sous l'effet de leur masse, faisant tourner les planètes et tomber les pommes, ne serait plus une force fondamentale. Juste une illusion...

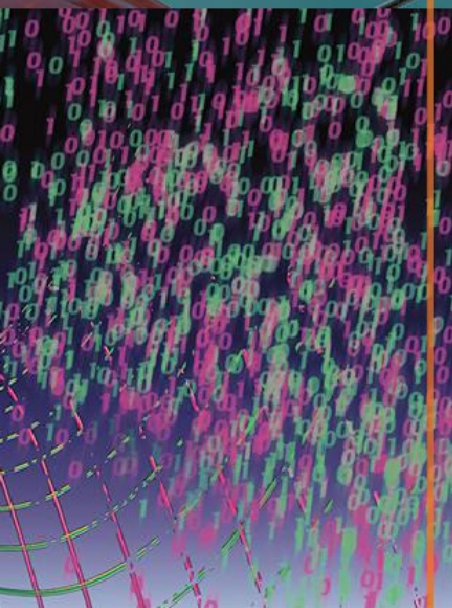
Comment imaginer prendre à rebours ce que les physiciens affirment depuis des siècles ? Il suffit de penser à la force de pression au sein d'un ballon : elle n'a d'existence qu'à notre échelle, en tant que propriété collective des atomes du gaz enfoncés qui entrent en collision, et s'évanouit dès lors que l'on pénètre l'intimité de la matière. La gravitation, elle aussi, serait la manifestation macroscopique de microphénomènes sous-

jacents. Sauf que si la pression, tout illusoire soit-elle, résulte de chocs entre particules matérielles... la gravitation serait, elle, le résultat d'un flux de phénomènes se déroulant en marge de la réalité. Littéralement aux frontières de l'espace.

A l'appui de cette vision iconoclaste, l'étonnant lien formel entre la relativité générale – la théorie einsteinienne de la gravitation – et la thermodynamique, qui décrit les propriétés d'un système en faisant abstraction des détails microscopiques. Ainsi qu'un principe énoncé en 1995, dit "holographique", qui stipule que la description complète de tout système physique occupant une région de l'espace peut être donnée par une théorie ne décrivant que... sa seule frontière.

Comme s'il était face à un hologramme, Erik Verlinde ne se concentre donc que sur la frontière de notre Univers : *"Je me fonde sur l'hypothèse qu'il existe des paramètres – peu importe lesquels – évoluant dans cet espace abstrait et encodant une certaine quantité d'information. Et que cette information est modifiée par les changements de position des objets possédant une masse. A ces modifications de l'information est associée, par réaction, une force – celle que nous nommons, dans notre Univers, gravitation."*

Cette vision holographique vaudrait peut-être également pour les autres interactions dites fondamentales, comme la force électromagnétique, ce qui pourrait donner une explication aux plus épineuses questions

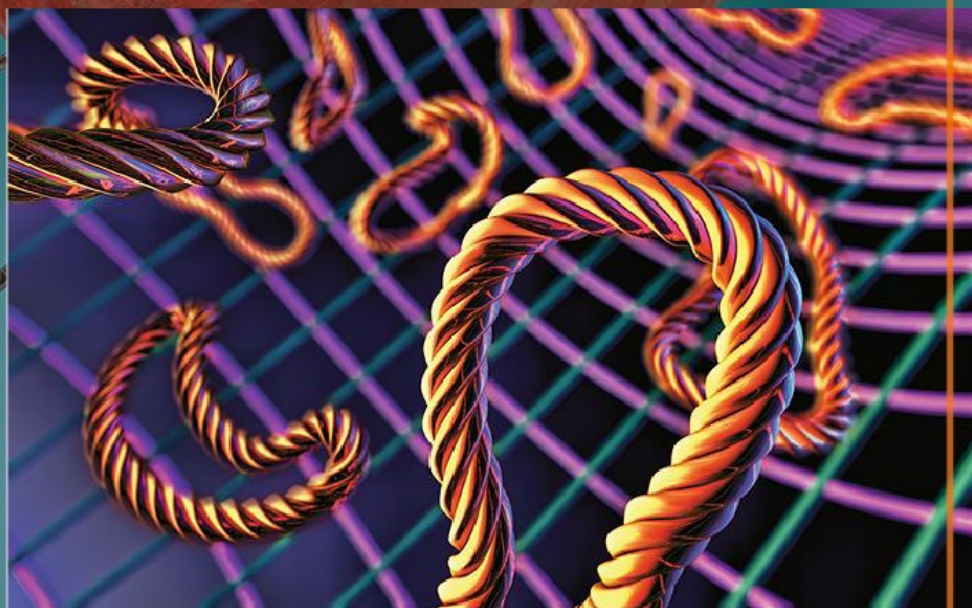


que les physiciens se posent actuellement. “Je suis parvenu à connecter cette idée à la question de l’énergie sombre, assure Erik Verlinde. J’ai même réussi à dériver une formule qui semble très bien fonctionner pour décrire la matière noire à toutes les échelles de l’Univers et qui colle avec les mesures du satellite Planck.”

Le théoricien promet de publier d’ici quelques mois les premières formules détaillées de ces dynamitages en règle.



Erik Verlinde, université d’Amsterdam (Pays-Bas)



3 SE LANÇER SUR LA PISTE DES AXIONS

L’INTÉRÊT

La découverte de ces particules pourrait résoudre l’énigme de la matière noire, voire relancer la piste d’une théorie unificatrice ultime.

LE PROBLÈME

Les axions sont très difficiles à détecter. L’expérience la plus précise jamais conçue pour cela n’en est qu’au stade des préparatifs avancés.

“La découverte de l’axion serait l’un de ces rares tremblements de terre qui secouent parfois la physique.” Leslie Rosenberg parle ici d’un revenant. Car depuis que des théoriciens la firent entrer en scène dans les années 1970, cette particule hypothétique s’était fait oublier. Son existence offrait à l’époque une possible solution à un problème interne à la théorie des quarks, les constituants

du noyau des atomes. Mais même si son interaction quasi nulle avec la matière en faisait un postulant sérieux au titre de matière noire, elle n’avait pas la faveur des physiciens, qui lui préféraient d’autres particules exotiques...

Seulement voilà, le LHC et les expériences visant à les détecter ont fait chou blanc. Si bien que pour le chercheur américain, *“l’hypothèse des axions est désormais prise plus au sérieux”*. Reste à la changer en certitude. Pour ce faire, Leslie Rosenberg a conçu un piège magnétique (ADMX), qui transforme les axions en particules de lumière, ce qui les rend détectables. Cette expérience permettra de trancher, assure-t-il : *“Au pire, on pourra en conclure*

que la matière noire n’est pas constituée d’axions.”

Au mieux, la matière noire aura enfin un visage. Une telle découverte nous rapprocherait même d’une théorie unificatrice ultime de la matière, de l’espace et du temps, l’axion s’étant aussi manifesté au sein de la théorie des cordes, selon laquelle tout ce qui constitue l’Univers résulte des vibrations d’un même objet fondamental : une minuscule corde.



Leslie Rosenberg, université de Washington, Seattle (Etats-Unis)

4 PRENDRE EN COMPTE L'OBSERVATEUR DANS LA THÉORIE QUANTIQUE

L'INTÉRÊT

Les équations de la mécanique quantique ne changent pas, mais, réinterprétées, elles ouvrent la voie à un regard neuf sur cette théorie.

LE PROBLÈME

La théorie de l'information doit être capable de décrire ce que signifie l'acte d'observer, fondamental en mécanique quantique.

"Il faut changer de perspective sur la mécanique quantique." Pour Alexei Grinbaum, du Laboratoire des recherches sur les sciences de la matière, impulser un nouvel élan à la physique ne passera

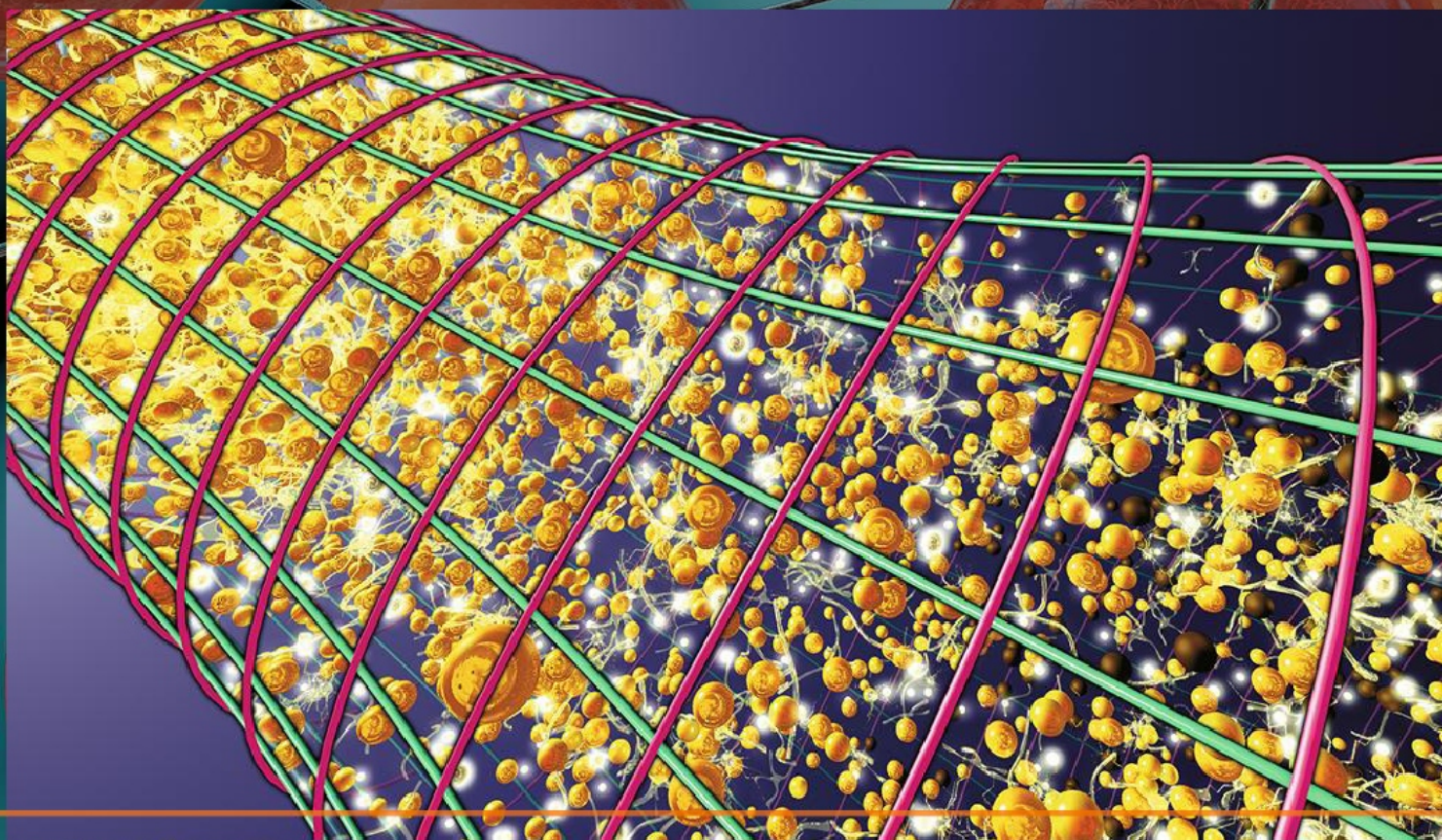
pas par l'invention de concepts inédits, mais par une meilleure compréhension de ceux que l'on connaît déjà. Et, en particulier, par une formalisation rigoureuse du rôle joué par l'observateur dans la physique à l'échelle des atomes et des particules. *"Je pars du constat que la notion d'observateur est indispensable à la théorie quantique, puisque c'est lui qui identifie un système quantique et lui attribue un 'état' [la description de toute l'information à son sujet], explique le chercheur, mi-physicien,*

mi-épistémologue. Sauf que la théorie n'en fait aucune description mathématique. C'est le signe flagrant d'un manque."

Pour autant, il ne s'agit pas de donner une description la plus fine possible de cet observateur, matériellement parlant. *"C'est un peu comme pour un ordinateur, compare Alexei Grinbaum. La meilleure façon de comprendre son fonctionnement ne consiste pas à donner l'état de chacun de ses transistors, mais plutôt à s'intéresser à la manière dont sont programmés et installés les logiciels."*

De même, la compréhension du rôle de l'observateur passerait par sa modélisation en termes informationnels, c'est-à-dire par la description de la façon dont il traite l'information.

"Il ne s'agit pas de remettre en cause la capacité de la mécanique quantique à décrire le monde matériel, mais d'ouvrir une nouvelle perspective", répète le physicien. Une approche qui n'est pas sans rappeler celle d'Einstein en 1905. Le génial savant n'a pas changé une virgule aux équations de référence...



Simplement, en les réinterprétant dans un cadre nouveau avec sa théorie de la relativité restreinte, il a bouleversé notre conception de l'espace et du temps. Qui sait si une relecture de la mécanique quantique ne sera pas de nature à provoquer une révolution équivalente...



Alexei Grinbaum, laboratoire Larsim du CEA, Saclay



5 TRAQUER LES NEUTRINOS FANTOMATIQUES

L'INTÉRÊT

Ces particules, qui seraient parmi les plus abondantes de l'Univers, dissiperait les mystères de l'antimatière et de la matière noire.

LE PROBLÈME

Leur détection est très délicate. Plusieurs expériences sont en préparation, et délivreront leurs premiers résultats dans quelques années.

"Avec les neutrinos, cela fait quinze ans que l'on est au cœur de la nouvelle physique." Physicien au CEA, Thierry Lasserre est convaincu que ces petites particules dépourvues de charge électrique offrent

la meilleure chance de bouleverser notre vision de la matière. Dès 1998, en effet, une expérience a prouvé que les neutrinos sont dotés d'une masse non nulle, alors que le modèle standard affirme le contraire. Sans compter que depuis quelques années, une étrange anomalie dans la quantité de neutrinos émis par les réacteurs nucléaires est constatée...

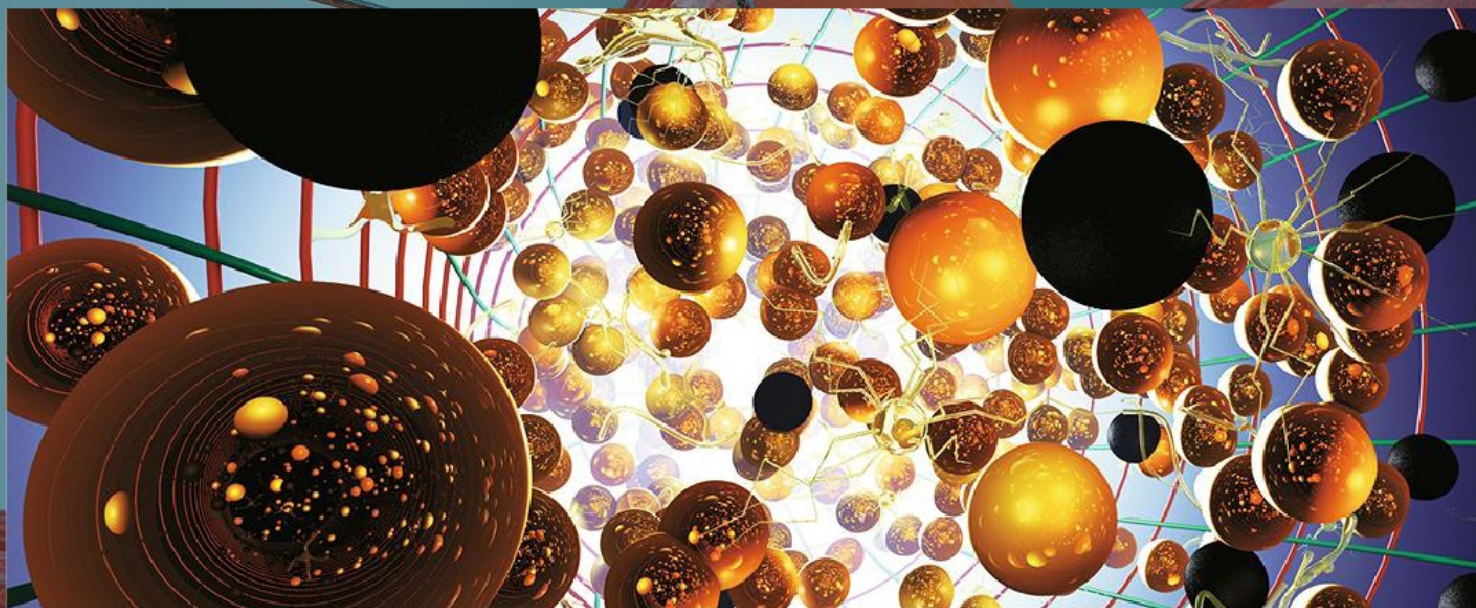
Pour s'accommoder de ces mesures inattendues, les théoriciens sont tentés d'invoquer l'existence d'un nouveau genre de neutrino, qualifié de

"stérile", qui n'interagirait avec les autres particules que via la gravitation – ce serait donc la plus discrète de toutes les particules imaginables. Selon la masse qu'on lui prête, ce corpuscule fantomatique se montre tour à tour un excellent candidat pour donner une masse au neutrino standard, expliquer la disparition de l'antimatière ou donner corps à la mystérieuse matière noire. Reste à démasquer les différents types de neutrino stérile imaginés : "En observer un donnerait du crédit à l'ensemble du

concept", plaide Thierry Lasserre. Le physicien est justement en train de mettre au point plusieurs expériences qui, dans les prochaines années, mettront en évidence, s'ils existent, les spécimens les plus légers.



Thierry Lasserre, Commissariat à l'énergie atomique (CEA), Saclay



6 ARRÊTER LA COURSE VERS L'INFINIMENT PETIT

L'INTÉRÊT

Certaines particules de très haute énergie, inaccessibles même à des accélérateurs gigantesques, dévoilent leurs propriétés à basse énergie.

LE PROBLÈME

Pour en déduire les effets à haute énergie, les mesures effectuées à basse énergie doivent être extrêmement précises.

"Nous pouvons obtenir des informations sur les propriétés de la matière à haute énergie grâce à des expériences à... basse énergie!" C'est une dynamique qui semblait pourtant inhérente à la physique des particules que Paul Indelicato, du laboratoire Kastler-Brossel (Paris), propose de renverser. D'après ce spécialiste des mesures extrêmes, les prochaines découvertes sur les secrets les plus intimes

de la matière ne proviendront peut-être pas d'accélérateurs de particules toujours plus pharaoniques, dont on ne sait d'ailleurs pas s'ils seront construits un jour, mais plutôt de simples expériences réalisées sur un coin de table...

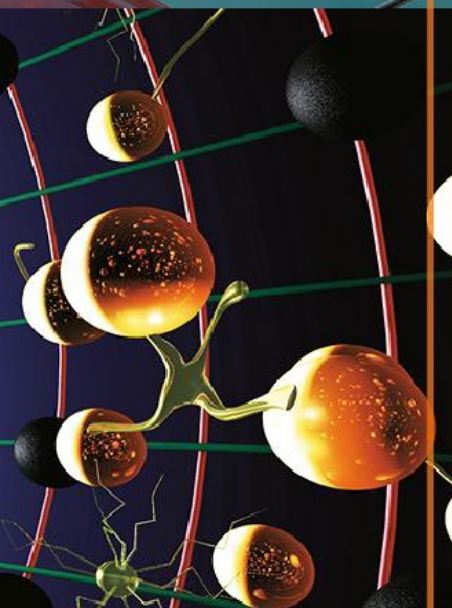
Pour étayer sa prédiction, Paul Indelicato s'appuie sur une réalité bien connue des physiciens: *"Un phénomène dont la manifestation principale se situe à une énergie donnée peut se manifester de façon très faible à des énergies beaucoup plus basses."* Tout en reconnaissant que *"plus ces résonances sont énergétiquement éloignées du phénomène principal, plus il faut des expériences précises pour les mettre en évidence"*. Or, plusieurs techniques expérimentales (d'optique et de

physique atomique, notamment) ont atteint un degré de raffinement tel qu'elles pourraient mettre en valeur ces phénomènes nouveaux.

Une expérience réalisée pour la première fois en 2010, et tout juste confirmée, en donne la preuve. Randolph Pohl, de l'Institut Max-Planck d'optique quantique (Allemagne), et ses collègues de la collaboration internationale à laquelle participe le laboratoire de Paul Indelicato voulaient mesurer plus précisément la taille du proton (particule constitutive des atomes, de charge positive). Ils ont pour cela remplacé l'électron (un autre composant de l'atome, de charge négative), avec lequel on mesure habituellement le diamètre du proton, par un muon. Cette particule se comporte comme un

électron, sauf qu'elle est 207 fois plus massive: elle orbite donc plus près du proton, constituant une sonde plus précise de ce dernier... Résultat: un diamètre de 0,84 femtomètre (10^{-15} m), au lieu des 0,88 mesurés avec un électron.

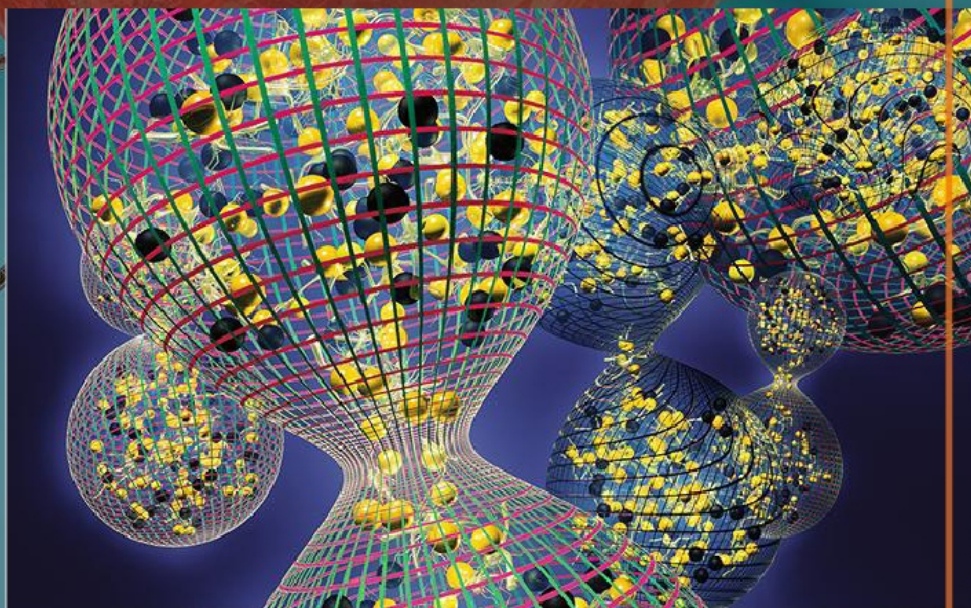
L'erreur expérimentale ayant été exclue, les physiciens cherchent la cause de cette différence inattendue. Certains ne sont pas loin de penser qu'elle pourrait être le signe d'une nouvelle interaction entre le proton et le muon... transmise par une particule qui nécessiterait des tombeaux d'énergie pour être matérialisée, mais dont les effets se feraient déjà sentir dans cette "banale" expérience. *"Nous n'en sommes pas là, mais c'est une possibilité"*, nuance Paul Indelicato.



La sensibilité de cette expérience suffit en tout cas à révéler un hypothétique effet de résonance. Evidemment, comme le précise le théoricien, *“de telles expériences, si elles sont susceptibles d’apporter des informations précises relevant d’une physique de haute énergie, ne permettent pas de mettre en évidence les corpuscules matériels qui y sont associés”*. Mais qui sait si elles ne seront pas bientôt les seules accessibles aux physiciens...



Paul Indelicato, laboratoire Kastler-Brossel, Paris



7 ENVISAGER D'AUTRES UNIVERS PARALLÈLES

L'INTÉRÊT

La piste d'un "multivers" permet de justifier de façon simple la valeur de nombreux paramètres singuliers de nos modèles.

LE PROBLÈME

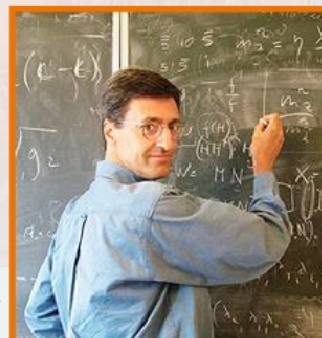
L'existence d'autres univers, par principe, est difficile à trancher. Cependant, ils pourraient avoir laissé des traces dans notre cosmos.

“Les résultats du LHC [le plus puissant des accélérateurs de particules] plaident en faveur de l'existence d'univers parallèles.” Pour Gian Giudice, il faut commencer à se résoudre à l'idée que notre Univers ne serait qu'une minuscule bulle au sein d'un méta-univers qui en contiendrait une infinité d'autres. Vertigineuse, l'idée n'est pourtant pas nouvelle : à peine les physiciens s'étaient-ils

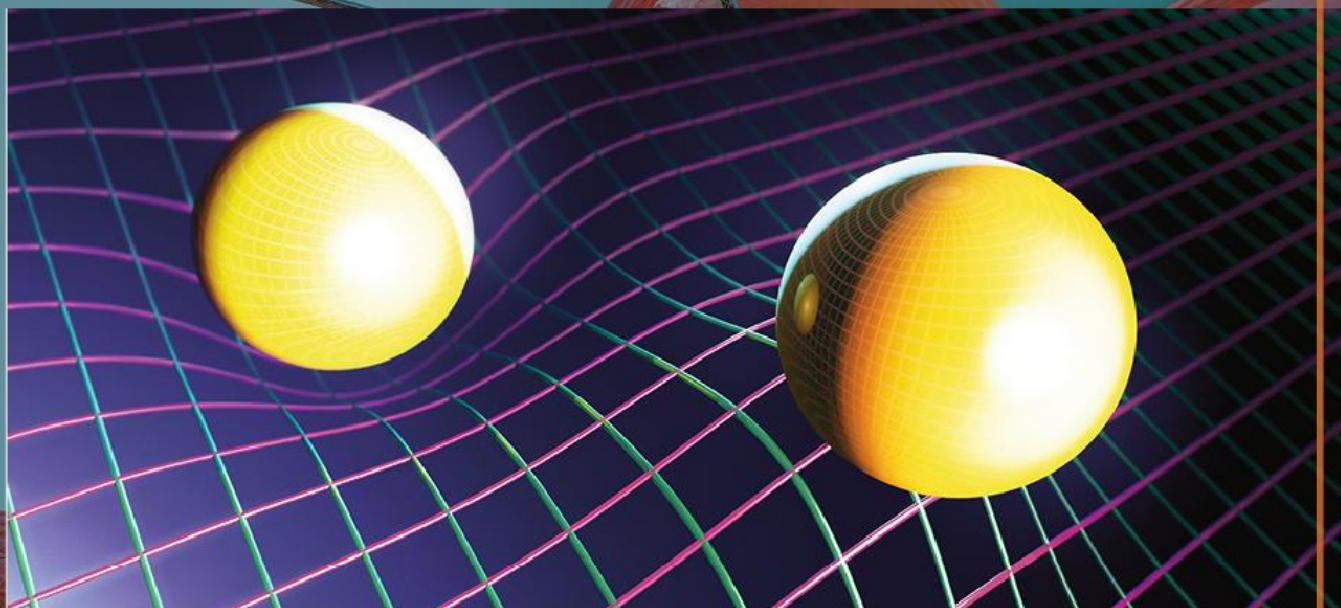
rendu compte, dans les années 1970, que leurs équations faisaient apparaître des termes infinis, qu'ils avaient pensé régler “à la main” certains coefficients de leur théorie... de façon à ce que les termes gênants s'éliminent d'eux-mêmes ! Mais ce réglage tout en finesse ne semblait justifié par aucun principe. A moins d'imaginer un nombre infini d'univers, chacun possédant ses réglages propres : nous n'aurions plus à justifier la valeur singulière de nos coefficients ; juste à constater que nous vivons dans un univers à l'équilibre particulièrement subtil.

Pour autant, cette explication n'avait pas la faveur des physiciens, qui préféraient miser sur l'existence de nouvelles particules. Sauf que

le LHC n'en a découvert aucune... Mieux, selon le théoricien du Cern, la valeur mesurée pour la masse du boson de Higgs, en impliquant que le vide de notre Univers se trouve dans une situation critique, corrobore l'existence d'univers multiples ! Reste à détecter la présence de ces mondes voisins. Les clichés de l'Univers primordial pris par *Planck* pourraient d'ici quelques mois en montrer les premières traces...



Gian Giudice, division théorique du Cern, Genève (Suisse)



8 PROUVER QUE L'ANTIMATIÈRE NE GRAVITE PAS COMME LA MATIÈRE

L'INTÉRÊT

Les amendements que cette découverte impose à la théorie de la gravitation pourraient rendre inutile la quête de la matière noire.

LE PROBLÈME

A cause de la faible intensité de la gravitation, la différence de ses effets sur la matière et l'antimatière est difficile à mesurer.

"Des quatre interactions fondamentales, la gravitation est la plus mal connue. Il faudrait notamment déterminer comment elle agit sur l'antimatière pour mieux la cerner."

Au Cern, à Genève, Michael Doser parie que cette piste sera féconde. Il espère être le premier, d'ici deux à trois ans, à déterminer si la force qui fait tomber les pommes et autres atomes de matière se comporte différemment pour leurs

alter ego d'antimatière. Sachant que la plus petite différence pourrait chambouler tout ce que les spécialistes croient savoir de la matière, de l'espace et du temps... Comment compte-t-il parvenir à ses fins ? En regardant tomber des antiatomes ! L'expérimentateur entend fabriquer un faisceau unidirectionnel d'antiatomes (soit des antiprotons autour desquels tournent des antiélectrons) et étudier leur comportement dans un mouvement de chute libre, à la manière d'un Galilée déterminant la loi de la chute des corps en observant tomber les cailloux.

En l'état, la relativité générale, l'actuelle théorie de la gravitation, impose l'égalité entre matière et antimatière face à la pesanteur. Mais, comme l'indique le physicien,

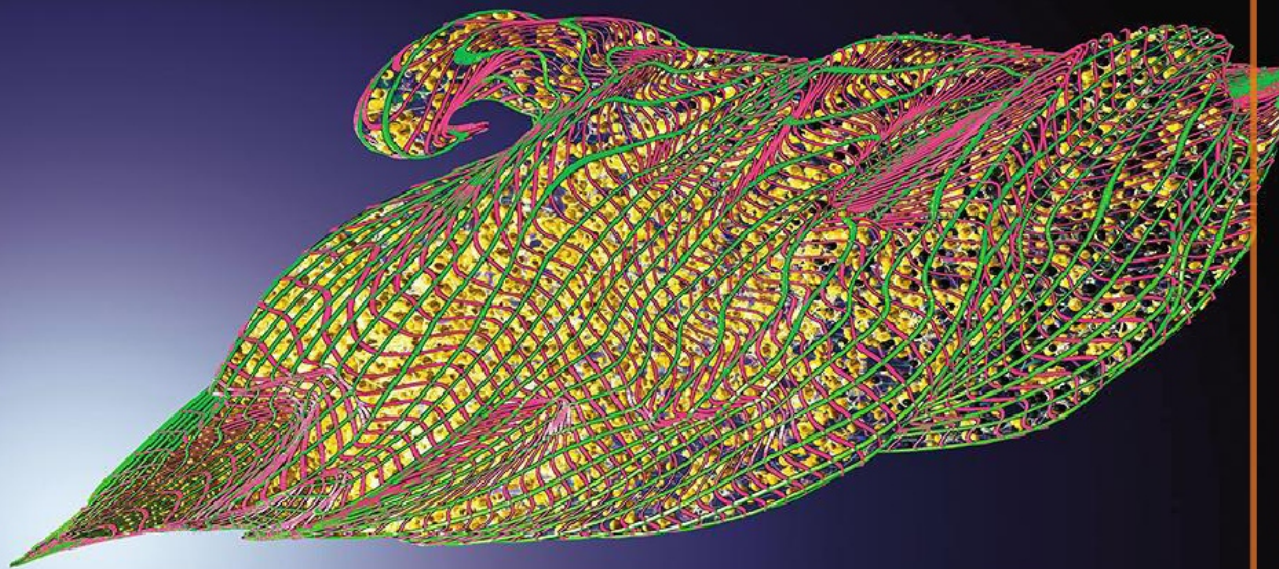
"seule une expérience pourra trancher". La question est d'autant plus pertinente que tout indique que la théorie d'Einstein, incompatible avec les lois quantiques qui gouvernent l'infiniment petit (des atomes aux particules élémentaires), ne peut en aucun cas constituer l'ultime théorie de la gravitation. Plusieurs physiciens proposent même de faire une croix sur certains de ses principes fondateurs... et d'admettre que matière et antimatière ne devraient pas tomber à la même vitesse.

Si tel était le cas, les concepts modernes d'espace et de temps, intimement liés à la théorie d'Einstein, devraient être corrigés. Pour l'heure, il est difficile d'en mesurer toutes les conséquences. Qui sait si la preuve d'une

modification à apporter à la relativité générale via son action sur l'antimatière ne bouleverserait pas aussi l'idée même de matière ? *"Certaines de ces extensions de la relativité générale pourraient rendre compte des observations des astronomes sans invoquer cette mystérieuse matière noire que personne n'a jamais vue",* assure Michael Doser. D'où l'importance de répondre à cette question : comment gravite l'antimatière ?



Michael Doser, Cern, Genève (Suisse)



9 Doter notre espace d'une quatrième dimension

L'INTÉRÊT

Ce bouleversement du cadre spatial résout le problème de l'énergie sombre, qui concentre les deux tiers du contenu de l'Univers.

LE PROBLÈME

Cette nouvelle dimension est difficile à détecter. Des expériences de gravitation à petite échelle proposent de le faire dans les prochaines années.

"L'espace possède peut-être une quatrième dimension." Pour Alain Blanchard, c'est la meilleure façon de résoudre le problème de l'énergie sombre, imaginée pour rendre compte de l'accélération de l'expansion de l'Univers. Le cosmologiste part d'un constat ancien: cette énergie sombre ressemble en tout point à l'énergie qui, selon la mécanique quantique, est engendrée par les incessantes fluctua-

tions agitant le vide, même si celui-ci ne contient a priori... rien. Seul problème, la valeur calculée pour cette énergie du vide est supérieure de 115 ordres de grandeur à la valeur observée pour l'énergie sombre – soit approximativement la différence entre le volume de l'Univers observable et celui d'un atome. Irréconciliables... A moins, propose Alain Blanchard, de doter l'espace d'une quatrième dimension, minuscule et repliée sur elle-même, où s'engloutirait une grande partie de cette embarrassante énergie du vide.

Il faut ici imaginer l'espace comme une sorte de mousse recélant cette dimension cachée en chaque point. En s'inspirant, par exemple, de la fourmi sur un fil. A notre échelle, nous la voyons

se déplacer sur une ligne, c'est-à-dire sur un espace à une seule dimension. Tandis qu'elle, qui se déplace sur la circonférence du fil, parcourt un espace à deux dimensions. Cette dimension spatiale supplémentaire est proche de celle imaginée par le chercheur. Son idée: en jouant sur la géométrie du vide, induire une modification de ses fluctuations, de telle sorte que leur effet s'apparente exactement à l'énergie sombre.

Jusqu'ici, de telles tentatives ont produit un effet inverse à celui recherché, la quatrième dimension faisant plutôt ralentir l'expansion. Mais Alain Blanchard apporte un nouvel élément: *"Au début de son histoire, la taille du cosmos était plus petite que celle de la dimension supplémen-*

taire. Il s'y déployait donc sans que cette dernière ait un effet sur les propriétés du vide." En admettant ce point, énergie du vide et énergie sombre peuvent s'ajuster. Le chercheur assure que l'existence de cette quatrième dimension pourrait être testée dans les prochaines années, en sondant l'effet de la gravitation à l'échelle micrométrique. Ce qui ouvrirait de nouvelles perspectives aux autres problèmes de la physique fondamentale.



Alain Blanchard, Observatoire Midi-Pyrénées, Toulouse

IL Y A UN SIÈCLE, DÉJÀ, LA RÉVOLUTION...

Etrange présage? Tous les signes qui annonçaient alors un bouleversement de la physique s'accumulent à nouveau aujourd'hui.

"Il est très difficile de faire des prédictions, en particulier lorsqu'elles concernent l'avenir", disait non sans malice Niels Bohr, l'un des pères fondateurs de la mécanique quantique. Il n'empêche, une chose frappe: l'étonnante similitude entre la situation dans laquelle se trouve aujourd'hui la physique et celle ayant précédé les révolutions quantique et relativiste au début du XX^e siècle. Un point commun ressemblerait à une coïncidence. Deux, passe encore. Mais trois... Les théoriciens eux-mêmes ne cessent de faire l'analogie. Au point que tous en sont désormais persuadés: la physique s'apprête à vivre une révolution de la même ampleur que celle d'il y a 100 ans!

DES RÉSULTATS DÉCONCERTANTS

Tous les signes sont là. Le premier: des expériences négatives. Aujourd'hui comme hier, les physiciens sont confrontés au silence déroutant des machines. Ceux des années 1880 butaient sur un sérieux problème: s'ils avaient la preuve de l'existence des ondes électromagnétiques, ils ne comprenaient pas comment elles se propageaient dans l'espace. Raison pour laquelle ils inventèrent la notion d'éther, milieu hypothétique de nature inconnue censé porter la lumière, de la même manière que l'eau ou l'air permettent aux ondes sonores de voyager. Ainsi, en 1887, deux expérimentateurs américains, Albert Abraham Michelson et

Edward Morley, mirent au point une expérience visant à mettre en évidence l'existence de cet éther. Sauf qu'à la stupefaction générale, leur détecteur resta muet. A l'époque, ce résultat fut vécu comme un drame. Aujourd'hui, il en va autrement. Comme l'explique Pasquale Serpico, au Laboratoire d'Annecy-le-Vieux de physique théorique, *"cette expérience est le résultat négatif le plus important de l'histoire de la physique"*. Et pour cause! Le silence de la machine portait en lui les germes de la relativité restreinte qui, introduite par Albert Einstein en 1905, dynamitait l'éther en même temps qu'elle révolutionnait les notions d'espace et de temps. Et le physicien ajoute: *"Il est tout à fait possible que l'absence de nouvelle physique au LHC soit du même ordre."*

Pour le comprendre, il faut revenir à la raison d'être de l'accélérateur géant de particules: découvrir le boson de Higgs, certes, mais surtout ouvrir en grand les portes d'un nouveau continent physique ignoré par le modèle standard, et dont les théoriciens sont persuadés de l'existence depuis quarante ans. Les contours de ce continent étaient censés se dessiner sous la forme de nouvelles briques élémentaires, matérialisées dans le creuset du LHC. *"D'aucuns pensaient même qu'il serait plus facile de mettre en évidence des signes de cette nouvelle physique que de découvrir le Higgs"*, rappelle Gilles Cohen-Tannoudji, au Laboratoire

des recherches sur les sciences de la matière (Larsim, CEA-Saclay). Comme dans le cas du détecteur de Michelson et Morley, ce silence est inattendu.

En un sens, il en va de même pour les premiers résultats issus de l'analyse des clichés pris par *Planck*. En captant les toutes premières particules de lumière, le satellite a divulgué des informations inédites sur l'inflation, cette phase d'expansion fantastique au cours de laquelle les dimensions de l'Univers auraient été multipliées par dix millions de milliards de milliards,



▲ Un siècle après la théorie de la relativité introduite par Einstein, qui secoua le monde de la physique fondamentale, la discipline semble aux portes d'un bouleversement similaire...

entre 10^{-38} et 10^{-30} seconde environ après l'étincelle initiale. Or, les caractéristiques de cette étape primordiale de l'histoire du cosmos se sont révélées compatibles avec les plus simples des modèles d'inflation, alors que de nombreuses autres théories cosmologiques imaginées pour dépasser le modèle standard de la physique des particules attendaient un signe en leur faveur... Idem pour les expériences de détection directe de la matière noire déployées, en vain, depuis plus de quinze ans: là aussi, silence radio...

Le mutisme de nos machines est-il de ceux qui précèdent les grandes révolutions? Ces rendez-vous ratés avec des découvertes attendues seront-ils le signe annonciateur de bouleversements autrement plus puissants? C'est ce que pressent Marco Cirelli, à l'Institut de physique théorique du CEA-Saclay: "*Le LHC fait penser à l'expérience de Michelson et Morley. Ces derniers n'ont pas trouvé l'éther, mais derrière il y a eu Einstein!*" Car le silence est propice à l'imagination débridée des théoriciens: Einstein →

UNE SEULE RÉVOLUTION... OU PLUSIEURS À LA FOIS ?

Entre la fin du XIX^e siècle et le début du siècle suivant, la physique n'a pas connu une seule révolution, mais deux: la révolution relativiste qui, en 1905 dans sa version restreinte, puis en 1915 dans sa version générale, a bouleversé les concepts de temps et d'espace; et la révolution quantique qui, dans les années 1920, a dynamité la vision traditionnelle de la matière. De même, combien d'idées révolutionnaires seront nécessaires pour résoudre les difficultés auxquelles fait aujourd'hui face la physique fondamentale: une, deux, plus ? Par exemple, la découverte de nouvelles entités (neutrinos, axions...) suffira-t-elle à donner un visage totalement cohérent à la matière ? Ou bien faudra-t-il en même temps admettre que l'espace possède des dimensions ou des extensions parallèles, que le temps doit être remodelé, que la mécanique quantique doit être repensée ou que la théorie de la relativité doit être dépassée ? Impossible, bien sûr, de répondre. Mais s'il est possible qu'aucune des neuf idées qui proposent, dans les pages précédentes, de faire la révolution ne soit valable, il est possible aussi qu'à l'inverse, notre future représentation de la matière, de l'espace et du temps soit un patchwork de plusieurs d'entre elles.

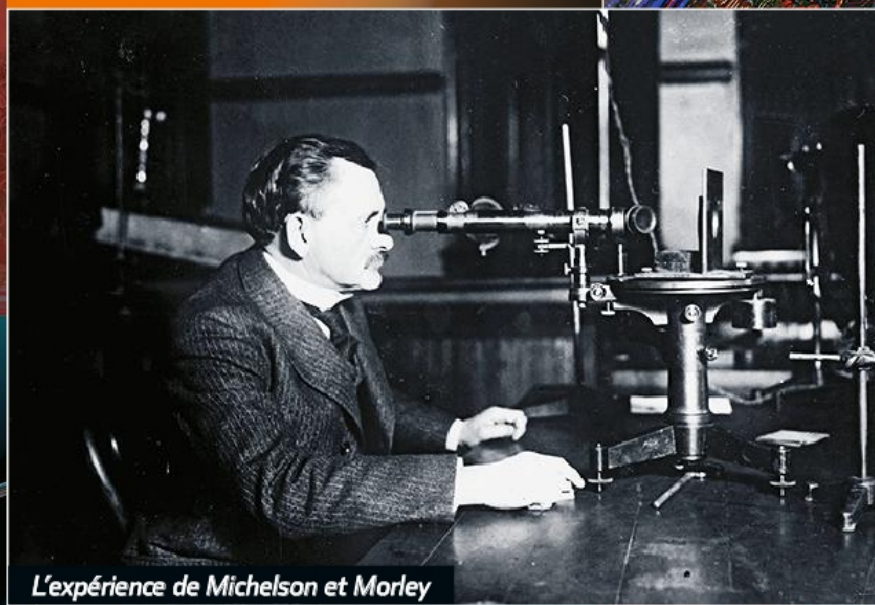
Les 3 signes d'une nouvelle révolution

La situation de la physique fondamentale, en ce début de XXI^e siècle, ressemble à celle ayant présidé aux bouleversements quantique et relativiste du début du XX^e. Sur trois points en particulier.

LA SIMILITUDE EXPÉRIMENTALE

LE SILENCE DES MACHINES

A la fin du XIX^e, le mutisme du détecteur de Michelson et Morley a sidéré les physiciens, qui ont dû revoir leurs concepts d'espace et de temps. Or, le LHC, l'accélérateur de particules géant du Cern, n'est pas plus loquace... Qui sait s'il ne faudra pas apporter des changements majeurs au modèle standard pour pouvoir interpréter correctement ce silence ?



L'expérience de Michelson et Morley

→ n'a pas fait sa révolution à partir de la découverte expérimentale d'un nouvel ingrédient de la nature permettant l'extension des théories en place, mais après une profonde réorganisation des équations et concepts existants.

UNE EMPHASE PRÉMATURÉE

La deuxième grande similitude est d'ordre culturel, voire psychologique : aujourd'hui comme il y a un siècle, les physiciens sont arrivés au terme d'un grandiose effort de synthèse... qui a en

partie échoué ! *"La science physique forme actuellement, pour l'essentiel, un ensemble parfaitement harmonieux, un ensemble pratiquement achevé !"*

La phrase, prononcée par le savant anglais Lord Kelvin à la fin du XIX^e siècle, est restée célèbre. A l'époque, pour lui comme pour la plupart de ses pairs, les grands principes et les lois gouvernant l'Univers ont été décryptés. James Clerk Maxwell a montré que les phénomènes électriques et magnétiques sont en réalité les manifestations différentes

d'un ensemble de lois pouvant être décrites conjointement dans une unique théorie : l'électromagnétisme ; la théorie newtonienne de la gravitation fait des merveilles pour prédire les mouvements des astres, allant jusqu'à révéler l'existence d'une nouvelle planète, Neptune, à partir de la trajectoire perturbée d'Uranus ; la thermodynamique donne une vision unifiée de l'énergie et des phénomènes thermiques, en même temps qu'elle justifie l'existence des atomes, dans sa version microscopique. Le savant anglais s'autorise donc l'emphase... On connaît la suite ! Quelques décennies plus tard, les révolutions relativiste et quantique bouleversent le cadre spatio-temporel de la physique fondamentale, dynamitant toutes les théories de l'infiniment petit imaginées jusqu'alors...

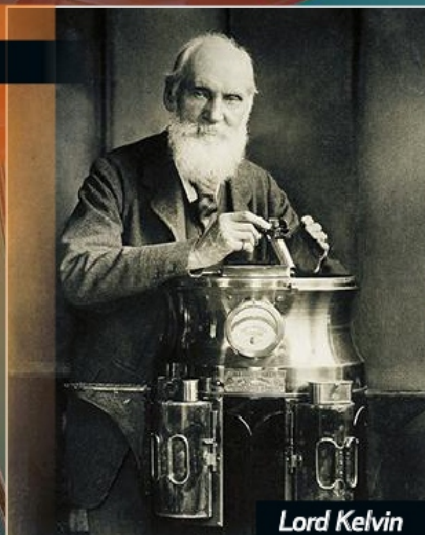
Etrangement, la même histoire semble s'être répétée au cours de ces dernières décennies. Dans les années 1970, les physiciens ont mis sur pied leur fameux modèle standard, qui intègre dans un formalisme commun, avec une précision diabolique,



L'expérience du LHC

LA SIMILITUDE CULTURELLE L'EUPHORIE... PUIS LA DÉSILLUSION

Au milieu du XIX^e siècle, beaucoup de physiciens étaient d'accord avec Lord Kelvin pour considérer, à tort, la physique comme "un ensemble pratiquement achevé". Comme l'exprime l'astrophysicien Stephen Hawking, qui se sent proche de connaître "la pensée de Dieu", une euphorie semblable s'est emparée des physiciens à la fin du XX^e... suivie d'une douche froide après les derniers résultats du LHC.



Lord Kelvin



Stephen Hawking

l'ensemble des particules connues et des forces fondamentales qui se manifestent à l'échelle microscopique. Dans le même temps, la relativité générale, introduite par Einstein en 1915, a permis aux cosmologistes d'écrire l'histoire de l'Univers avec un luxe de détails, dont tous ont été confirmés par l'observation. De quoi disposer d'un modèle standard cosmologique qui, allié à son *alter ego* pour l'infiniment petit, offre une vision unifiée de la matière, de l'espace et du temps depuis le big bang. Dans cette période aux allures triomphales, de nombreux physiciens

AU JOURD'HUI COMME HIER, LES PHYSICIENS ONT CRU ÊTRE ARRIVÉS AU BOUT DU CHEMIN

ont pensé qu'ils n'étaient plus très loin de disposer de cette "théorie du tout", un Graal capable de donner une vision unifiée de l'ensemble des phénomènes physiques de l'Univers. Ils ont même imaginé y être parvenus avec la théorie des cordes. Arrivée à

maturité au milieu des années 1980, elle postule que l'ensemble des forces et des particules de l'Univers ne sont que les différentes manifestations d'un unique objet microscopique: une corde. Et offre un cadre permettant de réconcilier sur le papier mécanique quantique et relativité générale, les deux "sœurs ennemies", *a priori* incompatibles, de la physique du XX^e siècle.

Un peu à l'instar de Lord Kelvin à la fin du siècle précédent, une grande partie des physiciens de la fin du XX^e siècle étaient ainsi persuadés, à quelques

détails près, qu'ils n'étaient pas loin de graver dans le marbre les lois les plus fondamentales qui régissent notre Univers. Pour s'en convaincre, il n'y a qu'à relire la conclusion du *best-seller* de l'astrophysicien Stephen Hawking, *Une brève histoire du temps* (1988). S'il admet qu'un peu de travail reste à faire, il n'hésite tout de même pas à écrire: "Si nous trouvons la réponse à cette question [celle de l'unification de la mécanique quantique et de la relativité générale], ce sera le triomphe ultime de la raison humaine – à ce moment, nous connaissons la pensée de Dieu." Une emphase qui n'est pas sans en rappeler une autre... →

Vitesse de la lumière

→ Mais aujourd'hui, après ces décennies d'euphorie, quelle est la situation ? Pour ses détracteurs, de plus en plus nombreux, la théorie des cordes s'est changée en une hydre monstrueuse, capable de prédire tout et n'importe quoi. "J'ai coutume de dire que la théorie des cordes est l'avenir de la science. Le problème, c'est qu'elle le sera toujours !", s'amuse Alvaro De Rújula, ancien directeur de la division théorique de l'Organisation européenne pour la

LA RÉVOLUTION, OUI MAIS... IMPOSSIBLE DE PRÉDIRE SI ET QUAND ELLE AURA LIEU

recherche nucléaire (Cern). Au-delà des cordes, c'est le projet même d'unification qui est remis en cause. "L'unification a été un grand guide, mais il est possible qu'il soit nécessaire de changer totalement de paradigme", analyse Gilles Cohen-Tannoudji, au Larsim. Et son collègue Alexei Grinbaum de renchérir : "Nous sommes parvenus au terme des idées développées depuis les années 1920, à l'origine du modèle

LA SIMILITUDE THÉORIQUE DES CONSTANTES QUI S'IMPOSENT

Il y a un siècle, le renouveau de la physique est allé de pair avec la prise en compte de deux nouvelles constantes fondamentales : celle de Planck pour la mécanique quantique, et la vitesse de la lumière pour la relativité. Les théoriciens considèrent depuis peu qu'une autre constante, dite cosmologique, joue probablement aussi un rôle prépondérant pour comprendre l'évolution de l'Univers.

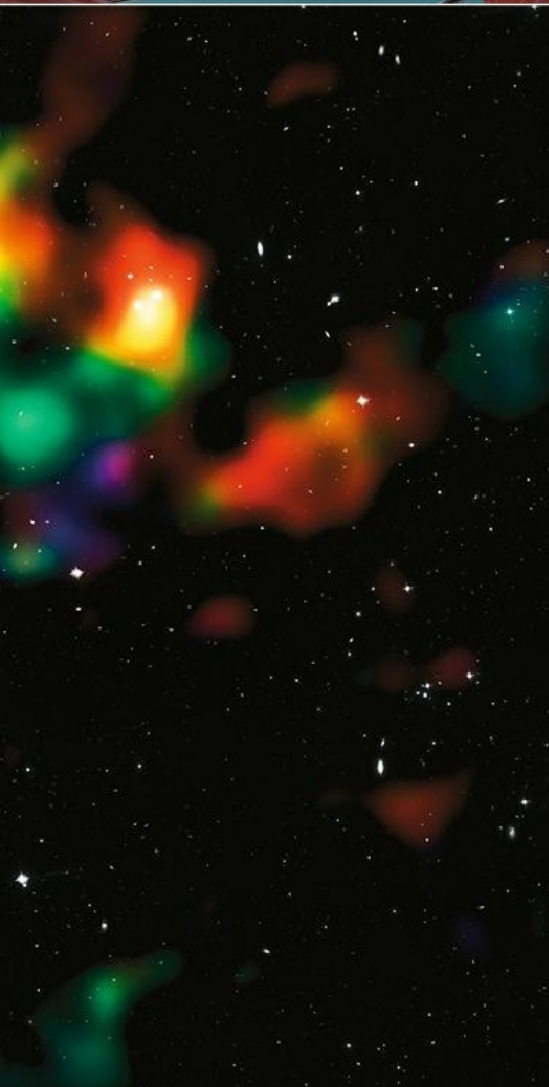
standard et de ses extensions." Des extensions qui, pour Pierre Vanhove, à l'Institut des hautes études scientifiques de Bures-sur-Yvette, "évoquent les modèles proposés à la fin du XIX^e siècle pour expliquer l'anomalie de l'avance du périhélie – le point d'orbite le plus rapproché du Soleil – de Mercure. Bien que peu élégants, ils n'étaient pas idiots du tout, et certains

rendaient même assez bien compte des données astronomiques. Sauf que l'anomalie mercurienne n'a été vraiment comprise que dans le cadre de la relativité d'Einstein..." Bref, tout cela rappelle une autre période. Une période prérévolutionnaire.

Et, comme si ce n'était pas suffisant, Gilles Cohen-Tannoudji met en avant une troisième similitude, peut-être plus fondamentale encore.

Constante cosmologique

"La révolution du début du XX^e siècle a été marquée par la redécouverte du rôle fondamental des constantes universelles, expose-t-il. Ainsi, la vitesse de la lumière, constante associée à la relativité, a pris la signification d'une limite indépassable. De même, la constante de Planck de la mécanique quantique indique qu'il est impossible de réaliser une mesure sur un système physique sans le perturber. Or, depuis la découverte de l'accélération de l'expansion de l'Univers en 1998, nous avons assisté au grand retour de la constante cosmologique [un paramètre ajouté par Einstein à ses équations pour contrebalancer l'expansion d'un Univers qu'il supposait statique, avant d'être renié] dans les équations de la cosmologie. Je pense donc que



ET SI ON NE POUVAIT PAS ALLER PLUS LOIN...

Et si le silence des machines, plutôt qu'annonciateur d'une révolution, était un signe que les physiciens sont plus près que jamais d'en avoir fini avec les lois les plus fondamentales de la nature ? *"Selon moi, la leçon à tirer du LHC est qu'en réalité, le modèle standard des particules élémentaires est bien plus proche d'être une théorie unifiée des phénomènes physiques que ne le croient la plupart des gens",* plaide Peter Woit, à l'université Columbia (New York). Et d'ajouter : *"Certes, il reste des choses à comprendre, mais c'est en étudiant en profondeur la structure mathématique du modèle standard que de nouvelles idées émergeront."*

A moins que l'invalidation de quarante ans de spéculations par le LHC soit, au contraire, le premier indice annonçant que les fondements de la réalité physique échapperont à jamais aux

scientifiques... *"Aucun principe n'indique que la capacité de la physique mathématique à décrypter les lois de la nature est sans limite, souligne Aurélien Barrau, au Laboratoire de physique subatomique et de cosmologie de Grenoble. Lorsqu'on fait face à quelque chose que l'on ne comprend pas, la première hypothèse raisonnable est bien sûr de considérer que l'on n'a pas tout essayé, que de nouveaux objets ou concepts sont à introduire. Mais si, d'ici un siècle, nous ne parvenons toujours pas à décrire convenablement la gravité quantique, par exemple, peut-être faudra-t-il se dire qu'il n'est pas exclu qu'une partie de la réalité ne se laisse pas appréhender par la physique. Cela n'aurait rien de scandaleux."* Vu les innombrables succès remportés par la physique mathématique, cela serait assurément une révolution !

nous sommes à la veille d'une nouvelle révolution scientifique, qui sera associée à la prise en compte du rôle fondamental de cette constante supplémentaire." Et d'ajouter : "L'analogie avec la fin du XIX^e siècle est extraordinaire !"

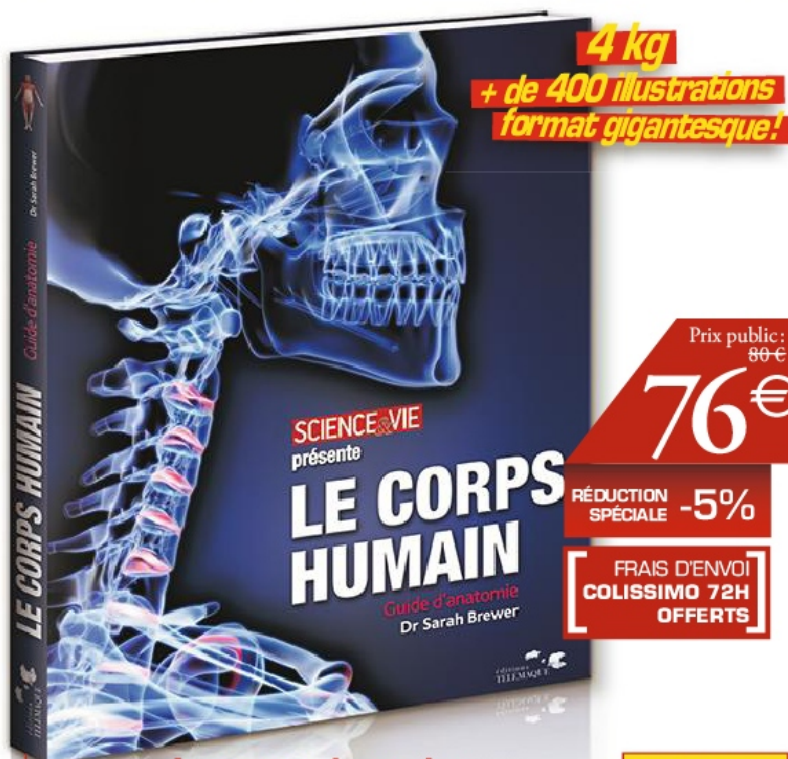
UN ENTHOUSIASME GRANDISSANT

Similitudes dans le contexte expérimental, culturel, théorique... Si tous les ingrédients pour une nouvelle révolution semblent sur la table, personne ne peut évidemment en donner la date – ni même garantir qu'elle aura vraiment lieu (voir encadré ci-dessus). *"On va peut-être buter deux, dix ou cinquante ans, c'est impossible à dire",* lâche Laurent Derome, au Laboratoire de physique subatomique et de cosmologie de Grenoble. *"Face à quelque*

chose que l'on ne comprend pas, cela peut prendre un an ou un siècle avant que la situation se débloque", ajoute Pasquale Serpico. Dans le cas de l'expérience de Michelson et Morley, il a fallu attendre dix-huit ans avant qu'Einstein comprenne comment se passer de l'éther. Mais dans le cas de l'émission de lumière par les atomes, dont les savants du XIX^e siècle s'étonnaient qu'elle ne se fasse qu'à des fréquences bien précises, le mystère a perduré quatre-vingts ans, jusqu'à l'avènement de la mécanique quantique... Si l'on en croit les signes, les silences du LHC ou de Planck pourraient signifier que nous ne sommes qu'au début de nos surprises. Passé la douche froide, l'enthousiasme est palpable. *"On est dans une phase d'exploration un peu folle",* témoigne

Alexei Grinbaum. *"On va peut-être vers un véritable feu d'artifice, c'est en réalité très excitant",* ajoute Fabrice Piquemal, directeur du Laboratoire souterrain de Modane.

Tandis que se multiplient les idées susceptibles de dynamiter les concepts les plus profonds de la physique fondamentale, tout le monde attend les nouveaux résultats issus de l'accélérateur de particules, qui redémarrera en 2015, ainsi que ceux du satellite, promis d'ici un an. S'agira-t-il à nouveau de résultats négatifs ? Assurément, il règne ces temps-ci une drôle d'ambiance dans la petite communauté des spécialistes chargés de s'accorder sur notre représentation de la matière, de l'espace et du temps. Une ambiance qui, à une autre époque, a inspiré la révolution. ■



Le corps humain
comme vous ne l'avez jamais vu!

Une référence absolue en anatomie. Un magnifique ouvrage pour tous, étudiants, praticiens ou simples passionnés de biologie humaine.

Le corps humain, guide d'anatomie

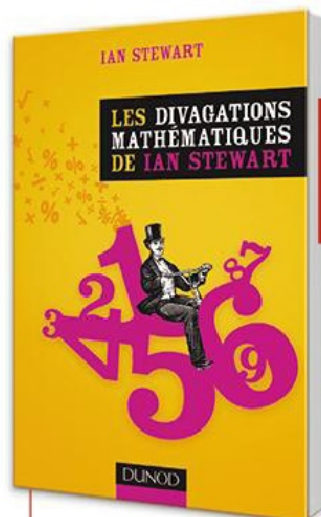
DIM. 35,3 x 43 cm - 176 PAGES. COUVERTURE CARTONNÉE SOUS JAQUETTE.
ÉD. TÉLÉMAQUE/SCIENCE&VIE

Prix public: 80€
76€

RÉDUCTION SPÉCIALE -5%

FRAIS D'ENVOI
COLISSIMO 72H
OFFERTS

PARTENARIAT
SCIENCE & VIE



LE LIVRE
18€
seulement

Envie de mises en bouche mathématiques?

Original, ludique et scientifique, ce livre est une ode aux mathématiques, avec 20 sujets traités : relation entre nombres premiers et sauts de kangourou, forme d'une larme, cadence mathématiques d'une marche de quadrupèdes...

Les divagations mathématiques

AUTEUR : IAN STEWART. 272 PAGES. DIM. 14x22 cm. DUNOD.

LES INSOLITES DU MOIS



Essayez vite ces incroyables billes magnétiques...

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

Billes incroyables magnétiques Buckyballs® - 29,90€

125 BILLES AIMANTÉES, ORIGINE TERRES RARES.
DIAMÈTRE : 0,5 cm.
FINITION NICKEL CHROME.

Déstressant et ludique!



29,90€
seulement



Fan de figures géométriques?

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

Barres incroyables magnétiques Bezû barz® - 29,90€

36 BARRES, ORIGINE TERRES RARES. LONGUEUR : 2,4 cm.
DIAMÈTRE : 0,5 cm. FINITION NICKEL CHROME.

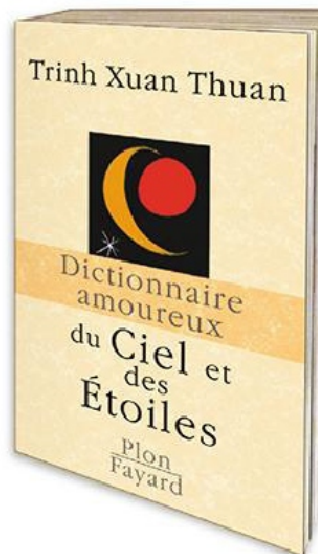
Vidéo explicative
sur notre site web!



La boutique SCIENCE & VIE

www.laBoutiqueScienceetVie.com

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



Prix public : 26,50€
25,18
RÉDUCTION SPÉCIALE -5%

Portez un regard nouveau sur l'astrophysique...

De l'Âge de l'univers à Zodiaque, en passant par Antimatière, Tycho Brahé, Théorie des cordes, ou encore Pouponnière stellaire, redécouvrez avec poésie les grands concepts clés de l'Univers.

Dictionnaire amoureux du Ciel et des Étoiles

AUTEUR : TRINH XUAN THUAN. 1088 PAGES. DIM. : 132 x 201 mm. PLON.

L'idée PRATIQUE du mois

100% légal

Mise à jour automatique France



Spécial anti-PV!

Cet outil d'aide à la conduite vous alerte par des annonces vocales à l'approche d'une « zone dangereuse ou à risques » si vous dépassez la vitesse limite autorisée. Il affiche aussi sur son écran votre vitesse réelle et la vitesse maximale autorisée.

LE GPS
39,90
seulement

GPS Assistant d'Aide à la Conduite

MODULE GPS : SIRF STAR III. BASE DE DONNÉES FRANCE. MISE À JOUR : 15 SEC. CHOIX DU RÉGLAGE DU SYSTÈME D'ALERTE EN UNITÉ « TEMPS » OU « DISTANCE ». COMPATIBLE TOUTS PARE-BRIS. LIVRÉS AVEC CÂBLE USB, 2 AIMANTS DE FIXATION, 2 PRISES ALLUME-CIGARE ET HOUSSE DE TRANSPORT.

POUR COMMANDER ET S'INFORMER

www.laboutiquescienceetvie.com

Exclusivité Internet : Livraison en Points Relais®

Renvoyez le bon de commande avec votre règlement à
La Boutique SCIENCE & VIE - CS 30 271 - 27 092 ÉVREUX CEDEX 9

01 46 48 48 83 (Paiement par CB uniquement)

BON DE COMMANDE

À RENVoyer DANS UNE ENVELOPPE AFFRANCHIE AVEC VOTRE RÈGLEMENT À :
LA BOUTIQUE SCIENCE & VIE - CS 30 271 - 27 092 ÉVREUX CEDEX 9

Articles	Réf.	Quantité	Prix	Sous-total
Livre Le corps humain	353.441	x	76 €	= €
Livre Les divagations mathématiques de Ian Stewart	374.546	x	18 €	= €
Billes magnétiques Bucky Balls	366.005	x	29,90 €	= €
Barres magnétiques Bezi Barz	366.013	x	29,90 €	= €
Livre Dictionnaire amoureux du ciel et des étoiles	374.538	x	25,18 €	= €
GPS 5 Navirad	374.553	x	39,90 €	= €
SOUS-TOTAL				€
FRAIS D'ENVOI (cocher la case de votre choix)				5,90 €
<input type="checkbox"/> Envoi normal				
<input checked="" type="checkbox"/> Ma commande atteint 39€ Envoi Coliéco				GRATUIT
<input type="checkbox"/> Envoi Colissimo suivi (72 h)				8,90 €
<input checked="" type="checkbox"/> Ma commande atteint 75€ Envoi Colissimo suivi 72h				GRATUIT
TOTAL				€

Offres valables en France métropolitaine uniquement dans la limite des stocks disponibles jusqu'au 31/12/2013. Délai de livraison des produits : maximum 3 semaines après l'enregistrement de votre commande sauf si envoi par Colissimo (4 jours max.). Selon l'article L121-20 du code de la consommation, vous disposez d'un délai de 7 jours pour changer d'avis et nous retourner votre colis dans son emballage d'origine complet. Le droit de retour ne peut être exercé pour les enregistrements vidéo déscellés. Les frais d'envoi et de retour sont à votre charge. En application de l'article 27 de la loi du 6 janvier 1978, les informations ci-contre sont indispensables au traitement de votre commande. Elles peuvent donner lieu à l'exercice du droit d'accès et de rectification auprès de Mondadori. Par notre intermédiaire, vous pouvez être amené à recevoir des propositions d'autres organismes. Cochez la case si refus ☐.

> Mes coordonnées

CODE AVANTAGE : 283 127

☐ M. ☐ M^{me} ☐ M^{lle}

Nom _____ Prénom _____

Adresse _____

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

CP [] [] [] [] Ville _____

Tél. _____

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

E-mail _____

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

> Mode de paiement

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

Je règle par carte bancaire

☐ Je règle en 1 fois la totalité de ma commande

☐ Je règle en 3 fois sans frais (à partir de 99€ d'achat)

Carte bancaire N° [] [] [] [] [] [] [] [] [] [] [] [] [] [] [] []

Expire fin : [] / [] / []

Date et signature obligatoires

Cryptogramme [] [] [] [] [] [] [] []

Les 3 chiffres au dos de votre CB

PAIEMENT
3x
SANS FRAIS

VIEILLIR... MOINS VITE

*Des expériences défient
les lois de la nature*



Et si le rêve d'une éternelle jeunesse devenait accessible? C'est ce que laissent entrevoir de fascinantes expériences réalisées chez le ver, le macaque ou le rat, dont des biologistes ont réussi à prolonger la vie! Une série d'exploits qui ouvre un formidable champ des possibles: freiner le cours du temps, vivre plus vieux et en bonne santé.

PAR ELSA ABDOUN



Vieillir ou non : désormais, le choix est possible... dans les laboratoires. Ces dernières années, plusieurs expériences ont brillamment démontré que la science savait freiner le cours du temps – en tout cas celui qui coule dans les veines des modèles animaux. Doubler la durée de vie d'un individu tout en lui assurant une forme olympique au cours de sa longue existence ? Une telle prouesse n'a plus rien d'une utopie. Alors que le vieillissement semblait encore, il y a peu, le plus inéluctable des processus, les résultats impressionnants s'enchaînent. Et réveillent le fantasme d'une espèce humaine capable de repousser ses propres limites biologiques... Vivre cent ans, cent vingt ans, voire au-delà, en parfaite santé.

Pourtant, la nature profonde du vieillissement nous échappe encore. Pourquoi les organismes vieillissent-ils ? Répondre à cette question représente l'un des défis les plus captivants de la science. Pour certains théoriciens, le vieillissement est un simple dommage collatéral, inutile mais inséparable des processus nécessaires à la vie. Pour d'autres, au contraire, il s'agit d'un programme sélectionné par l'évolution pour pousser les organismes à l'auto-destruction, et laisser la place aux générations suivantes.

DES LABOS EN ÉBULLITION

Ces visions opposées nourrissent de vifs débats. Surtout, elles chapeautent chacune un grand nombre de théories décrivant les processus biologiques en jeu. En s'intéressant au comment, les chercheurs espèrent remonter à la cause biologique première, et ainsi arriver un

METTRE À LA DIÈTE + 15 % de chances d'atteindre



jour au pourquoi. Dans les laboratoires, c'est l'ébullition. Jamais autant de nouveaux mécanismes n'avaient été avancés, testés, vérifiés... Chaque équipe étudie des voies différentes (hormones, division cellulaire,

LES BIOLOGISTES ESPÈRENT REMONTER À LA CAUSE PREMIÈRE DU VIEILLISSEMENT

mutations de l'ADN, etc.) sur des modèles différents, et la liste des molécules impliquées dans le vieillissement ne cesse de s'allonger.

Ce foisonnement a débuté il y a vingt ans. Après la découverte, en 1993, de la première mutation capable de doubler, à elle seule, l'espérance de vie des vers de laboratoire. Depuis, *“on inventorie toutes ces molécules comme, au XVIII^e siècle,*

le naturaliste Linné inventoriait les espèces”, compare Simon Galas, de l'Institut transdisciplinaire d'étude du vieillissement. Pour autant, aucune théorie ne prédomine encore. Même celle, déjà ancienne, des fameux radicaux libres – qui accuse ces petites molécules réactives produites par nos cellules et qui est largement reprise par l'industrie agroalimentaire ou cosmétique pour vendre des produits anti-oxydants – ne parvient pas à faire l'unanimité. En réalité, ce sont des centaines de théories qui, désormais, s'imbriquent et coexistent (lire l'encadré p. 79).

Face à une telle profusion, on pourrait s'attendre à ce qu'un nombre important de ces pistes mène à l'impasse, lorsqu'il s'agit d'obtenir des résultats concrets. Au contraire ! Les mécanismes testés se révèlent autant de →



Etre à la diète toute sa vie. L'astreinte est difficile, mais elle paye... si l'on est un macaque ! La restriction calorique augmente les chances de ces primates d'atteindre le grand âge en pleine forme, selon Richard Weindruch (université du Wisconsin, Etats-Unis). En 2009, ce chercheur publiait ses résultats sur des macaques soumis pendant des années à un régime alimentaire strict (30 % d'apport calorique en moins, mais enrichi en vitamines). Dans le groupe, plus de 60 % des individus

< A 27 ans, un macaque qui a été soumis à un régime hypocalorique (à g.) est beaucoup plus en forme.

ont fêté leurs 30 ans – un âge avancé, sachant que l'espérance de vie est normalement de 27 ans. Comparés à des macaques nourris normalement, ils ont 15 % de chances supplémentaires d'y parvenir. De plus, *"ils développent trois fois moins de maladies liées à l'âge, et ont conservé un volume cérébral plus important"*, rapporte Richard Weindruch.

Quatre ans plus tard, les statistiques sont sans appel : d'après le chercheur, l'espérance de vie est beaucoup plus longue chez les singes au régime. Si une autre étude chez les macaques n'a pas retrouvé ces résultats, des dizaines

d'autres, menées sur des rongeurs ou des insectes notamment, confirment le bénéfice d'un régime hypocalorique.

Bientôt chez l'homme ?

Des études tendent bien à confirmer les bienfaits de la diète sur la santé humaine... mais l'impact sur la longévité n'a jamais été démontré. Et la perspective d'une privation alimentaire à vie reste difficilement envisageable. Des molécules capables de mimer les effets de la diète sont donc recherchées. La rapamycine a ainsi montré une action positive, mais au prix d'effets secondaires importants.

ASPERGER D'HERBICIDE + 58 % d'espérance de vie

A l'heure où les pesticides sont sévèrement mis à l'amende, la nouvelle a de quoi surprendre. Asperger régulièrement des vers avec l'un des herbicides les plus utilisés dans le monde, le paraquat, prolonge leur durée de vie ! L'auteur de l'expérience lui-même s'en étonne. *"Nous pensions que*

cela aurait l'effet inverse", raconte Siegfried Hekimi, de l'université McGill, au Canada. L'herbicide induit en effet l'accumulation, dans les cellules, de radicaux libres, des molécules en cause dans le vieillissement. Pourtant, aspergés de la naissance jusqu'à leur mort par de

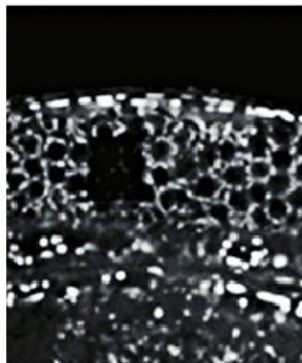
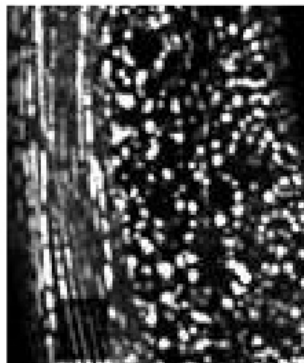
l'herbicide à de faibles concentrations, les vers ont gagné jusqu'à 58 % de longévité, survivant en moyenne vingt-neuf jours au lieu de dix-huit !

"Contrairement à ce que l'on pensait, les radicaux libres pourraient lutter contre le vieillissement, en activant par exemple des signaux de réparation et de protection", propose le chercheur. Un retournement complet de la théorie du stress oxydant (voir l'encadré p. 79), que plusieurs études tendent aujourd'hui à confirmer.

< Dans le muscle (à g.) comme dans les cellules sexuelles (à dr.), l'herbicide fait produire des radicaux libres par les mitochondries (en blanc).

Bientôt chez l'homme ?

Les effets délétères des pesticides sur l'homme étant de plus en plus solidement démontrés, on est très loin de pouvoir utiliser de tels traitements. L'idée même d'administrer des radicaux libres "anti-âge" est prématurée. D'abord parce que le phénomène reste à prouver chez notre espèce; ensuite parce que les radicaux libres sont très toxiques à hautes doses. Il faudrait donc trouver des traitements ciblés, capables d'en activer la production, mais seulement à l'endroit, au moment et dans les quantités voulus, ce qui ne devrait pas être aisé...



→ voies conduisant directement à l'allongement de l'espérance de vie. Choc thermique, régime alimentaire, transplantation d'organes... quelle que soit la méthode, les résultats sont presque toujours probants (voir modules).

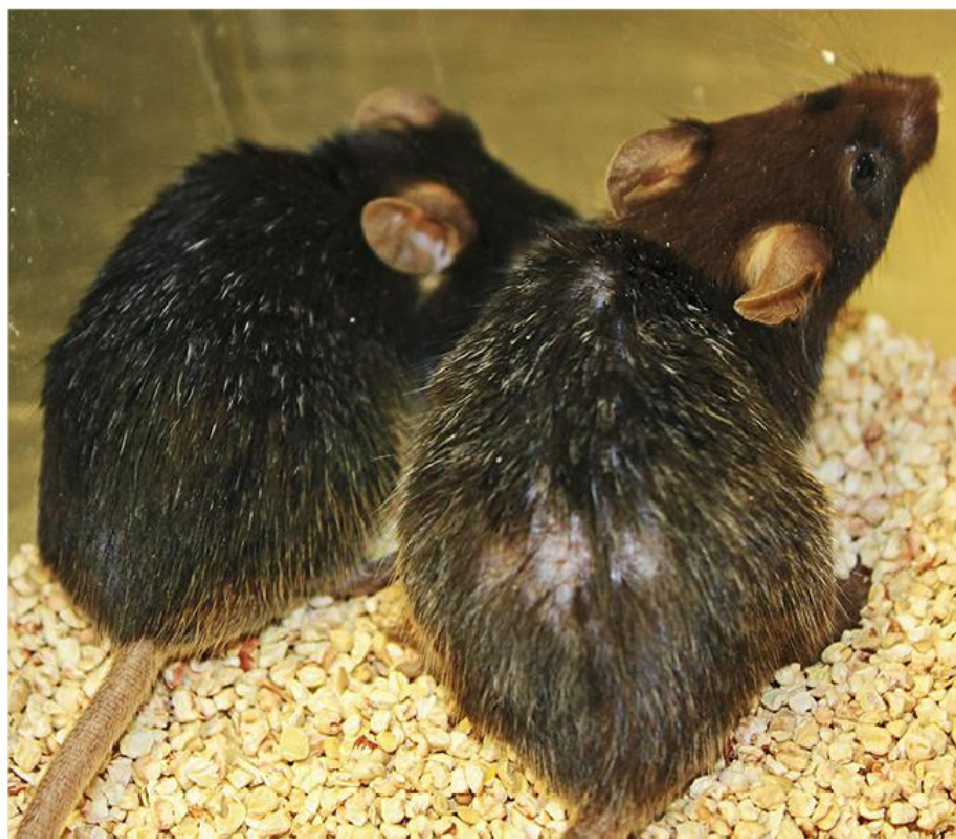
Mais s'il est plaisant d'apprendre que des souris ont pu courir sur leurs roues quelques mois de plus... la médecine pourra-t-elle un jour profiter de ces découvertes? Une chose est sûre, ces exploits portent en eux la promesse de diminuer l'incidence des maladies liées à l'âge (cancers, maladies cardiovasculaires, Alzheimer...) et des symptômes handicapants de la vieillesse (faiblesse musculaire, douleurs articulaires...). En résumé, l'espoir de vivre plus vieux, et en meilleure santé.

ADAPTER LES TESTS À L'HOMME

Sauf que dans la plupart des cas, les interventions réalisées sur l'animal ne peuvent être reproduites tel quel chez l'humain. Trop contraignantes, responsables d'effets secondaires... Les scientifiques devront d'abord identifier des traitements capables de provoquer les effets bénéfiques sans les inconvénients. En 2004, l'Institut national américain sur le vieillissement a lancé un programme visant à tester sur des souris l'effet de médicaments inhibant ou activant les cascades moléculaires identifiées. *"Une quinzaine d'essais ont déjà eu lieu"*, affirme Richard Miller, de l'université du Michigan (Etats-Unis), qui participe au programme. Si quelques-uns ont engrangé des succès, *"on est encore très loin des essais cliniques"*, prévient-il. Mais les progrès de la science sont tels que tous les espoirs sont désormais permis. ■

A. BOUTIN - M.W. DAVIDSON, FLORIDA STATE UNIV. - SCIENCE

RALLONGER LES CHROMOSOMES + 20 % de longévité maximale



Inverser la flèche du temps au point de voir des souris... rajeunir? C'est l'exploit accompli par l'équipe de Ronald DePinho, de la faculté de médecine de Harvard. Pour en saisir l'astuce, il faut savoir que le corps lutte contre l'usure des années en reconstituant des stocks de cellules neuves pour maintenir en état les organes. Or, à chaque fois qu'une cellule se multiplie, les extrémités de ses chromosomes (les télomères) raccourcissent... jusqu'à atteindre le point où les cellules ne peuvent plus se multiplier. Condamné, l'organisme perd alors la capacité à renouveler ses tissus. Or, le

chercheur a réussi, sur des souris mutantes, à réactiver la fabrication d'une molécule, la télomérase... chargée de rallonger les télomères! Les organes vitaux des animaux traités ont regagné en volume et en efficacité.

Maria Blasco, du Centre espagnol de recherche contre le cancer, a mené cette expérience, par thérapie génique cette fois, en provoquant chez des souris normales la surexpression du gène de la télomérase. Résultat : la moitié des souris ont vécu plus de 130 semaines, contre 100 dans le groupe des souris non traitées. La longévité maximale

▲ A 48 semaines, la souris traitée contre l'usure de ses chromosomes (à g.) est en meilleure santé qu'une souris de 35 semaines (à dr.).

passant d'environ 150 à 180 semaines.

Bientôt chez l'homme ?

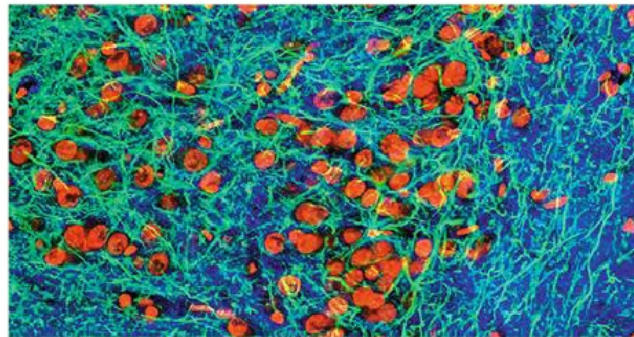
Pas en l'état. La thérapie génique est une méthode pionnière, difficile à maîtriser. Les scientifiques tablent plutôt sur la découverte d'une molécule "médicament", capable de rallonger les télomères dans nos cellules. Sauf qu'un tel traitement pourrait également induire une multiplication anarchique des cellules et l'apparition de tumeurs cancéreuses...

RÉDUIRE L'INFLAMMATION CÉRÉBRALE + 13 % de longévité maximale

Reproduction, métabolisme... Si l'hypothalamus, une région du cerveau qui dirige un grand nombre de fonctions vitales, régule leur fonctionnement, il doit peut-être également régner sur leur dysfonctionnement progressif. Protéger des outrages du temps cette zone cérébrale suffirait-il à enrayer le vieillissement ? A cette question de bon sens, pourtant jamais encore étudiée, Dongsheng Cai, de la faculté de médecine Albert Einstein, à New York, vient de répondre par l'affirmative. Il a, pour cela, réduit l'inflammation dans l'hypothalamus de souris en y insérant un gène

inhibiteur d'une molécule inflammatoire. Certaines souris ont survécu au-delà de 171 semaines, alors que le record dans le groupe non traité se situait autour de 142 semaines. De plus, ces doyennes hors du commun ont vu leurs performances cognitives et leur force musculaire se renforcer, leur peau s'épaissir et leurs os se densifier.

Derrière cette cure de jeunesse se cache une hormone (GnRH), dont la production par l'hypothalamus diminue à mesure que l'inflammation augmente. Son injection quotidienne, pendant plusieurs semaines, dans le sang



▲ L'inflammation dans l'hypothalamus des rongeurs (une zone du cerveau liée à de nombreuses fonctions vitales, ici en coupe) accélère le vieillissement.

de souris âgées, a fortement diminué chez elles les symptômes de la vieillesse.

Bientôt chez l'homme ?

"Nous avons été contactés par des compagnies pharmaceutiques", affirme le chercheur. Mais il faudra

de longues années d'étude des effets secondaires potentiels de la GnRH et de toute autre molécule qui pourrait agir sur l'hypothalamus... Etant donné son rôle central, de nombreux effets inattendus pourraient en effet se faire jour.

SUPPRIMER L'ODORAT + 60 % d'espérance de vie

Si cela se confirme chez l'humain, ce serait une terrible nouvelle. Renifler la bonne odeur d'un gâteau tout juste sorti du four... ferait vieillir ! Qu'on se rassure : pour l'instant, le phénomène n'est avéré que chez la mouche et le ver. Ainsi, Scott Pletcher,

de l'université du Michigan (Etats-Unis), a montré que des mouches dont la longévité avait été augmentée grâce à une restriction calorique voyaient le fruit de leurs efforts disparaître si elles étaient soumises à des odeurs de nourriture. A l'inverse, supprimer

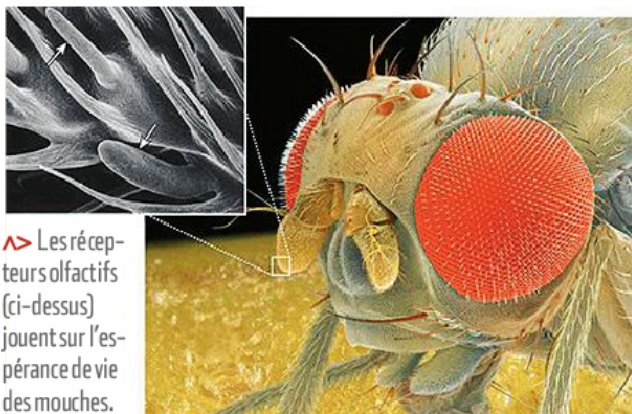
l'odorat de mouches par une manipulation génétique leur a permis de vivre beaucoup plus longtemps. Dans le meilleur des cas, les femelles vivaient en moyenne 78 jours au lieu de 50, et les mâles 74 au lieu de 64, sans que les chercheurs réussissent à s'expliquer cette différence entre les sexes.

L'équipe a par contre émis l'hypothèse que c'est la perception (notamment via l'odorat) de la disponibilité de ressources nutritives qui aurait un effet négatif sur l'espérance de vie des mouches. L'organisme interpréterait en effet l'information "nourriture disponible" comme

un signal l'invitant à dépenser beaucoup d'énergie pour se reproduire, aux dépens de sa propre préservation. A l'inverse, l'absence d'odeurs alimentaires constituerait un signal de future disette, ce qui pousserait l'organisme à se préserver en activant des systèmes de résistance au stress. Vivre à l'économie, lentement mais sûrement.

Bientôt chez l'homme ?

Difficile d'imaginer passer sa vie à se boucher le nez... Quant à développer des molécules, encore faudrait-il avoir une preuve que cet effet existe aussi chez les mammifères.



➤ Les récepteurs olfactifs (ci-dessus) jouent sur l'espérance de vie des mouches.

AUGMENTER LA TEMPÉRATURE + 15 % d'espérance de vie



> Le stress lié aux changements de température active les systèmes de défense de *C. elegans*.

GREFFER DE JEUNES OVAIRES + 10 % d'espérance de vie

On pourrait croire à un délire de savant fou, et pourtant... les résultats sont là. Transplanter des ovaires jeunes chez de vieilles souris augmente la longévité de ces dernières. Cette étrange découverte revient à James Carey (université de Californie),

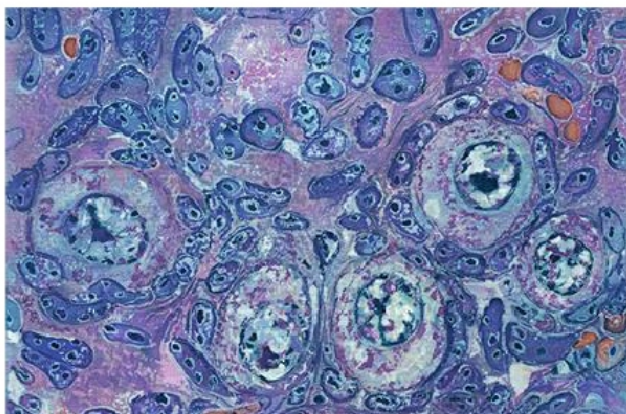
qui reconnaît le côté peu conventionnel de ses travaux : *"Nous sommes pour l'instant les seuls à avoir réalisé de telles expériences, à cause de précédents peu glorieux"*. Il fait référence aux travaux du chirurgien franco-russe Serge Voronoff qui, au début

du siècle dernier, greffait des testicules de singes sur des hommes pour, déjà, essayer de ralentir leur vieillissement... Mais de tels précédents ne l'ont pas effrayé : *"La reproduction est une fonction essentielle de l'organisme. On ne peut pas comprendre le vieillissement sans l'étudier"*. De nombreuses autres expériences (ablation des tissus reproducteurs, injection d'hormones sexuelles...) vont dans son sens. James Carey a donc transplanté des ovaires de souris de

deux mois sur d'autres de onze mois, et a observé un effet bénéfique sur la survie, en particulier chez les souris déjà ménopausées. D'après le chercheur, le système reproducteur jeune enverrait des signaux encourageant l'organisme à se préserver pour assurer sa "raison de vivre" biologique : la reproduction.

Bientôt chez l'homme ?

Les liens entre reproduction et longévité, très étudiés, sont encore mal compris. Des molécules mimant le message "pro-longévité" envoyé par les ovaires jeunes ne devraient donc pas se trouver de sitôt en pharmacie...



< Transplantées chez des souris âgées, les ovaires jeunes (ici en coupe) enverraient un signal d'auto-préservation au reste du corps.

Saunas et hammams ont de formidables vertus... du moins pour les vers de l'espèce *Caenorhabditis elegans*. L'équipe d'Anders Olsen, de l'université d'Aarhus (Danemark), a montré qu'il suffisait de soumettre ce minuscule animal transparent à des pics de chaleur répétés pour que son espérance de vie augmente. Mieux, plus les chocs thermiques sont nombreux, plus les résultats sont significatifs. Après seulement deux séances de quatre heures passées à 30 °C – au lieu des 20 °C régnant habituellement dans le laboratoire –, l'espérance de vie des vers

passa d'un peu plus de dix-sept à dix-neuf jours. Le bénéfice est maximum pour le groupe de vers soumis à quatre séances, tous les quatre jours, à 33 °C : ils vivent alors en moyenne plus de vingt-quatre jours.

Un tel effet a aussi été observé chez la mouche et chez un mammifère, la souris, mais uniquement après modification génétique de cette dernière pour maintenir une température corporelle basse. Comment l'expliquer ? *"Ce n'est pas la température elle-même qui a un impact sur la durée de vie, mais le stress biologique qu'elle induit, via*

l'activation de protéines dites de choc thermique, indique le chercheur. De petites doses de stress activeraient les systèmes de défense de l'organisme, ce qui va lui permettre de mieux résister, et même de prévenir les dommages du temps."

Cette expérience n'est donc rien de moins que la concrétisation du célèbre adage "ce qui ne nous tue pas nous rend plus fort"... Un adage qui, chez les biologistes, pourrait se résoudre ainsi : stresser un organisme stimule ses défenses biologiques. Cet effet n'a en tout cas rien à voir avec l'idée d'une température idéale pour

le corps. Une étude a d'ailleurs récemment démontré qu'on pouvait obtenir, toujours chez le ver, les mêmes bénéfices... avec le froid.

Bientôt chez l'homme ?

Il faudrait déjà confirmer le bénéfice du choc thermique chez des mammifères non génétiquement modifiés, avant de pouvoir songer à l'étudier chez l'être humain... Confiant, Anders Olsen affirme cependant que *"de nombreux chercheurs ambitionnent déjà d'utiliser les molécules qui, suite à l'exposition à de fortes températures, augmentent le stress dans nos cellules"*.

POURQUOI VIEILLIT-ON ? UN CASSE-TÊTE THÉORIQUE

Si les processus soupçonnés de provoquer le vieillissement ne peuvent pas faire l'objet d'une liste exhaustive, voici quelques-unes des principales causes actuellement envisagées, de façon plus ou moins complémentaire.

► **Le stress oxydant** (ou stress oxydatif) : l'oxygène que nous respirons entraîne des réactions chimiques dans nos cellules. Elles produisent alors des molécules agressives, appelées radicaux libres, qui vont progressivement les

endommager, par un phénomène d'oxydation équivalent à la rouille.

► **Le raccourcissement des télomères** : à chaque nouvelle division cellulaire, qui donne naissance à de nouvelles cellules, les extrémités des chromosomes, appelées télomères, raccourcissent, jusqu'au point où les cellules ne peuvent plus se multiplier.

► **Les mutations de l'ADN** : différentes causes, extérieures (rayons UV, radiations...) et intérieures (erreurs de duplication...), provoquent des modifica-

tions de la séquence d'ADN, qui s'accumulent avec le temps et finissent par entraîner un dysfonctionnement des cellules.

► **La glycation** : les molécules de glucose (sucre) et les acides aminés réagissent ensemble dans nos cellules, où ils fabriquent des produits terminaux de glycation, ou PTG, qui s'accumulent dans les tissus et altèrent leur fonctionnement.

► **Le soma jetable** (le soma étant l'ensemble des cellules, sauf les cellules sexuelles) : la croissance et la reproduction d'un organisme néces-

sitent un investissement biologique (énergétique et moléculaire), que l'évolution aurait sélectionné aux dépens de l'auto-préservation – les organismes mourant de toute façon régulièrement de causes accidentelles.

► **La programmation génétique** : des gènes modifieraient activement le fonctionnement des processus vitaux au cours du temps, afin d'assurer la mort des organismes. La place laissée aux nouvelles générations permettrait ainsi une évolution plus rapide des populations.

INSECTES, MÉDUSES, KRILL...

Quelle place dans nos

Ils sont couramment consommés dans certaines régions du monde. Mais en Europe, laboratoires de recherche et industriels commencent seulement à travailler de concert pour exploiter cette formidable source de protéines naturelles. Reste quelques obstacles : réglementaires, techniques... et culturels.

PAR LAURENT BRASIER

Quelque 2,3 millions de téléchargements en vingt-quatre heures. Le document qui a suscité cet engouement en mai dernier n'est pas le dernier album de Daft Punk, mais un rapport de 190 pages édité par l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture

(FAO). Son objet : les insectes comestibles. L'enjeu : la sécurité alimentaire animale et humaine. Alors que la population mondiale pourrait atteindre 9,3 milliards de personnes vers 2050, que les ressources et les terres se raréfient et que les environnements se dégradent, la thématique des protéines →

A close-up photograph showing a person's hand holding a small, triangular piece of orange. Several dark, elongated beetles are clustered on the orange. The hand is positioned over a black container filled with light-colored wood shavings. Numerous other beetles are scattered throughout the wood shavings. The background is a blue, slightly out-of-focus surface. The text 'assiettes?' is overlaid in a stylized orange font on the left side of the image.

assiettes?



Le krill

Disponibilité : 500 millions de tonnes.

Usages : complément alimentaire sous forme d'huile pour l'homme, farines animales.



Les insectes

Disponibilité : 1959 espèces comestibles.

Usages : alimentation humaine (insectes entiers ou réduits en poudre), farines animales.



La méduse

Disponibilité : 11 espèces comestibles.

Usages : alimentation humaine (méduses entières ou transformées).

→ rencontre un fort écho, notamment en Europe, largement dépendante de l'importation pour nourrir son bétail. Selon Paul Vantomme, de la FAO, les insectes possèdent trois atouts : *“Un seuil d'entrée social bas, autorisant quiconque dans les pays en voie de développement à commencer un petit élevage artisanal ; un taux de conversion alimentaire élevé, c'est-à-dire qu'ils nécessitent peu d'aliments par rapport à la quantité de protéines qu'ils produisent ; enfin, la possibilité de valoriser nos déchets.”* Qu'on se rassure. Si la FAO met scorpions et araignées dans la catégorie des “insectes comestibles”, pour le consommateur européen, les chercheurs s'intéressent plutôt au grillon, au ver de farine (*Tenebrio molitor*) et à *Hermetia illucens*, la mouche soldat, espèces bien documentées dans la littérature entomologique.

Mais il n'y a pas que les insectes. L'océan abrite aussi des réservoirs potentiels de protéines. Étudiées de près, les différentes familles d'algues présentent un intérêt protéinique

FAITS & CHIFFRES

Dans les pays développés, la consommation de protéines animales s'élève en moyenne à **80 kg** par personne et par an (120 kg aux États-Unis), contre **25 kg** dans les pays en développement. D'ici à **2050**, ces besoins pourraient augmenter de **70 à 80 %**. On recense aujourd'hui quelque **2,5 milliards** de consommateurs d'insectes dans le monde.

contrasté. Les rouges ayant les plus riches teneurs (de 8 à 47 % de leur poids sec, contre 25 % pour le soja). Le krill, ce plancton constitué de minuscules crustacés, excite également les convoitises. Sa biomasse est considérable : jusqu'à 500 millions de tonnes, soit cinq fois le tonnage mondial des pêches de capture (90,4 tonnes en 2011) ! Cet “or rose” ne devrait être pêché en 2013 qu'à hauteur de 200 000 tonnes, pour un quota de 8,7 millions de tonnes, établi par la Commission pour la conservation de la faune et de la flore marines de l'Antarctique. Il est destiné aux fermes d'aquaculture (sous forme de farine) ou à la production d'huile, un complément alimentaire riche en oméga 3 et en antioxydants. Enfin, en mai 2013, la FAO préconisait “le développement de produits à base de méduses pour l'alimentation”... comme moyen de lutter contre leur prolifération, qui menace la biodiversité marine (voir S&V n° 1151, p. 100). Quant à produire à l'échelle industrielle des insectes, personne en

Europe n'y est encore prêt. La recherche s'y intéresse depuis peu. Le mouvement est pourtant bel et bien amorcé : aux Pays-Bas, le laboratoire d'entomologie de Wageningen est très impliqué dans la promotion de l'entomophagie et centre sa recherche sur l'élevage.

LA FRANCE INVESTIT

Comme l'explique Arnold van Huis, “*nous travaillons sur les types de fumier convenant le mieux à la mouche soldat. Nous cherchons aussi à mesurer l'effet de différents déchets organiques, plus ou moins riches en protéines, sur la qualité des vers de farine*”. Un consortium britannique s'est, lui, constitué fin 2012 autour de la problématique de l'extraction des protéines d'insectes. Et, en Belgique, l'université Agro-Bio-Tech de Gembloux compte produire une poudre d'insectes, nourris avec des invendus du groupe Carrefour, partenaire de l'étude... La France n'est pas en reste. Financé à hauteur d'un million d'euros par l'Agence nationale de la recherche, →

Les insectes : une ressource alimentaire aux multiples atouts

La grande diversité et la valeur nutritionnelle des insectes n'ont pas échappé aux pays en développement. Leur élevage, potentiellement économique et peu polluant, constitue un autre argument en faveur de leur consommation.

Ils constituent une alimentation variée...

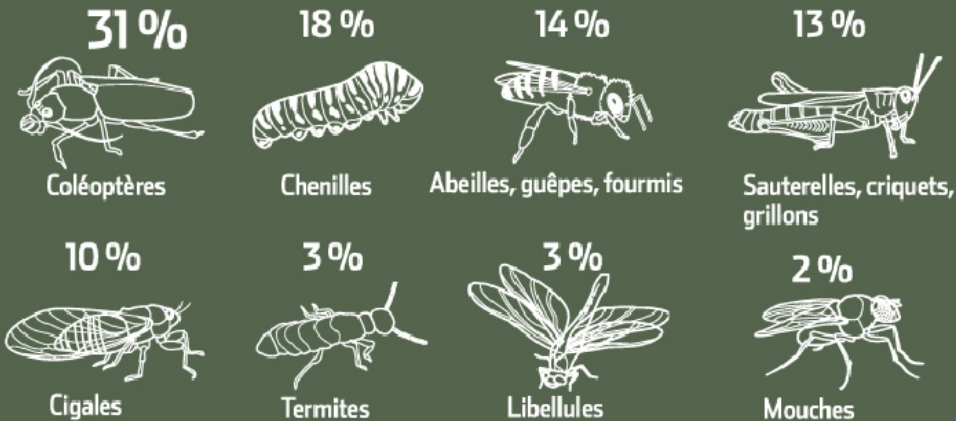
Sur les 1 959 espèces d'insectes consommées dans le monde, plus d'un tiers sont des coléoptères. Suivent, en plus faibles proportions, chenilles, abeilles, etc.

Aujourd'hui, seule une espèce d'insectes sur mille est consommée dans le monde.

Sur **1,8 million** d'espèces recensées...



... 1 959 sont consommées.



... très riche...

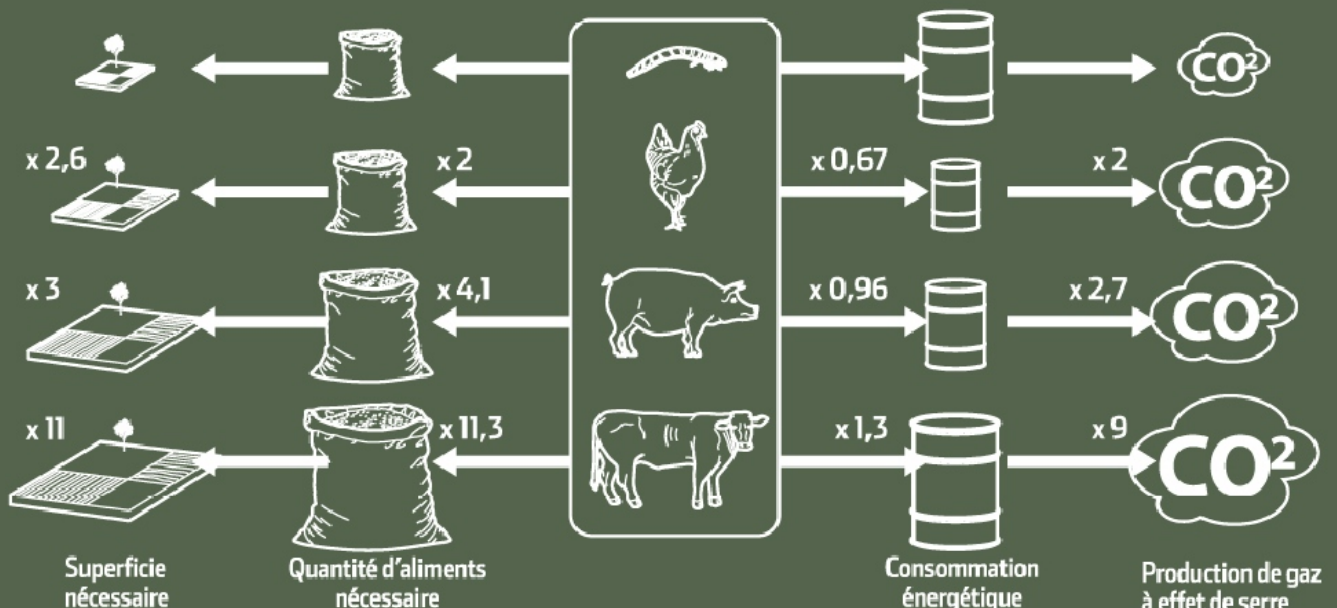


Les valeurs nutritionnelles d'un steak de bœuf de 100 g sont comparables à celles de 100 g de vers de farine ou de sauterelles.

... et dont l'élevage est rentable et à faible impact environnemental

Produire 1 kg de vers de farine requiert une superficie 11 fois moins importante que pour 1 kg de viande de bœuf.

L'élevage de vers produit moins de gaz à effet de serre (GES), même s'il induit une consommation énergétique plus élevée que la volaille ou le porc.





ARNOLD VAN HUIS

LABORATOIRE D'ENTOMOLOGIE
DE WAGENINGEN (PAYS-BAS)

**Nous travaillons
actuellement sur les types
de fumier convenant le mieux
à la mouche soldat**



JEAN-GABRIEL LEVON

ENTREPRISE YNSECT (FRANCE), À L'INITIATIVE
D'UN PROJET DE "BIORAFFINERIE" D'INSECTES

**Aujourd'hui, nous avons
tout à faire concernant
les conditions d'élevage
industriel d'insectes**

→ le projet Desirable vise à produire une protéine destinée aux industries halieutique et avicole. C'est un projet complet, explique son coordinateur, Samir Mezdour, de l'école européenne AgroParisTech: *"Nous balayons tous les sujets, de la source d'alimentation des insectes aux tests au niveau de l'alimentation animale, en passant par leur transformation et en intégrant ce qui concerne la durabilité et l'impact sociétal pour le consommateur."*

ALGOCULTURE EN BRETAGNE

A l'initiative du projet, l'entreprise Ynsect est chargée de concevoir et d'exploiter l'unité de production, une "bioraffinerie d'insectes" dont le pilote est attendu en 2015. Un défi de taille pour Jean-Gabriel Levon, l'un des fondateurs: *"On a tout à inventer. Aujourd'hui, l'élevage d'insectes est extrêmement manuel: les acteurs sont des éleveurs, pas des industriels."*

Pour ce qui concerne la production destinée à l'alimentation humaine, c'est la société toulousaine Micronutris qui innove: elle s'est lancée en 2011, en marge de toute recherche publique. Elle a aussi dû inventer le métier, explique son gérant, Cédric Auriol: *"Nous avons développé un savoir-faire en interne inexistant dans les laboratoires d'entomologie, qui n'ont pas les mêmes logiques de production et de sécurité. Notre local de production, de 700 m², existe, mais c'est encore un laboratoire, nous optimisons nos processus."*

Si la plupart des acteurs européens se focalisent sur l'alimentation animale, c'est que l'utilisation des insectes n'est pas encore légalisée pour la chaîne alimentaire humaine (voir encadré p. 92). Il en va autrement



du côté marin. En France, vingt-quatre espèces d'algues sont consommables par l'homme, dont des macro-algues brunes, rouges et même vertes – cuisinées en Asie sous le nom de "laitue de mer", elles sont plus connues chez nous pour les pollutions qu'elles entraînent sur les plages. Pour autant, notre production reste marginale et centrée sur l'industrie. Une filière organisée d'algoculture

DES GOÛTS ET DÉGOÛT

Dans les années 1980, le psychologue américain Paul Rozin définissait le “facteur dégoût” comme une répulsion à l’idée d’ingérer des objets “contaminants”, aptes à rendre tout aliment impropre à la consommation par simple contact. En Occident, nous assimilons la consommation d’insectes à un comportement “primitif”, sujet à un jugement d’ordre moral. A l’opposé des dégustations gastronomiques qui jouent sur le folklore de l’insecte entier, les industriels songent avant tout à le mas-

quer en le réduisant en poudre. Le nom a aussi son importance : pourquoi ne pas parler de “mini-bétail” ou de “crevettes du ciel”, en référence à une tribu de l’Utah (États-Unis) qui, goûtant des crevettes, les auraient nommées “criquets de la mer”. Le dégoût prend racine dans notre culture, et celle-ci définit les règles de ce qui est comestible. Il n’est donc pas dit que le marketing suffise à infléchir nos préférences alimentaires.



pour l’alimentation humaine s’est toutefois lancée en Bretagne en 2012. Concernant le krill, “la France ne s’intéresse absolument pas à cette ressource, ce sont les Norvégiens qui sont très en pointe”, note Guy Duhamel, directeur du département Milieux et peuplements aquatiques au Muséum national d’histoire naturelle, à Paris. Des chercheurs ont quant à eux réussi à maîtriser la re-

▲ Les criquets frits et autres soupes d’œufs de fourmis rouges figurent déjà à la carte des restaurants thaïlandais.

production artificielle d’une espèce de méduses de grande taille (*Rhopilema esculentum*) et ont lancé, en 1984, un vaste programme de restockage : des centaines de millions de petites méduses nées en laboratoire sont relâchées dans le milieu sauvage, transformant la baie de Liaodong (Chine) en un vaste bassin d’élevage de 8 000 km². Un succès scientifique ? Plutôt la négation d’un écosystème et de sa productivité naturelle selon Philippe Cury, directeur de recherche à l’Institut de recherche pour le développement : “La méduse ne va pas nourrir l’humanité. Nous proposer d’en manger revient à ne rien faire pour éviter leur pullulement.”

Toutes ces protéines sont-elles sans danger pour la consommation humaine ? Si les crustacés présentent un risque d’allergies lié à des protéines résistantes à la cuisson – les tropomyosines –, on sait que ce risque existe aussi chez les insectes. Pour le connaître, ce qui est indispensable avant d’envisager

toute alimentation humaine, les chercheurs de l’université de Wageningen tentent de déterminer à partir d’échantillons sanguins s’il existe une allergie croisée entre crustacés – ou acariens – et insectes. Des essais cliniques sur l’homme doivent suivre.

POUSSER LA RECHERCHE

Grippe aviaire, fièvre aphteuse, encéphalopathie spongiforme bovine, fièvre porcine... on connaît les conséquences dramatiques de certaines zoonoses (infections et infestations transmissibles de l’animal à l’homme). Selon la FAO, il n’existe actuellement aucun cas connu imputable à la consommation d’insectes. Les chercheurs s’accordent à penser que le risque est faible, compte tenu de la grande distance génétique entre mammifères et insectes. Tout en reconnaissant que ce sujet exige davantage de recherches – ce qu’intègre le projet français Desirable, auquel est associé un laboratoire du Commissariat à →

LÉGISLATION:
ÇA BLOQUE ENCORE

L'interdiction d'une dégustation d'insectes dans la Drôme en avril 2013 rappelle que leur commercialisation n'est pas autorisée en France. Depuis 1997, les "nouveaux aliments" destinés aux humains entrent dans le champ d'application du règlement "novel food" de la Communauté européenne. Il soumet toute denrée à une procédure d'évaluation drastique avant sa mise sur le marché, bloquant le développement des filières d'insectes pour l'alimentation humaine.

Ce flou devrait être levé à partir du deuxième semestre 2013, mais les acteurs de ce secteur tablent surtout sur l'établissement d'un historique de consommation en Europe pour que certaines espèces sortent du champ d'application de ce règlement. La Commission européenne étudie également la possibilité d'alimenter avec des insectes des poissons et volailles naturellement insectivores.

→ l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA), chargé d'étudier les prions et les infections atypiques. Autre danger potentiel: les toxines chimiques que les insectes ingèrent en se nourrissant. Le sujet doit également être étudié prochainement à Wageningen. Par ailleurs, le risque invasif suppose certaines précautions, essentiellement d'ordre technique. Pour Paul Vantomme, mieux vaut investir dans les espèces indigènes: "*Criquets, sauterelles ou vers de farine ne posent pas de problème car ils sont partout.*"

Insectes, krill, algues, méduses. Tient-on le réservoir de protéines naturelles qui bouleversera nos habitudes alimentaires? Pour l'heure, il est délicat de se prononcer sur l'avenir des protéines à six pattes. Très peu de résultats scientifiques ont été publiés. Mais d'ici cinq ans, les laboratoires de recherche devraient être en mesure de conseiller les éleveurs. En dehors de l'aspect réglementaire (voir encadré ci-

dessus), les freins seront alors, avant tout, d'ordre technique. En la matière, le maître mot est automatisation – le reste est affaire de secrets d'éleveurs, dont le savoir-faire se construit par essais et erreurs.

"UNE VISION SCIENTISTE"

In fine, le challenge est économique: parvenir à des coûts de production qui soient compétitifs avec ceux des protéines classiques – soja, maïs et surtout farine de poisson. On en est encore loin. Les groupes agroalimentaires, sur la réserve, pourraient alors augmenter leur écot versé à la recherche universitaire, aujourd'hui symbolique, et les insectes s'inviter véritablement dans nos assiettes.

Du côté du krill, le potentiel existe: "*Dans quelques années, il pourrait représenter jusqu'à 5 % des captures mondiales*", estime Guy Duhamel. Mais il est fragile: c'est une réserve de biomasse inadaptée à la culture et touchée par le réchauffement. "*Le risque est d'entrer en concurrence avec les prédateurs*

naturels, d'où les recherches écosystémiques actuelles", tempère Guy Duhamel.

Pour certains, chercher la réserve de protéines du futur n'est pas une bonne façon d'aborder les questions de sécurité alimentaire. "*Quand on a épuisé une ressource, on prend toujours la science comme une rustine pour passer à autre chose. Mais à la fin, on ne peut plus passer à autre chose*", s'alarme Philippe Cury. Même son de cloche chez Jean-Louis Rastoin, directeur de la chaire Unesco "Alimentations du monde" de Montpellier SupAgro, qui ne croit pas à la piste des insectes: "*Tout cela revient à artificialiser la consommation alimentaire. C'est une vision scientiste qui néglige complètement l'aspect social et culturel des aliments.*"

Si elles se développent, ces protéines seront vraisemblablement cantonnées à des utilisations locales, là où elles sont déjà acceptées par la population, comme dans le cas des algues, ou là où il existe un déficit en protéines. Par ailleurs, les enjeux ne se limitent pas à nos palais délicats: les micro-algues sont aussi étudiées en vue de produire des carburants verts. Les insectes, quant à eux, pourraient contribuer à diminuer la teneur en ammoniac et nitrates des énormes quantités de lisier que nous produisons.

En 2010, le "*repas gastronomique des Français*", "*pratique sociale coutumière destinée à célébrer les moments les plus importants de la vie des individus et des groupes*", était classé au patrimoine culturel immatériel de l'humanité par l'Unesco. Un patrimoine dans lequel le ver de farine, la laitue de mer ou la méduse devront gagner leur place. ■

*
EN
SAVOIR
PLUS

Le rapport de la
FAO sur les insectes
comestibles est dis-
ponible sur :
www.fao.org/docrep/018/i3253e/i3253e.pdf.

**ABONNEZ-VOUS À SCIENCE & VIE
ET SES HORS-SÉRIES**

Nouvelle offre
SPÉCIAL RENTRÉE !

-40%
de réduction

42 €
seulement
au lieu
de 70,20 €*

**12 numéros
+ 4 hors-séries**

Profitez-en vite !



BULLETIN D'ABONNEMENT

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

- ☐ **Oui, je m'abonne à Science & Vie**
pour 1 an (12 n°) + 4 Hors-séries
 pour **42€** au lieu de ~~70,20€~~
 soit plus de **30%** de réduction

715 938

- ☐ Je préfère m'abonner à Science & Vie 1 an (12 n°)
pour **35€** au lieu de ~~50,40~~ €*

715 946

**Abonnez-vous aussi sur KiosqueMag,
le site officiel d'abonnement
de Science & Vie !**

SCIENCE & VIE

Disponible sur
KiosqueMag.com

➤ **Voici mes coordonnées :**

Nom : _____ Prénom : _____

Adresse : _____

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

Code Postal : Ville :

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

E-mail :

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

➤ **Mode de paiement :** ☐ Chèque bancaire ou postal à l'ordre de Science & Vie




















Date et signature obligatoires

Expire à fin Code Crypto
Les 3 chiffres au dos de votre C

*Prix public et Prix de vente en kiosque. Offre valable pour un 1er abonnement livré en France métropolitaine jusqu'au 30/10/13 et dans la limite des stocks disponibles. Je peux acquiescer séparément chacun des numéros mensuels de Science & Vie au prix de 4,20 € et chacun des hors-séries au prix de 4,95 €. Vous ne disposez pas du droit de rétractation pour l'abonnement au magazine. 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. Science & Vie — TSA 10005 8 rue François D' 92543 Montrouge cedex RCS 572 134 773 - Capital : 1 177 360 €

LE SUPER GÉANTE BLEUE

L'étoile qui ne devrait pas exister

Mystère dans l'espace : des étoiles explosent en propulsant les plus extraordinaires bouffées de photons jamais détectées, défiant tous les scénarios. Sédérés, les astrophysiciens dressent le portrait d'un nouveau type d'étoiles, censées s'être éteintes... dès le big bang !

PAR BENOIT REY

L'histoire commence en 2010, le jour de Noël. Un message descend du ciel en provenance du satellite *Swift*, qui depuis six ans scrute la voûte céleste pour y détecter les plus puissants rayons du bestiaire cosmique : les sursauts gamma. Il vient de détecter l'une de ces bouffées de photons (particules de lumière) extraordinairement énergétiques dans la constellation d'Andromède, et communique ses coordonnées aux télescopes au sol afin qu'ils verrouillent la cible et l'étudient en détail. Il n'y a pas de temps

à perdre. Les sursauts gamma sont dits "courts" lorsqu'ils durent moins d'une seconde : ils sont dus à une collision entre deux étoiles à neutrons. D'autres, qualifiés de "longs", durent plusieurs dizaines de secondes : ils signent l'explosion d'une étoile géante, qui éjecte alors sa matière sous forme de deux geysers opposés.

Ce jour-là, *Swift* détecte un sursaut long. Très long, même. Les secondes passent, puis les minutes. Le signal ne faiblit pas. *Swift*, qui fait le tour de notre planète en quatre-vingt-dix

minutes, est obligé de décrocher quand il passe de l'autre côté de la Terre. Au final, le signal aura duré plus de deux heures ! 101225A – c'est le nom de code que lui attribuent les astronomes – est le plus long sursaut gamma jamais répertorié. Une nouvelle catégorie est née : les sursauts gamma "ultra-long". Qui ne peuvent pas être définis, pensent alors les chercheurs, comme de simples sursauts longs un peu particuliers.

Un sursaut gamma long survient lorsqu'une étoile géante arrive à la fin de son existence.



Les réactions nucléaires qui se produisent en son cœur ne sont plus suffisamment puissantes pour que celui-ci puisse supporter le poids de ses couches externes. Il s'effondre alors en un trou noir, petite graine infiniment dense. Les couches externes voient le sol se dérober sous elles et tombent à leur tour dans le trou noir tout juste né. Qui en avale une partie, et recrache l'autre dans l'espace sous forme de deux jets puissants opposés, deux aiguilles de matière brûlante qui filent à une vitesse frôlant celle de la

lumière. Parfois, le hasard fait que ce jet pointe directement vers la Terre: on observe alors l'une des plus formidables explosions de l'Univers.

UN ASTRE MONSTRUEUX ?

Sauf que le temps que dure un sursaut gamma long correspond à peu près à celui nécessaire aux couches externes pour tomber sur le cœur: quelques minutes pour une étoile géante. Dans ce cas, l'étoile à l'origine de 101225A serait d'une taille proprement fabuleuse! Impossible, selon les chercheurs.

Car les plus énormes étoiles connues, les "supergéantes", perdent très vite leur enveloppe, qui n'est donc plus disponible pour entretenir le sursaut gamma. Mais alors à quel phénomène physique correspondent les sursauts ultra-longs? Que s'est-il vraiment passé ce jour-là dans la constellation d'Andromède?

Les astronomes se plongent dans les calculs. Deux équipes proposent deux modèles différents. Soit un petit astre, une comète ou un astéroïde s'est écrasé sur une étoile →

→ à neutrons, quelque part dans la Voie lactée. En se déchiquetant, sa matière se serait éparpillée autour de l'étoile, qui l'aurait recrachée en deux jets, à la façon d'un sursaut gamma, mais à la fois beaucoup moins puissant et beaucoup plus long. Soit une étoile à neutrons a fusionné avec une étoile géante puis a expulsé sa matière, en suivant schématiquement le même mécanisme, mais cette fois bien au-delà de la Voie lactée, à 3,5 milliards d'années-lumière... le quart de la taille de l'Univers observable! *"Entre ces deux scénarios, il était impossible de trancher tant qu'on n'avait pas la distance précise du sursaut 101225A"*, précise Andrew Levan, de l'université britannique de Warwick.

DES HYPOTHÈSES BALAYÉES

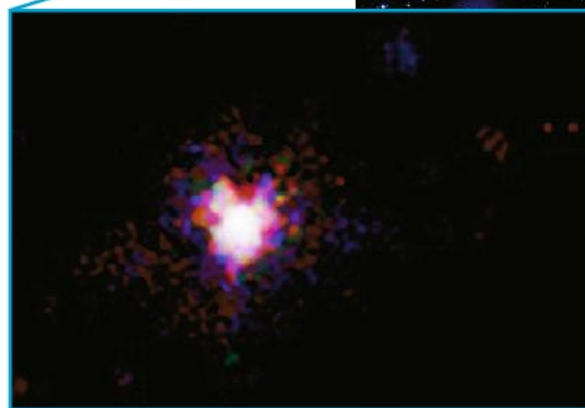
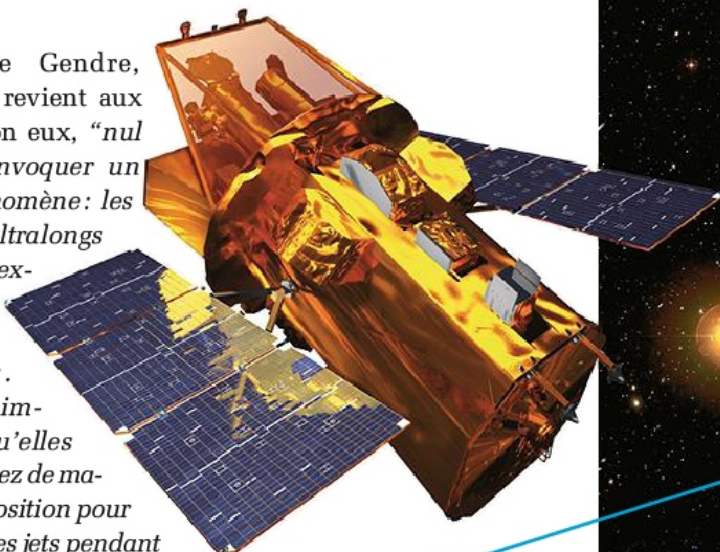
L'astronome se donne alors pour défi de l'évaluer. Braquant le télescope Gemini d'Hawaï sur la scène du drame, il remarque une petite galaxie bleu pâle. Pour lui, aucun doute : le signal provient de cette galaxie. De son spectre lumineux, il déduit sa distance : 7 milliards d'années-lumière, plus de la moitié de la taille de l'Univers visible! *"C'est bien plus loin que ce qu'on pensait, conclut-il. Si loin que pour être aussi net depuis la Terre, le sursaut a dû être provoqué par quelque chose de réellement colossal."* Les deux hypothèses volent en éclats. Les minuscules étoiles à neutrons, les comètes et les astéroïdes n'ont rien à voir dans cette histoire. Une histoire dont le second chapitre va s'ouvrir un an plus tard...

Le 9 décembre 2011, un autre sursaut ultralong est détecté, 111209A. Celui-ci bat tous les records : sept heures! L'équipe internationale menée

par Bruce Gendre, du CNRS, revient aux bases. Selon eux, *"nul besoin d'invoquer un autre phénomène : les sursauts ultralongs sont des explosions d'étoiles massives. Il faut simplement qu'elles aient eu assez de matière à disposition pour entretenir les jets pendant plusieurs heures"*.

Assez de matière ? C'est bien peu de le dire. Il faut alors envisager un Béhémot stellaire, dont le volume serait de plusieurs centaines de millions de fois celui du Soleil. Or, de tels monstres, gonflant à ce point à la fin de leur vie, sont hautement improbables. Ils sont si brûlants que leur puissant "vent solaire", l'intense rayonnement dégagé par les réactions nucléaires du cœur, souffle leur enveloppe au loin dans l'espace. *"Certaines perdent jusqu'à 75 % de leur masse au cours de leur vie, explique Michel Boer, un membre de l'équipe. Au moment de l'explosion, toute cette matière n'est donc plus disponible pour alimenter le sursaut gamma."*

A moins que... A moins que la composition chimique des couches externes de l'étoile les rende particulièrement perméables aux radiations. Ainsi, elles resteraient solidaires de l'astre jusqu'au dénouement fatal, et tomberaient sur le trou noir lors du sursaut. De fil en aiguille, les chercheurs esquissent le portrait-robot de l'étoile responsable de ce cataclysme cosmique : c'est une supergéante bleue, qui, placée au centre du système solaire, engloutterait les quatre



SWIFT DÉTECTE DE FORMIDABLES EXPLOSIONS

Le rayonnement lumineux intense et ultralong capté par le satellite Swift signe l'effondrement, à des milliards d'années-lumière, d'une étoile gigantesque, composée presque exclusivement d'hydrogène – un type d'astre très rare.

planètes telluriques (Mercure, Vénus, la Terre et Mars) et entamerait Jupiter. Elle chauffe à 50 000 °C, et sa teneur en hydrogène et en hélium est bien plus importante que celle du Soleil, tandis qu'elle contient trois fois moins d'oxygène. Une composition chimique qui justifie la préservation de ses couches externes. *"L'hydrogène absorbe beaucoup moins de photons que les éléments plus lourds comme l'oxygène. Elle est donc beaucoup moins sensible à la pression des radiations, de la même manière qu'un grillage est moins facilement emporté par une bourrasque qu'une plaque"*, explique Michel Boer.



DEUX SIGNAUX POUR UN CATACLYSME IMPRÉVU

En 2010 puis en 2011, deux sursauts gamma ultralongs (points bleus sur le graphique), des bouffées de photons de très grande énergie produites pendant plusieurs heures, ont été captés par satellite. Jusqu'ici, les sursauts gamma durant plus de quelques secondes (dits "longs") étaient connus pour être la signature soit d'événements cosmiques "normaux" (explosion d'une étoile géante, en vert), soit d'événements plus exotiques, mais expliqués par un scénario (collision d'un astéroïde ou d'une comète avec une étoile à neutrons ou onde de choc d'une supernova dans une autre galaxie, en jaune). Les sursauts encore plus longs et énergétiques marquaient, eux, des événements extrêmes, comme la destruction d'une étoile par un trou noir supermassif dans une autre galaxie (en blanc). Les deux sursauts gamma ultralongs détectés depuis 2010 ont amené à inventer une nouvelle signature : celle de l'effondrement d'étoiles supergéantes, d'une taille jusqu'alors jamais envisagée.

Très bien, sauf que... de telles étoiles ne sont plus censées exister depuis des lustres ! Elles ont disparu dès l'origine de l'Univers, il y a 13 milliards d'années. Seules les toutes premières à s'être allumées dans l'obscurité primordiale ne contenaient que de l'hydrogène, de l'hélium et quelques traces de lithium, et ce pour la bonne raison qu'ils étaient les seuls ingrédients à disposition. Les autres éléments n'existaient pas encore ! Carbone, oxygène, silicium, fer... ont été forgés plus tard, dans ces chaudrons que sont les cœurs des étoiles géantes. Et c'est ainsi que, de génération en génération, de fusion de galaxie en fusion de galaxie, l'Univers s'est enrichi en nouveaux éléments.

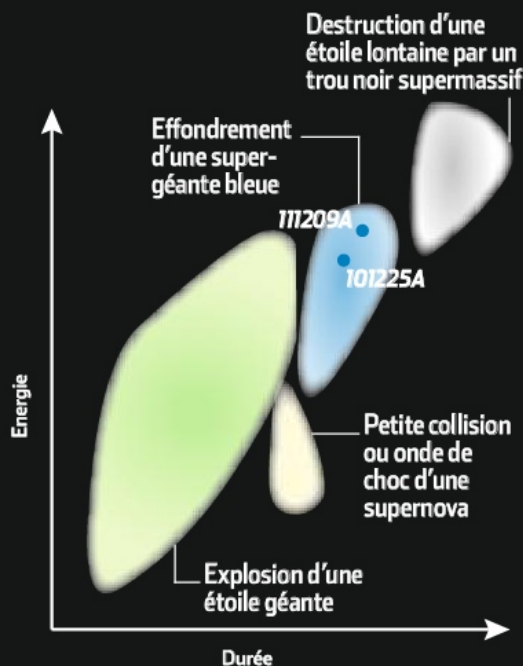
A quelques exceptions près. Certaines galaxies, comme I Zwicky 18, dans la constellation de la Grande Ourse, sont miraculeusement restées à l'écart de toute cette agitation, et préservées d'éléments

plus lourds que l'hydrogène et l'hélium. C'est de ce genre de galaxie que proviendraient les sursauts ultralongs. Et c'est là que s'éteindraient les étoiles les plus fantastiques qu'ait jamais enfantées l'Univers, dans d'incommensurables râles d'agonie, perceptibles à des milliards d'années-lumière.

UN SPECTACLE RARISSIME

Pourra-t-on en entendre d'autres ? C'est peu probable. Ne serait-ce que parce qu'« aucun modèle d'effondrement des étoiles de première génération ne fait l'unanimité », regrette le chercheur. On ne sait pas si elles explosaient toutes en sursaut gamma. Et, sauf la monstruosité exceptionnellement située à « seulement » 7 milliards d'années-lumière, elles logent pour la plupart beaucoup trop loin pour pouvoir être détectées avec les moyens actuels. Les plus fantastiques créatures stellaires s'éteignent, le plus souvent, dans le silence.

A chaque sursaut gamma correspond un événement cosmique particulier



IL NOUS RACONTE 50 000 ANS D'HISTOIRE...

Le fabuleux bestiaire sorti des glaces

Peau, poils, sabots, entrailles : tout est là ! Incroyablement préservé par le froid. Cheval, bison, rhinocéros... leurs fossiles ressurgissent des profondeurs du pergélisol sibérien. L'analyse de ces fragiles témoins de 50 000 ans d'évolution va permettre de réécrire plus précisément l'histoire de la faune de notre continent. Un formidable voyage dans le temps...

MCE/J.H. EDITORIAL

PAR ÉMILIE RAUSCHER ET MARION SPÉE
PHOTOS : FRANCIS LATREILLE



RHINOCÉROS LAINEUX, FEMELLE

CE QU'ON SAIT DÉJÀ DE LUI...

Ce rhinocéros laineux baptisé Cherskyi porte le nom de la région de Sibérie d'où il a été sorti des glaces en 2007. Il vivait il y a 39 000 ans (ses congénères ont, eux, disparu il y a quelque 10 000 ans). Sa carcasse est presque complète et en bon état, contrairement à ses entrailles, en partie dévorées par les charognards.

CE QU'IL POURRAIT NOUS APPRENDRE...

Ce spécimen entier fournit des traceurs biologiques qui vont permettre d'établir une comparaison avec les rhinocéros d'aujourd'hui et de mieux comprendre l'évolution de ces espèces. L'analyse de ses molaires renseignera sur sa nourriture et son environnement.



ÉLAN, BÉBÉ

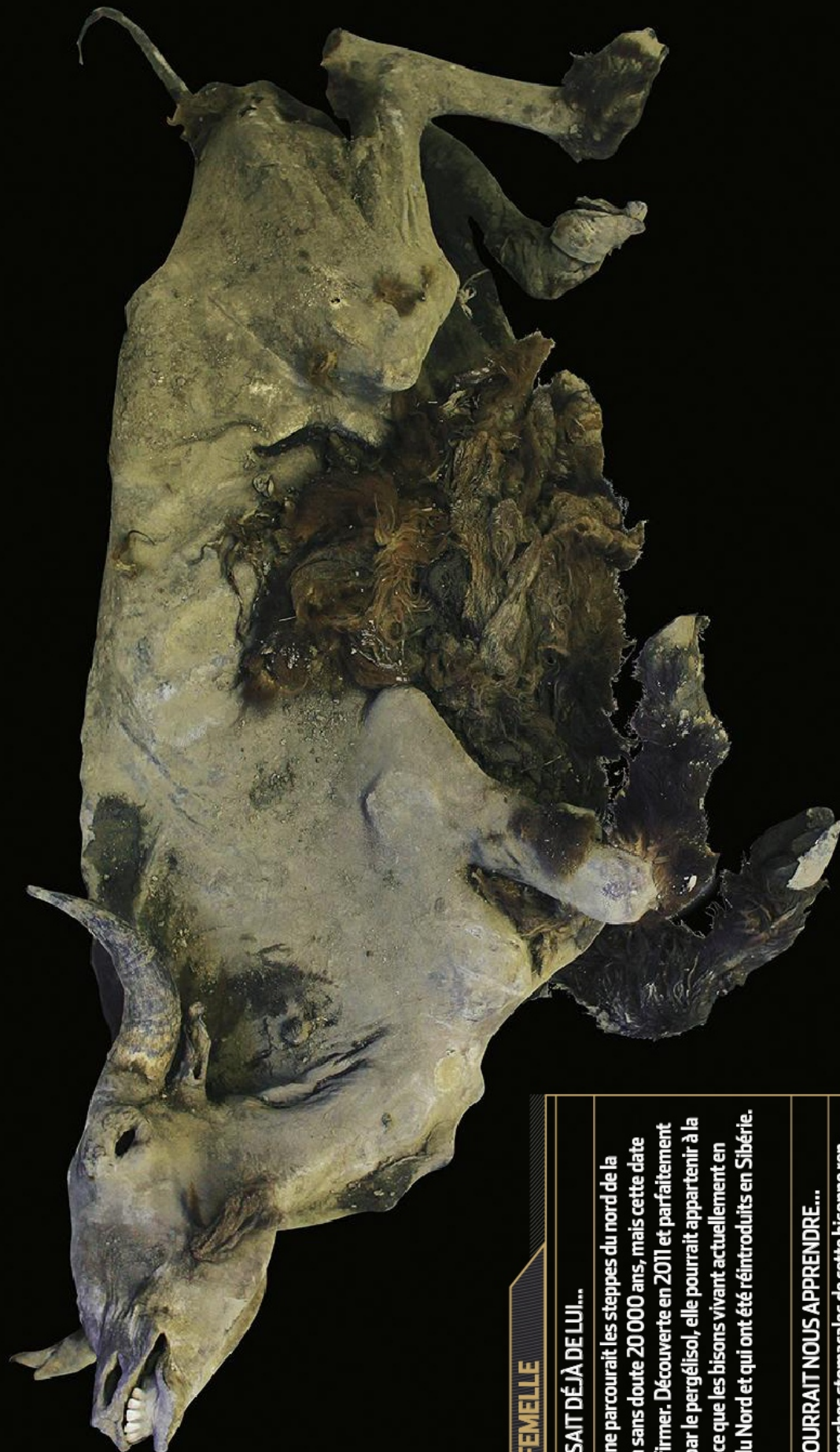
CE QU'ON SAIT DÉJÀ DE LUI...

Ce petit élan, encore couvert de poils, est resté près de neuf mille ans dans le pergélisol avant d'être découvert, par hasard, en 2010, par une famille d'éleveurs de rennes habitués à parcourir le nord de la Yakoutie. Ses congénères parcourent toujours aujourd'hui les grandes étendues du nord de la Sibérie.

CE QU'IL POURRAIT NOUS APPRENDRE...

Les études comparatives de ce spécimen et des élangs d'aujourd'hui montrent une grande stabilité morphologique à travers les millénaires. Son intestin et son estomac contiennent encore du lait maternel : l'examen de sa composition renseignera sur son environnement (faune, flore) et sur celui de sa mère.

MCE/J.H. EDITORIAL



BISON, FEMELLE

CE QU'ON SAIT DÉJÀ DE LUI...

Cette bisonne parcourait les steppes du nord de la Sibérie il y a sans doute 20 000 ans, mais cette date reste à confirmer. Découverte en 2011 et parfaitement conservée par le pergélisol, elle pourrait appartenir à la même espèce que les bisons vivant actuellement en Amérique du Nord et qui ont été réintroduits en Sibérie.

CE QU'IL POURRAIT NOUS APPRENDRE...

Les quatre poches stomacales de cette bisonne renseignent sur la nature de ses derniers repas. Dans les premières, les aliments sont à peine digérés, et donc facilement identifiables : herbes, parasites, insectes. Cet échantillon alimentaire va fournir de précieux indices concernant le paysage dans lequel vivait l'animal.



CHEVAL

CE QU'ON SAIT DÉJÀ DE LUI...

Cet équidé vivait il y a 14 000 ans. Seule la partie postérieure de son corps a été retrouvée en 2009, sa tête gît peut-être encore dans le pergélisol de Batagaf. Sa morphologie rappelle celle des chevaux de Przewalski, les derniers chevaux sauvages, réintroduits notamment en Mongolie et en France depuis les années 1990.

CE QU'IL POURRAIT NOUS APPRENDRE...

Ce cheval a pu être domestiqué (puis éventuellement redevenir sauvage). Si les analyses génétiques et de biologie moléculaire le confirment, il sera possible de mieux comprendre les origines de cette interaction privilégiée entre l'homme et l'animal, et de mieux cerner le passage du "chasseur-cueilleur" à l'"éleveur".

MCE/J.H. EDITORIAL



MAMMOUTH, BÉBÉ

CE QU'ON SAIT DÉJÀ DE LUI...

Agé de 1 mois, Lyuba, cette femelle mammoth découverte en 2007, a péri noyée dans la boue, au bord de la rivière Yuribei, il y a 42 000 ans. Sa carcasse est très bien préservée. L'espèce emblématique à laquelle elle appartenait s'est éteinte il y a 10 000 ans. Seuls subsistent ses cousins, les éléphants d'Asie et d'Afrique.

CE QU'IL POURRAIT NOUS APPRENDRE...

Des techniques d'imagerie réalisées aux États-Unis, en France et au Japon permettent une analyse complète des bronches et de l'intestin de ce bébé mammoth. Parce qu'elle était allaitée, il sera possible de connaître les secrets de sa mère, et ce d'autant plus que les mam-mouths ingéraient les déjections de leur génitrice.



Les terres gelées de Sibérie, au plus profond de la lointaine Yakoutie, conservent des trésors que les scientifiques placent au-dessus de ceux des Romanov : les corps congelés des animaux qui vivaient il y a des milliers d'années dans cet immense territoire, grand comme dix fois la France, préservés par le froid dans le sol gelé (pergélisol). *“C'est un véritable voyage dans le temps et l'espace qu'ils nous offrent, raconte Bernard Buigues, responsable du programme “Mammuthus” qu'il a créé il y a quinze ans et qui regroupe et protège les précieuses dépouilles. Nous remontons de 5 000 à 50 000 ans d'histoire à travers les couches de pergélisol accessibles. Peut-être accéderons-nous bientôt à des couches encore plus profondes, et donc à des périodes plus anciennes encore, allant jusqu'à 150 000 ans...”*

Aujourd'hui, dans l'impressionnant conservatoire creusé à 30 m de profondeur dans le sol glacé du village de Khatanga, où la température ne monte jamais au-dessus de -13°C , ce sont quelque 2 200 pièces qui ont été référencées et décrites, du fragment d'os aux emblématiques mammouths presque entiers, bébés ou adultes, sans compter les bisons, bœufs musqués, chevaux, élan, rennes, rhinocéros laineux et petits mammifères, mais aussi les très nombreux



végétaux. Des équipes scientifiques du monde entier (généticiens, paléobotanistes, microbiologistes, etc.) suivent donc avec intérêt la moindre des découvertes annoncées, et des échantillons visitent les laboratoires les plus prestigieux pour qu'en soit tiré un maximum d'informations. Faune et flore commencent ainsi peu à peu à raconter aux chercheurs le monde qui était leur, son évolution au fil des millénaires, et comment elles s'y sont adaptées...

Comment a-t-on mis au jour ce patrimoine scientifique unique et fascinant ? Le plus souvent par hasard : sur ce territoire gigantesque, près de 99 % des découvertes sont le fait des chasseurs et pêcheurs locaux, dont l'œil entraîné repère rapidement la moindre perturbation dans ce vaste paysage de taïga qu'ils connaissent parfaitement. Malheureusement, la majorité des corps relâchés par le pergélisol reste ignorée de tous, quand d'autres sont conservés par leurs inventeurs comme souvenirs, ou bien vendus. Quelques-uns gagnent, malgré tout, les 800 m² du conservatoire de Khatanga où de véritables enquêtes policières et médico-légales révéleront comment et quand ils ont trouvé la mort... C'est à la fois peu et beaucoup, reconnaît Bernard Buigues : *“On a toujours perdu des fossiles, mais au moins, aujourd'hui, nous avons les moyens d'étudier ceux dont on dispose, et les technologies pour*

1 L'effondrement du sol, suite au creusement d'une carrière sur le site de Batagaï, libère chaque été des restes spectaculaires d'animaux disparus...

2 et 3 ... comme cette bisonne exhumée par les chercheurs eux-mêmes en 2011, qui ont ainsi pu collecter de précieuses informations sur le terrain.

4 et 5 Bernard Buigues, responsable du programme “Mammuthus”, dispose de spécimens inestimables : Cherskyi, un rhinocéros laineux, le plus complet jamais retrouvé ; et Khroma, le plus vieux bébé mammouth mis au jour (plus de 45 000 ans).



le faire ont progressé! Nous allons donc pouvoir écrire une histoire toujours plus précise de ces 50 000 dernières années, d'autant que depuis dix ans les découvertes s'accroissent.

UNE COURSE CONTRE LE RÉCHAUFFEMENT

En effet, grâce à l'important travail explicatif mené auprès des populations locales, celles-ci n'hésitent plus, désormais, à apporter au chercheur leurs découvertes plutôt que de les vendre à des collectionneurs privés sans scrupule. Sans compter les effets du réchauffement climatique! "Depuis une dizaine d'années, il va en s'amplifiant, raconte Bernard Buigues. Dans le Nord, depuis 2000, les étés rallongent, les

hivers deviennent moins froids..." Avec pour conséquence, un sol qui dégèle peu à peu et libère plus rapidement les mammoths et autres pollens qu'il protégeait jusque-là. "Ma préoccupation est de préserver un maximum de spécimens, pour les étudier aujourd'hui, mais aussi demain, car ils sont une ressource très limitée et épuisable! s'inquiète celui qui n'hésite pas à se définir comme un "chasseur de mammoths". Quand la couche de pergélisol dans laquelle ils se trouvent aura fondu, nous n'aurons plus accès aux informations qu'elle contenait et tous ces animaux mythiques seront définitivement perdus..." Dans dix ans à peine, il sera peut-être déjà trop tard...

BACTÉRIES

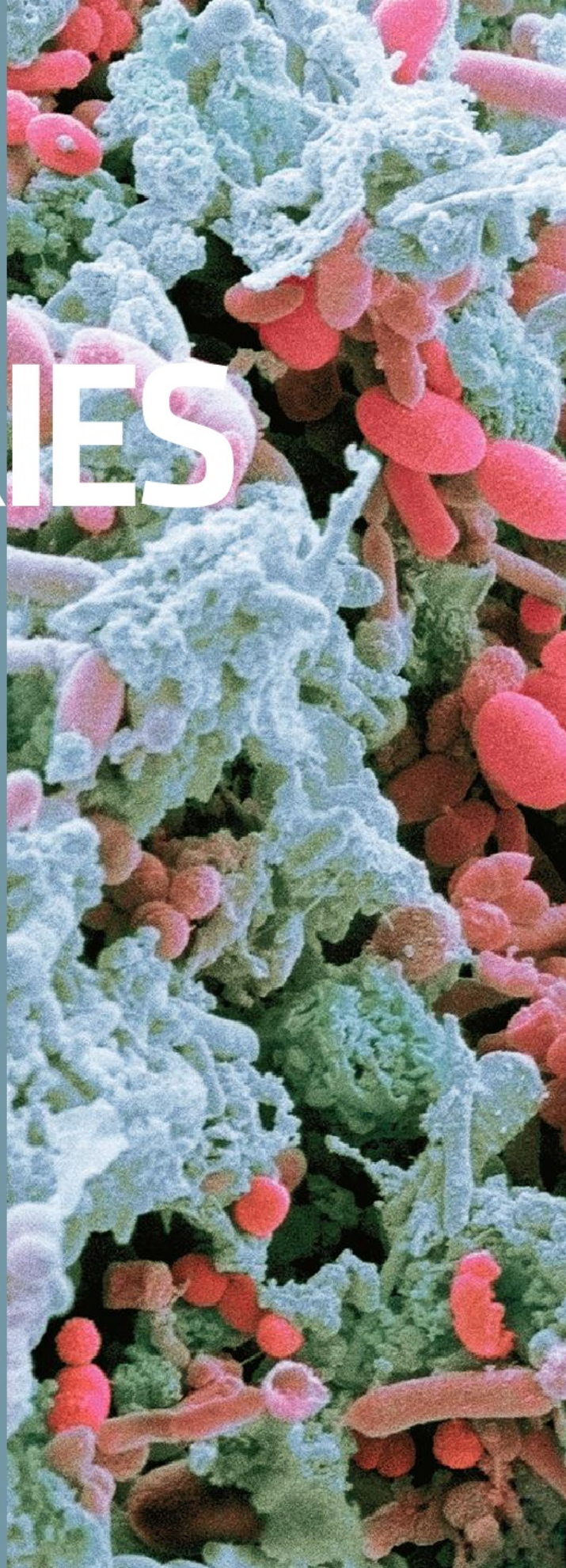
ELLES FONT ET DÉFONT LES ESPÈCES

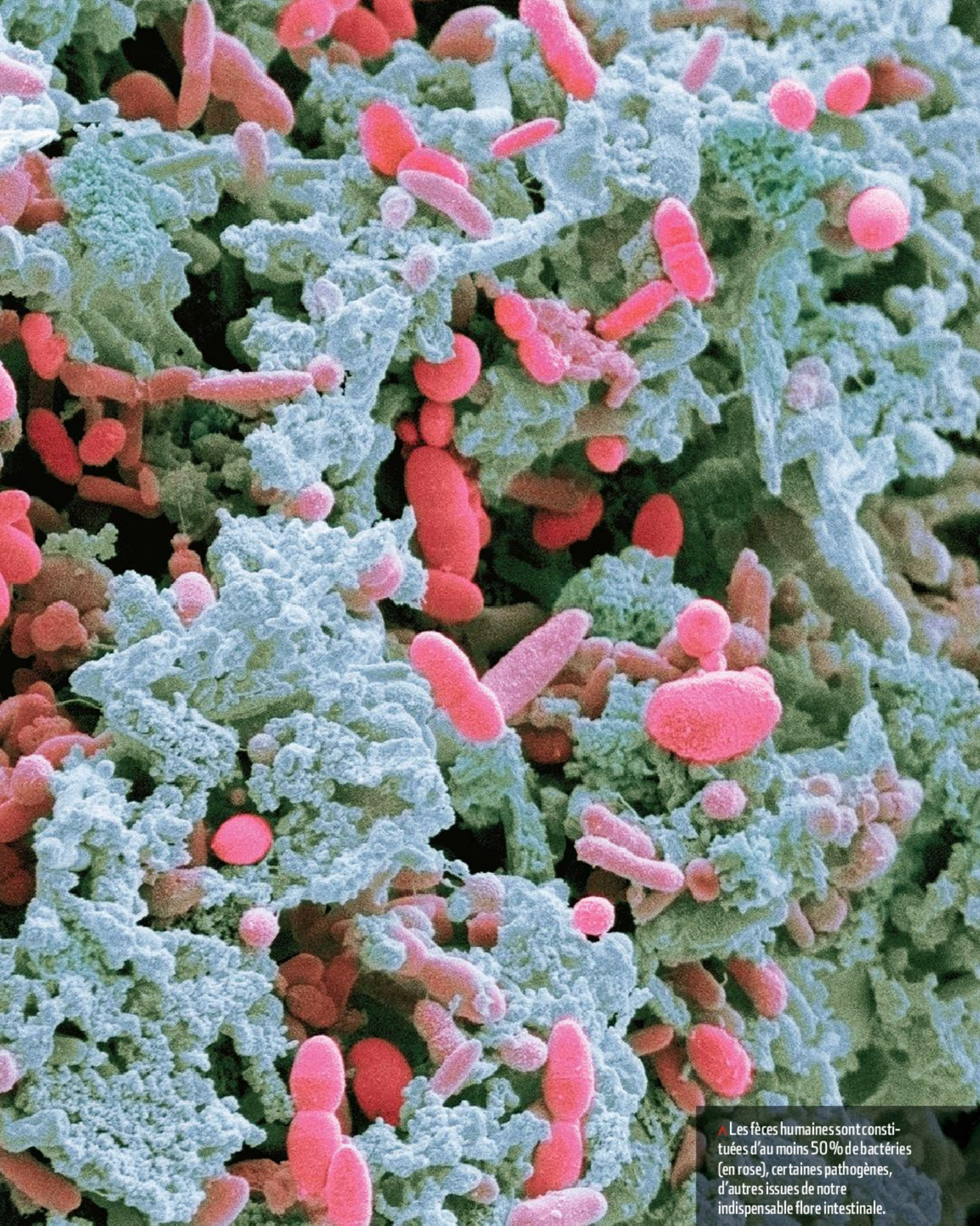
Les bactéries logées à l'intérieur de tout organisme vivant, y compris celles de la flore intestinale, influencent son évolution... Au point, parfois, de créer de nouvelles espèces.

PAR ÉMILIE RAUSCHER

L'hypothèse avait été formulée il y a quelque temps déjà... En 1927, le microbiologiste américain Ivan Wallin notait : *"C'est une proposition pour le moins étonnante de dire que les bactéries, communément associées à la maladie, pourraient en fait être un facteur fondamental dans l'apparition de nouvelles espèces..."* Tellement étonnante, d'ailleurs, qu'elle fut rapidement oubliée, d'autant que les arguments pour la démontrer

n'existaient pas... Ou plutôt : pas encore. Car aujourd'hui, alors qu'ils mesurent encore à peine à quel point les bactéries sont partout – des abysses à nos cellules ; alors qu'ils commencent à réaliser l'importance des relations intimes et durables (symbioses) qu'elles ont tissées avec tout ce qui vit ; alors qu'ils découvrent enfin tout ce dont elles sont capables... finalement, les scientifiques en viennent à se dire qu'il y avait peut-être du vrai dans cette vieille idée folle !





▲ Les fèces humaines sont constituées d'au moins 50% de bactéries (en rose), certaines pathogènes, d'autres issues de notre indispensable flore intestinale.

→ Seth Bordenstein, professeur de biologie à l'université Vanderbilt (Nashville, États-Unis), lui, en est convaincu depuis plus de dix ans déjà : *“Une nouvelle espèce pourrait bien apparaître, non seulement parce que ses gènes mutent au sein de ses propres cellules, mais aussi parce que les communautés microbiennes qu'elle héberge (dans ses intestins, etc.) changent !”* Et il a désormais de quoi étayer cette hypothèse, qui non seulement renouvelle notre compréhension de la complexe mécanique de l'évolution, mais fait des bactéries l'un des maîtres, aussi majeur que méconnu, du destin des espèces...

NOUS SOMMES TOUS DES ÉCOSYSTÈMES

Inspiré par Ivan Wallin, mais aussi par d'autres prédécesseurs visionnaires comme la biologiste américaine Lynn Margulis, qui avait perçu dès les années 1970 l'importance de la symbiose, Seth Bordenstein a patiemment réuni cas ambigus et phénomènes étranges, comme autant d'indices de l'influence des bactéries. Il mène des recherches, compile et dis- sèque les travaux dans lesquels des micro-organismes semblent être à l'origine d'une nouvelle espèce... Une gageure tant ce phénomène, la “spéciation”, est discuté par les scientifiques : ses influences sont innombrables et ses causes multiples et difficiles à distinguer de ses conséquences.

Déjà se pose la question de ce qu'est une espèce. Cela semble simple si on regarde la chose d'un œil presbyte : de loin, les espèces se distinguent bien. De près, beaucoup moins. La faute à l'évolution et à la sélection naturelle qui poussent le vivant à changer en permanence, si bien



FAITS & CHIFFRES

Notre part bactérienne est plus importante qu'on ne le croit : pour **une cellule humaine**, nous abritons **dix bactéries**, et pour **un gène humain**, nos microbes en comptent **100**. Outre nos quelque **vingt milliers de gènes**, nous en comptons donc **plusieurs millions** d'origine microbienne : deux patrimoines génétiques qui doivent fonctionner “en réseau”.

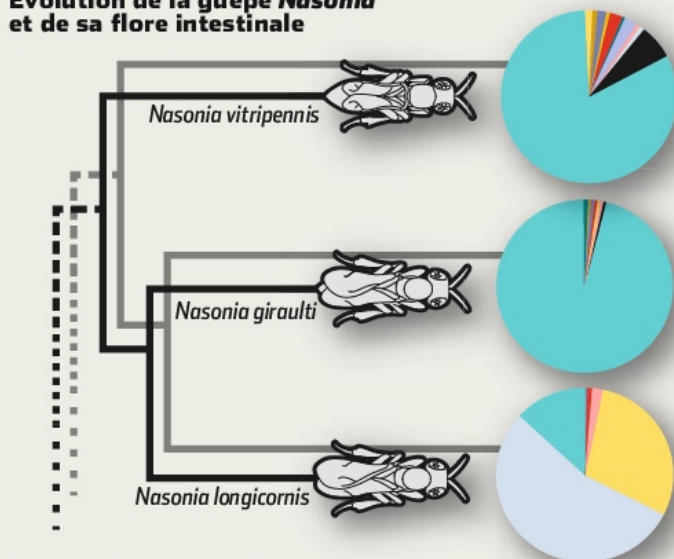
qu'il est difficile de faire la part des choses quand une espèce se transforme ou que deux populations proches semblent s'hybrider. Par conséquent, depuis deux cent cinquante ans qu'ils travaillent dessus, les naturalistes, puis les biologistes ne se sont toujours pas accordés sur une définition claire... Retenons juste que des individus appartiennent à des espèces différentes s'ils ne peuvent pas se reproduire ensemble. Les raisons d'une telle barrière ? Soit l'acte est impossible entre eux, soit leurs hybrides sont condamnés ou stériles. Dans tous les cas, les ponts ont été coupés entre les partenaires et entre leurs espèces respectives – qui pouvaient n'en faire qu'une au départ. Incapables d'échanger des gènes, elles vont suivre chacune leur chemin évolutif et multiplier les différences. C'est ainsi qu'en partant d'un cousin de *Velociraptor*, on se retrouve quelques millions d'années

plus tard avec des canards et des autruches. D'où viennent ces différences ? Comme le rappelle Seth Bordenstein, *“les biologistes considèrent que l'apparition de nouvelles espèces est principalement dirigée par les changements qui se produisent dans nos gènes. Nous, nous démontrons que pour comprendre de façon globale comment se passe la spéciation, il faut certes considérer notre génome, mais aussi celui des micro-organismes qui sont en nous !”*

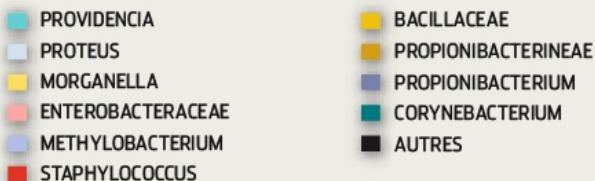
Pour le biologiste américain, la “cause première” de la séparation des espèces peut être, aussi, microbienne. Rappelons-nous que nous sommes de vrais écosystèmes, peuplés de nuées de bactéries. Tout comme deux populations appartenant à une même espèce peuvent être séparées physiquement par une montagne, ou génétiquement par un bouleversement chromosomique, elles peuvent l'être par ces mini-résidents !



Evolution de la guêpe *Nasonia* et de sa flore intestinale



BACTÉRIES LES PLUS ABONDANTES DE LA FLORE INTESTINALE



Le chercheur a regroupé une collection inédite de cas où des bactéries ont sorti une artillerie lourde capable d'imposer cette ségrégation...

UN STRATAGÈME PARFAIT

Wolbachia est, à ce titre, exemplaire: cette bactérie infecte près de 60 % des arthropodes, l'immense groupe des insectes, acariens, araignées et crustacés. Parasite incontournable, elle s'insinue dans les cellules de son hôte et colonise la descendance des femelles. Pour favoriser sa transmission, elle réalise des prodiges...

Ainsi, elle est capable d'imposer à ses hôtes une "spéciation asexuelle": les femelles qu'elle infecte produisent sous sa houlette des ovules qui se développeront sans être fécondés par les mâles (qui deviennent ainsi inutiles). Chez des guêpes ou des acariens par exemple, on voit ainsi apparaître des lignées entièrement féminines et autonomes. "Ce cas est emblématique car immédiat, pointe Olivier Duron, spécialiste de l'évolution des symbioses à l'université de Montpellier 2. Dès l'arrivée de la bactérie, on a un isolement reproducteur,



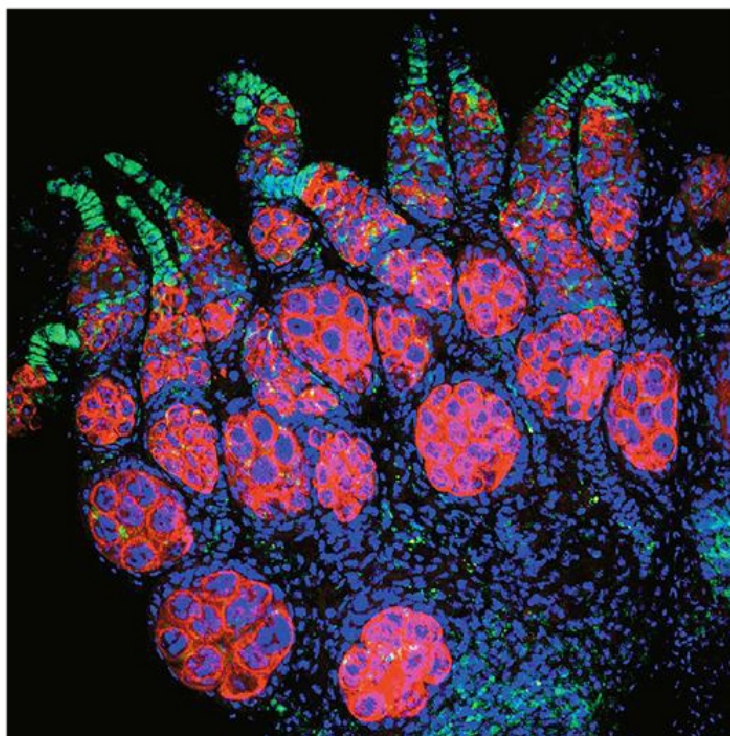
LEURS BACTÉRIES CRÉENT UNE DIVERGENCE ENTRE LES GUÊPES QUI LES EMPÊCHE DE SE REPRODUIRE

Un traitement antibiotique a mis en valeur l'influence de la flore bactérienne de 3 guêpes du genre *Nasonia* dans leurs croisements — ici *Proteus vulgaris* (1) et *Escherichia coli* (2). Sans traitement, leurs embryons hybrides (3) ne survivaient pas, leurs flores étant incompatibles.

c'est-à-dire que l'individu infecté ne peut plus se reproduire avec les autres." Et qui dit isolement dit début de divergence entre les populations séparées.

Wolbachia a une seconde technique: elle sait influencer sur les possibilités de reproduction de son hôte. Seules les femelles qu'elle infecte peuvent se croiser avec tous les mâles, transmettant ainsi le parasite à sa descendance. Une femelle non infectée est limitée aux mâles également non infectés, sous peine de voir ses œufs mourir. En quelques générations, près de 100 % de la population est parasitée. Ce procédé prend toute sa force quand on sait qu'il existe plusieurs types incompatibles de *Wolbachia*: ainsi, dans une même espèce d'arthropodes, on peut voir apparaître des groupes infectés par l'une ou l'autre souche bactérienne qui ne pourront plus se croiser! →

SPL / COSMOS - COURTESY OF R. BRUCKER



▲ En infectant les cellules souches des organes reproducteurs de la mouche drosophile, la bactérie *Wolbachia* (en vert) modifie en sa faveur l'évolution de son hôte.

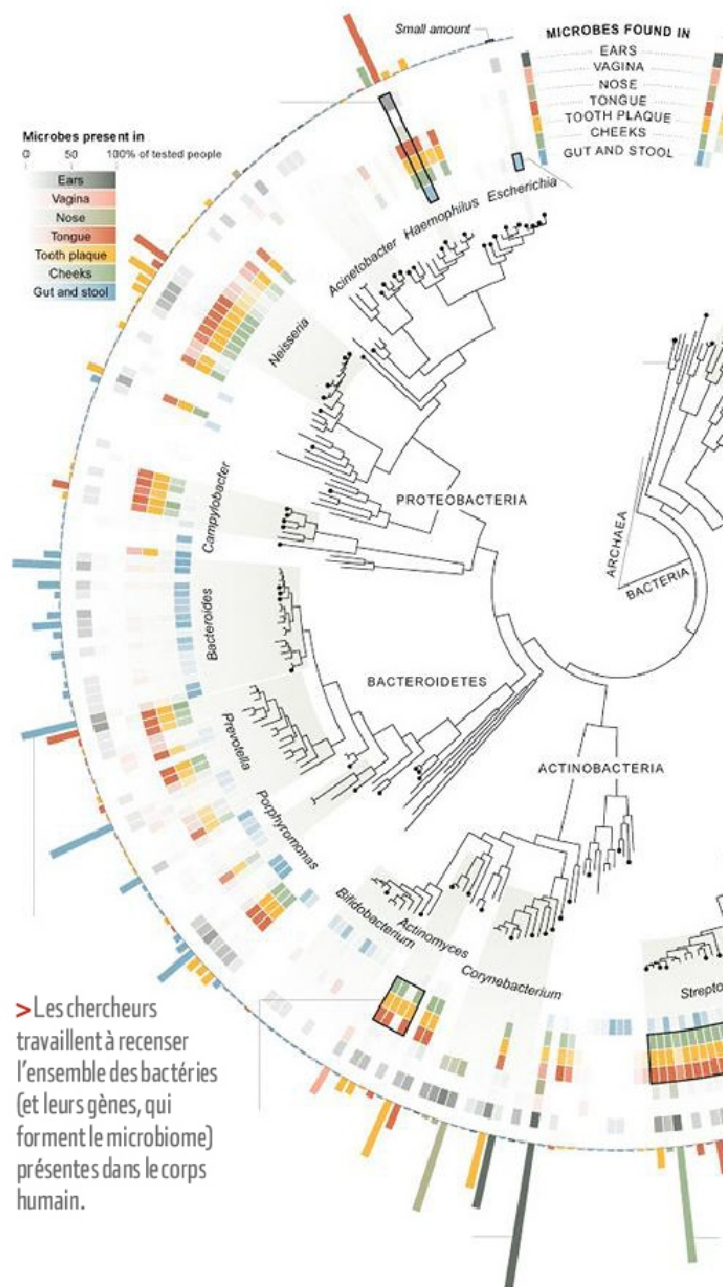
→ Preuve supplémentaire de la responsabilité de la bactérie: l'utilisation d'antibiotiques, en la tuant, fait tomber les barrières qu'elle dressait entre ses hôtes... A moins de s'y prendre trop tard, alors que l'évolution a déjà créé des lignées isolées. Séparées à l'origine par la bactérie, ces populations sont devenues trop différentes pour se croiser, même après sa disparition.

Ces exemples, Seth Bordenstein en connaissait l'importance, mais aussi les limites. Après tout, qu'un parasite niché au cœur même des cellules de son hôte ait un tel effet sur lui n'est sans doute pas si surprenant. Et si *Wolbachia* et ses consœurs sont courantes chez les arthropodes, on n'en connaît guère chez les mammifères, pour ne citer qu'eux. Ce qui limite leur impact à des groupes animaux, certes nombreux, mais bien particuliers...

Sauf que les bactéries n'ont pas besoin de s'incruster dans

les cellules de leur hôte pour bouleverser sa vie. Partout dans le vivant, on observe des symbioses au cours desquelles elles se contentent de s'installer dans certains organes ! Pour rester chez les arthropodes, elles leur permettent de diversifier leur nourriture ou de s'adapter à un autre milieu, et donc de coloniser des zones interdites à leurs congénères. Grâce à elles, le termite mange du bois, le puceron conquiert de nouveaux végétaux, etc. *"Puisqu'elle ouvre l'accès à une niche particulière, et donc facilite la divergence avec la population d'origine, la symbiose soutient la spéciation"*, souligne Olivier Duron. Voilà qui démultiplie les cas possibles !

Pourtant, Seth Bordenstein avait l'ambition d'aller encore plus loin. Pour ce défi, il reçoit en 2008 le soutien de son collègue Robert Brucker. Dans leur dernière étude, tout juste publiée, les deux biologistes



> Les chercheurs travaillent à recenser l'ensemble des bactéries (et leurs gènes, qui forment le microbiome) présentes dans le corps humain.

soutiennent cette fois que même des bactéries banales, non symbiotiques, telles celles qui pullulent dans nos intestins, peuvent provoquer la spéciation ! *"Ces dernières*

DES ESPÈCES NAÎTRAIENT D'UN SIMPLE CHANGEMENT DE LEUR FLORE INTESTINALE

années, il est devenu clair que chaque animal avait des hôtes bactériens spécifiques, dont les gènes réunis (le microbiome) sont impliqués dans sa digestion comme dans son bon développement cérébral, rappelle

ET CHEZ L'HOMME ?

Le rôle des bactéries dans l'évolution des insectes décrypté, on peut se demander ce qu'il en est des mammifères ou des poissons. Seth Bordenstein et Robert Brucker se posent bien sûr la question : *"Nous espérons montrer que la flore intestinale et les gènes des microbes qui la composent, le microbiome, sont importants pour la spéciation animale. Une étude récente vient d'ailleurs de montrer que l'homme et ses plus proches parents chez les primates ont des microbiomes spécifiques à chaque espèce, qui évoluent en même temps que l'ADN*

nucéaire (dans le noyau des cellules)." Cette coévolution plaide pour un lien fort entre notre génome et celui de notre flore. Les études se multiplient d'ailleurs pour recenser les bactéries que nous hébergeons et mieux comprendre le microbiome riche de plusieurs millions de gènes qu'elles constituent. On sait déjà qu'il existe trois "groupes bactériens" intestinaux, comme il y a des groupes sanguins, et que les perturber a des conséquences sur notre santé.

naît donc bien des bactéries. Et réinjecter les microbes restaurait leur lourde mortalité précédente... Un scénario qui a un air de déjà-vu... Sauf que, différence fondamentale, les microbes visés étaient, cette fois, simplement ceux de la flore intestinale !

UN JOUEUR DE PLUS À LA LOTERIE DE L'ÉVOLUTION

En étudiant cette dernière de plus près, Seth Bordenstein remarqua d'ailleurs que les hybrides survivant sans traitement étaient ceux qui avaient reçu une flore proche de celle d'un de leurs parents, au lieu d'un mélange chaotique. C'est donc bien cette flore qui détermine qui vit ou meurt et, ce faisant, imperméabilise les frontières entre les espèces concernées. *"Cette étude est solide et l'idée qu'elle présente est séduisante. On savait que les bactéries intracellulaires pouvaient jouer sur l'isolement de populations... Mais que les bactéries intestinales en soient également capables est nouveau !", s'enthousiasme*

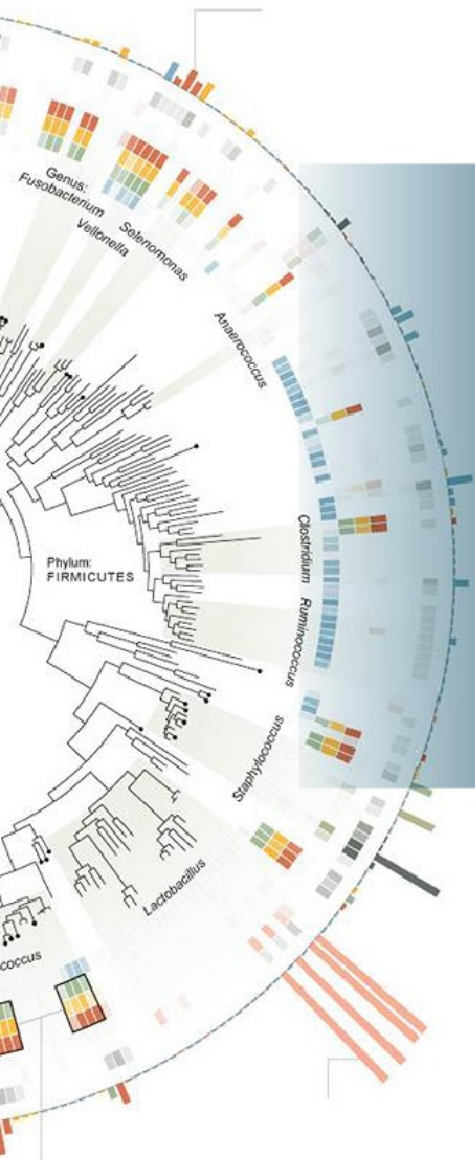
Olivier Duron. Ainsi, les espèces – et l'homme ne ferait pas exception (voir encadré) – pourraient naître et prospérer par le fait de mutations dans leur génome mais aussi, simplement, par des changements dans leur flore intestinale.

Voilà une découverte qui ajoute un joueur particulièrement riche à la grande loterie de l'évolution... Et qui dit partenaire supplémentaire dit nouveaux gènes à prendre en compte : *"Notre expérience donne ainsi une bonne raison de regarder l'hologénome, c'est-à-dire la combinaison de l'ADN de l'hôte et de ses communautés de micro-organismes résidents", souligne Seth Bordenstein. L'objet de la sélection naturelle ne serait donc pas l'individu seul, mais lui et les communautés bactériennes associées.*" Pour le chercheur, nous étions jusqu'ici passés à côté de la plus grande part de l'information qui constitue chaque être vivant : les bactéries, ces marionnettistes invisibles et inconscients derrière l'évolution des espèces ! ■

COURTESY OF H. FRYDMAN - NATIONAL INSTITUTES OF HEALTH HUMAN MICROBIOME PROJECT

le chercheur. *Mais personne n'avait prouvé leur rôle dans la spéciation...*

Avec l'aide de trois petites guêpes du genre *Nasonia*, d'une bonne dose d'antibiotiques et de logique, c'est désormais chose faite. Les chercheurs savaient que lorsque ces trois espèces se croisaient, leurs hybrides étaient condamnés. Ils prédirent, en s'inspirant des expériences avec *Wolbachia*, qu'un traitement antibiotique aurait un effet drastique... Ils ne se sont pas trompés : près de 90 % des hybrides furent sauvés ! L'incompatibilité entre les guêpes ve-



SCIENCE & VIE

VOYAGES ✈

Une croisière d'exception Vietnam - Cambodge 13 jours au fil du Mékong

Places limitées
réservez vite !

à partir de
2295€ au lieu de **2739€**
PAR PERSONNE
13 jours/10 nuits **TOUT COMPRIS**
vol, pension complète, visites...
PRIX SPECIAL LECTEURS !

Jusqu'à
444€
de réduction

Les points forts SCIENCE & VIE VOYAGES ✈

- Un programme original : 9 jours de croisière et 3 à terre
- TOUTES les visites et les spectacles inclus
- Un tarif **TOUT COMPRIS**, spécial lecteurs
- Un bateau 4* de 24 cabines, habillé de bois exotique.

Renseignements : 01 44 32 06 60 (Prix d'un appel local)

Hô-Chi-Minh (Saigon) - Phnom Penh - Temples d'Angkor

Découvrez les hauts lieux classés au patrimoine de l'Unesco au rythme des flots du Mékong.

Cette croisière fluviale offre un angle idéal et un confort de voyage pour comprendre le Vietnam et le Cambodge d'hier et d'aujourd'hui.

Science & Vie Voyages vous propose ce programme de 13 jours pour découvrir :

La chaleureuse et trépidante **Hô-chi-Minh-Ville**, les majestueux temples d'**Angkor**, Phom Penh la coloniale et sa pagode d'argent, le fascinant spectacle des danses khmères.



le R/V Indochine



DATES DE DÉPART DES CROISIÈRES

Août 2013	Septembre 2013	Octobre 2013	Novembre 2013	Décembre 2013	Janvier 2014	Février 2014	Mars 2014	Avril 2014
27	6 - 22 - 28	8 - 14 24 - 30	9 - 15 - 25	1 - 11 - 17* - 27*	2 - 12 - 28	3 - 13 - 19	1 - 7 - 17- 23	2 - 8 - 18

Tarifs selon les dates : • 2 295€ • 2 439€ • 2 545€ • 2 685€ *Supp. Fêtes/pers. : 340€ (non inclus)

Pré/post acheminement de votre région Supp./pers. pont supérieur : 200€

Avec Science & Vie Voyages tout est compris dans le tarif à partir de 2 295€ :

Le vol Paris / Hô-Chi-Minh Ville et Siem Reap / Paris - les transferts aéroport / hôtel et bateau / aéroport ou inverse - la croisière selon la catégorie de cabine choisie - l'hébergement en hôtel 4* NL en chambre double à Siem Reap - la pension complète pendant tout le circuit - les transferts, les visites et excursions mentionnées au programme - les services d'un guide national francophone pour les visites - des guides locaux pendant la croisière - les services de notre directeur de croisière CroisiEurope à bord - les boissons à tous les repas (1 soda ou 1 bière ou 1 eau minérale et café et thé par personne et par repas) - thé, café et eau à volonté pendant la croisière - l'assurance assistance / rapatriement - les pourboires (pour le personnel pendant la croisière). (NB : visas et taxes aéroport non inclus).



SCIENCE & VIE VOYAGES ✈

Du lundi au vendredi de 9h à 12h30 et de 13h30 à 18h et le samedi de 9h à 12h.

Précisez le CODE : SV MKI3

Informations - réservation : 01 44 32 06 60 (Prix d'un appel local)

Nom _____ Prénom _____

Adresse _____

Code postal [] [] [] [] [] [] Ville _____

Téléphone : [] [] [] [] [] [] [] [] [] [] [] [] [] [] [] [] E-mail : _____

Conformément à la loi "Informatique et Liberté" du 6 janvier 1978, nous vous informons que les renseignements ci-dessus sont indispensables au traitement de votre commande et que vous disposez d'un droit d'accès, de modification, de rectification et de suppression de ces données par simple courrier. Sauf refus de votre part, ces informations peuvent être utilisées par des partenaires.

Pour recevoir une documentation détaillée de votre croisière retournez ce bulletin à : Science & Vie Voyages TSA 10005 - 8, rue François Ory - 92543 MONTROUGE Cedex.

CroisiEurope

100 ANS

SCIENCE & VIE

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 : **La génétique**

Leçon n° 6

Penser *acquis* plutôt qu'*inné*

PAR EMMANUEL MONNIER

La mise au jour de l'ADN a donné corps au XX^e siècle à une puissante métaphore : la molécule de la vie recèle un "programme génétique" qui fixerait, dès la conception, le développement et l'ensemble des caractéristiques d'un être. Cette idée d'un déterminisme biologique a été vivement contestée, allumant d'innombrables querelles sur les limites de cet inné supposé dicté par nos gènes. Mais aujourd'hui, de nouvelles données révolutionnent les termes mêmes du débat : non seulement le vécu et l'environnement seraient capables de modifier l'ADN, mais ces modifications pourraient être transmises, ensuite, à la descendance. Un nouveau pouvoir de l'acquis qui offre des possibilités inédites, et esquisse une responsabilité nouvelle vis-à-vis des générations futures.

Le secret de la vie ! Voilà ce que Francis Crick clamait avoir découvert, en février 1953, après qu'il eut identifié, avec son complice James Watson, la structure de l'ADN. Pourquoi sommes-nous différents d'un chimpanzé ? Qu'est-ce qui détermine la couleur de nos yeux ? La forme de notre nez ? Voire certaines maladies qui nous affligent ? Tout s'éclairait soudain, révélé dans cette longue succession de bases chimiques – adénine (A), thymine (T), cytosine (C) et guanine (G) – qui constitue l'acide désoxyribonucléique (ADN), une molécule fascinante, présente dans toutes les cellules vivantes. Car l'agencement de ces bases formait un code astucieux, contenant, sans nul doute, toutes les informations nécessaires au développement et au fonctionnement d'un organisme quel qu'il soit. La génétique moderne venait de naître et, avec elle, l'idée que tout serait inscrit, dès notre conception, dans ce texte à quatre lettres qui compose nos gènes et dont nous héritons de nos parents. Une révolution biologique, donc ; mais aussi des idées.

Car la mise au jour de cet alphabet biochimique, enfoui dans chacune de nos cellules, a fini d'enterrer les théories "vitalistes", qui prétendaient faire du vivant un monde à part, où la matière aurait été dotée d'un mystérieux "élan vital", pour l'installer dans l'univers familier de la chimie moléculaire : chaque organisme est désormais le fruit de réactions physico-chimiques orchestrées par des informations bien définies, codées dès le départ dans les gènes. Un programme inné, à l'origine des protéines qui vont catalyser toutes les réactions.

Enoncé par Francis Crick en 1958, le "dogme central de la biologie moléculaire" aboutira dans les années 1960, sous la plume de François Jacob, Jacques Monod ou Ernst Mayr, à la métaphore du "programme

génétique". Les gènes deviennent une série d'instructions orchestrant pas à pas le développement des êtres, indépendamment de leur vécu et de leur environnement. Et c'est avec cette conception du vivant, donnant la part belle à l'inné, que la biologie a progressé, à pas de géant... Jusqu'à ce que, ces quinze dernières années, s'affaiblisse toujours davantage l'idée de programme.

UN DÉBAT VIF ET FORT ANCIEN

Car au fur et à mesure que les généticiens ont décrypté le génome complet d'un nombre croissant d'animaux et de plantes, il est apparu que les gènes seuls ne pouvaient rendre compte des différences entre les espèces et les individus. Au fur et à mesure que les biologistes se sont plongés dans l'intimité des mécanismes chimiques de l'ADN, ils se sont aperçus que la molécule reine de l'inné avait un peu usurpé son trône : censée ne changer que d'une génération à l'autre, au gré de rares altérations apparaissant au hasard, elle se révélait sensible aux événements vécus par l'organisme, jusqu'à en garder la trace dans sa composition chimique. L'adaptation d'un être à son environnement s'inscrirait donc dans son propre génome. Et pourrait bien être transmis, en partie, à la descendance. Aujourd'hui, cette reconquête de l'acquis sur l'inné s'accélère. Expériences et théories s'affinent, les principes et les mécanismes par lesquels le vivant transmet l'expérience d'un être d'une génération à l'autre se révèlent peu à peu. Et ainsi semble devoir se résoudre la vieille querelle entre inné et acquis.

Car distinguer ce qui est fixé à la naissance – voire bien avant – et ce qui dépend, ensuite, de l'environnement dans lequel on vit est une question sur laquelle les philosophes s'étrillent depuis des siècles. Quant à savoir si l'impact de cet environnement se →

Alors que la révélation de

✓ LA GÉNÉTIQUE S'APPUIE DÈS LE DÉPART SUR LA NOTION DE "PROGRAMME"...

La découverte de l'ADN par Crick et Watson en 1953 révèle le fonctionnement d'un "programme" biochimique, censé gouverner le développement de tout être vivant.





L'ADN donnait la part belle à l'inné...



^... CODANT L'ENSEMBLE DE NOS CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES...

Taille, couleur des yeux, volume du cerveau... nos caractéristiques biologiques seraient ainsi fixées dès la conception dans notre génome, présent dans chacune de nos cellules. Chaque individu utilisant ce "capital génétique" pour s'adapter, ensuite, à son environnement.

^... QUI SONT TRANSMISES TELLES QUELLES À NOTRE DESCENDANCE...

Ce programme génétique serait transmis à la descendance par l'intermédiaire des cellules sexuelles (ovocytes ou spermatozoïdes), sans autre modification que des mutations et réarrangements aléatoires.



DE L'ORIGINE DES ESPÈCES

DES LEÇONS DU PROGRÈS CRÉÉ LES ÊTRES HUMAINS

CH. DARWIN

Traduit en français par le Docteur Edouard de Sélys-Longchamps

1859

M^{me} CLÉMENTINE-AUGUSTE ROYER

1859, 1860, 1861, 1862, 1863, 1864, 1865, 1866, 1867, 1868, 1869, 1870, 1871, 1872, 1873, 1874, 1875, 1876, 1877, 1878, 1879, 1880, 1881, 1882, 1883, 1884, 1885, 1886, 1887, 1888, 1889, 1890, 1891, 1892, 1893, 1894, 1895, 1896, 1897, 1898, 1899, 1900, 1901, 1902, 1903, 1904, 1905, 1906, 1907, 1908, 1909, 1910, 1911, 1912, 1913, 1914, 1915, 1916, 1917, 1918, 1919, 1920, 1921, 1922, 1923, 1924, 1925, 1926, 1927, 1928, 1929, 1930, 1931, 1932, 1933, 1934, 1935, 1936, 1937, 1938, 1939, 1940, 1941, 1942, 1943, 1944, 1945, 1946, 1947, 1948, 1949, 1950, 1951, 1952, 1953, 1954, 1955, 1956, 1957, 1958, 1959, 1960, 1961, 1962, 1963, 1964, 1965, 1966, 1967, 1968, 1969, 1970, 1971, 1972, 1973, 1974, 1975, 1976, 1977, 1978, 1979, 1980, 1981, 1982, 1983, 1984, 1985, 1986, 1987, 1988, 1989, 1990, 1991, 1992, 1993, 1994, 1995, 1996, 1997, 1998, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023, 2024, 2025, 2026, 2027, 2028, 2029, 2030, 2031, 2032, 2033, 2034, 2035, 2036, 2037, 2038, 2039, 2040, 2041, 2042, 2043, 2044, 2045, 2046, 2047, 2048, 2049, 2050, 2051, 2052, 2053, 2054, 2055, 2056, 2057, 2058, 2059, 2060, 2061, 2062, 2063, 2064, 2065, 2066, 2067, 2068, 2069, 2070, 2071, 2072, 2073, 2074, 2075, 2076, 2077, 2078, 2079, 2080, 2081, 2082, 2083, 2084, 2085, 2086, 2087, 2088, 2089, 2090, 2091, 2092, 2093, 2094, 2095, 2096, 2097, 2098, 2099, 2100, 2101, 2102, 2103, 2104, 2105, 2106, 2107, 2108, 2109, 2110, 2111, 2112, 2113, 2114, 2115, 2116, 2117, 2118, 2119, 2120, 2121, 2122, 2123, 2124, 2125, 2126, 2127, 2128, 2129, 2130, 2131, 2132, 2133, 2134, 2135, 2136, 2137, 2138, 2139, 2140, 2141, 2142, 2143, 2144, 2145, 2146, 2147, 2148, 2149, 2150, 2151, 2152, 2153, 2154, 2155, 2156, 2157, 2158, 2159, 2160, 2161, 2162, 2163, 2164, 2165, 2166, 2167, 2168, 2169, 2170, 2171, 2172, 2173, 2174, 2175, 2176, 2177, 2178, 2179, 2180, 2181, 2182, 2183, 2184, 2185, 2186, 2187, 2188, 2189, 2190, 2191, 2192, 2193, 2194, 2195, 2196, 2197, 2198, 2199, 2200, 2201, 2202, 2203, 2204, 2205, 2206, 2207, 2208, 2209, 2210, 2211, 2212, 2213, 2214, 2215, 2216, 2217, 2218, 2219, 2220, 2221, 2222, 2223, 2224, 2225, 2226, 2227, 2228, 2229, 2230, 2231, 2232, 2233, 2234, 2235, 2236, 2237, 2238, 2239, 2240, 2241, 2242, 2243, 2244, 2245, 2246, 2247, 2248, 2249, 2250, 2251, 2252, 2253, 2254, 2255, 2256, 2257, 2258, 2259, 2260, 2261, 2262, 2263, 2264, 2265, 2266, 2267, 2268, 2269, 2270, 2271, 2272, 2273, 2274, 2275, 2276, 2277, 2278, 2279, 2280, 2281, 2282, 2283, 2284, 2285, 2286, 2287, 2288, 2289, 2290, 2291, 2292, 2293, 2294, 2295, 2296, 2297, 2298, 2299, 2300, 2301, 2302, 2303, 2304, 2305, 2306, 2307, 2308, 2309, 2310, 2311, 2312, 2313, 2314, 2315, 2316, 2317, 2318, 2319, 2320, 2321, 2322, 2323, 2324, 2325, 2326, 2327, 2328, 2329, 2330, 2331, 2332, 2333, 2334, 2335, 2336, 2337, 2338, 2339, 2340, 2341, 2342, 2343, 2344, 2345, 2346, 2347, 2348, 2349, 2350, 2351, 2352, 2353, 2354, 2355, 2356, 2357, 2358, 2359, 2360, 2361, 2362, 2363, 2364, 2365, 2366, 2367, 2368, 2369, 2370, 2371, 2372, 2373, 2374, 2375, 2376, 2377, 2378, 2379, 2380, 2381, 2382, 2383, 2384, 2385, 2386, 2387, 2388, 2389, 2390, 2391, 2392, 2393, 2394, 2395, 2396, 2397, 2398, 2399, 2400, 2401, 2402, 2403, 2404, 2405, 2406, 2407, 2408, 2409, 2410, 2411, 2412, 2413, 2414, 2415, 2416, 2417, 2418, 2419, 2420, 2421, 2422, 2423, 2424, 2425, 2426, 2427, 2428, 2429, 2430, 2431, 2432, 2433, 2434, 2435, 2436, 2437, 2438, 2439, 2440, 2441, 2442, 2443, 2444, 2445, 2446, 2447, 2448, 2449, 2450, 2451, 2452, 2453, 2454, 2455, 2456, 2457, 2458, 2459, 2460, 2461, 2462, 2463, 2464, 2465, 2466, 2467, 2468, 2469, 2470, 2471, 2472, 2473, 2474, 2475, 2476, 2477, 2478, 2479, 2480, 2481, 2482, 2483, 2484, 2485, 2486, 2487, 2488, 2489, 2490, 2491, 2492, 2493, 2494, 2495, 2496, 2497, 2498, 2499, 2500, 2501, 2502, 2503, 2504, 2505, 2506, 2507, 2508, 2509, 2510, 2511, 2512, 2513, 2514, 2515, 2516, 2517, 2518, 2519, 2520, 2521, 2522, 2523, 2524, 2525, 2526, 2527, 2528, 2529, 2530, 2531, 2532, 2533, 2534, 2535, 2536, 2537, 2538, 2539, 2540, 2541, 2542, 2543, 2544, 2545, 2546, 2547, 2548, 2549, 2550, 2551, 2552, 2553, 2554, 2555, 2556, 2557, 2558, 2559, 2560, 2561, 2562, 2563, 2564, 2565, 2566, 2567, 2568, 2569, 2570, 2571, 2572, 2573, 2574, 2575, 2576, 2577, 2578, 2579, 2580, 2581, 2582, 2583, 2584, 2585, 2586, 2587, 2588, 2589, 2590, 2591, 2592, 2593, 2594, 2595, 2596, 2597, 2598, 2599, 2600, 2601, 2602, 2603, 2604, 2605, 2606, 2607, 2608, 2609, 2610, 2611, 2612, 2613, 2614, 2615, 2616, 2617, 2618, 2619, 2620, 2621, 2622, 2623, 2624, 2625, 2626, 2627, 2628, 2629, 2630, 2631, 2632, 2633, 2634, 2635, 2636, 2637, 2638, 2639, 2640, 2641, 2642, 2643, 2644, 2645, 2646, 2647, 2648, 2649, 2650, 2651, 2652, 2653, 2654, 2655, 2656, 2657, 2658, 2659, 2660, 2661, 2662, 2663, 2664, 2665, 2666, 2667, 2668, 2669, 2670, 2671, 2672, 2673, 2674, 2675, 2676, 2677, 2678, 2679, 2680, 2681, 2682, 2683, 2684, 2685, 2686, 2687, 2688, 2689, 2690, 2691, 2692, 2693, 2694, 2695, 2696, 2697, 2698, 2699, 2700, 2701, 2702, 2703, 2704, 2705, 2706, 2707, 2708, 2709, 2710, 2711, 2712, 2713, 2714, 2715, 2716, 2717, 2718, 2719, 2720, 2721, 2722, 2723, 2724, 2725, 2726, 2727, 2728, 2729, 2730, 2731, 2732, 2733, 2734, 2735, 2736, 2737, 2738, 2739, 2740, 2741, 2742, 2743, 2744, 2745, 2746, 2747, 2748, 2749, 2750, 2751, 2752, 2753, 2754, 2755, 2756, 2757, 2758, 2759, 2760, 2761, 2762, 2763, 2764, 2765, 2766, 2767, 2768, 2769, 2770, 2771, 2772, 2773, 2774, 2775, 2776, 2777, 2778, 2779, 2780, 2781, 2782, 2783, 2784, 2785, 2786, 2787, 2788, 2789, 2790, 2791, 2792, 2793, 2794, 2795, 2796, 2797, 2798, 2799, 2800, 2801, 2802, 2803, 2804, 2805, 2806, 2807, 2808, 2809, 2810, 2811, 2812, 2813, 2814, 2815, 2816, 2817, 2818, 2819, 2820, 2821, 2822, 2823, 2824, 2825, 2826, 2827, 2828, 2829, 2830, 2831, 2832, 2833, 2834, 2835, 2836, 2837, 2838, 2839, 2840, 2841, 2842, 2843, 2844, 2845, 2846, 2847, 2848, 2849, 2850, 2851, 2852, 2853, 2854, 2855, 2856, 2857, 2858, 2859, 2860, 2861, 2862, 2863, 2864, 2865, 2866, 2867, 2868, 2869, 2870, 2871, 2872, 2873, 2874, 2875, 2876, 2877, 2878, 2879, 2880, 2881, 2882, 2883, 2884, 2885, 2886, 2887, 2888, 2889, 2890, 2891, 2892, 2893, 2894, 2895, 2896, 2897, 2898, 2899, 2900, 2901, 2902, 2903, 2904, 2905, 2906, 2907, 2908, 2909, 2910, 2911, 2912, 2913, 2914, 2915, 2916, 2917, 2918, 2919, 2920, 2921, 2922, 2923, 2924, 2925, 2926, 2927, 2928, 2929, 2930, 2931, 2932, 2933, 2934, 2935, 2936, 2937, 2938, 2939, 2940, 2941, 2942, 2943, 2944, 2945, 2946, 2947, 2948, 2949, 2950, 2951, 2952, 2953, 2954, 2955, 2956, 2957, 2958, 2959, 2960, 2961, 2962, 2963, 2964, 2965, 2966, 2967, 2968, 2969, 2970, 2971, 2972, 2973, 2974, 2975, 2976, 2977, 2978, 2979, 2980, 2981, 2982, 2983, 2984, 2985, 2986, 2987, 2988, 2989, 2990, 2991, 2992, 2993, 2994, 2995, 2996, 2997, 2998, 2999, 3000, 3001, 3002, 3003, 3004, 3005, 3006, 3007, 3008, 3009, 3010, 3011, 3012, 3013, 3014, 3015, 3016, 3017, 3018, 3019, 3020, 3021, 3022, 3023, 3024, 3025, 3026, 3027, 3028, 3029, 3030, 3031, 3032, 3033, 3034, 3035, 3036, 3037, 3038, 3039, 3040, 3041, 3042, 3043, 3044, 3045, 3046, 3047, 3048, 3049, 3050, 3051, 3052, 3053, 3054, 3055, 3056, 3057, 3058, 3059, 3060, 3061, 3062, 3063, 3064, 3065, 3066, 3067, 3068, 3069, 3070, 3071, 3072, 3073, 3074, 3075, 3076, 3077, 3078, 3079, 3080, 3081, 3082, 3083, 3084, 3085, 3086, 3087, 3088, 3089, 3090, 3091, 3092, 3093, 3094, 3095, 3096, 3097, 3098, 3099, 3100, 3101, 3102, 3103, 3104, 3105, 3106, 3107, 3108, 3109, 3110, 3111, 3112, 3113, 3114, 3115, 3116, 3117, 3118, 3119, 3120, 3121, 3122, 3123, 3124, 3125, 3126, 3127, 3128, 3129, 3130, 3131, 3132, 3133, 3134, 3135, 3136, 3137, 3138, 3139, 3140, 3141, 3142, 3143, 3144, 3145, 3146, 3147, 3148, 3149, 3150, 3151, 3152, 3153, 3154, 3155, 3156, 3157, 3158, 3159, 3160, 3161, 3162, 3163, 3164, 3165, 3166, 3167, 3168, 3169, 3170, 3171, 3172, 3173, 3174, 3175, 3176, 3177, 3178, 3179, 3180, 3181, 3182, 3183, 3184, 3185, 3186, 3187, 3188, 3189, 3190, 3191, 3192, 3193, 3194, 3195, 3196, 3197, 3198, 3199, 3200, 3201, 3202, 3203, 3204, 3205, 3206, 3207, 3208, 3209, 3210, 3211, 3212, 3213, 3214, 3215, 3216, 3217, 3218, 3219, 3220, 3221, 3222, 3223, 3224, 3225, 3226, 3227, 3228, 3229, 3230, 3231, 3232, 3233, 3234, 3235, 3236, 3237, 3238, 3239, 3240, 3241, 3242, 3243, 3244, 3245, 3246, 3247, 3248, 3249, 3250, 3251, 3252, 3253, 3254, 3255, 3256, 3257, 3258, 3259, 3260, 3261, 3262, 3263, 3264, 3265, 3266, 3267, 3268, 3269, 3270, 3271, 3272, 3273, 3274, 3275, 3276, 3277, 3278, 3279, 3280, 3281, 3282, 3283, 3284, 3285, 3286, 3287, 3288, 3289, 3290, 3291, 3292, 3293, 3294, 3295, 3296, 3297, 3298, 3299, 3300, 3301, 3302, 3303, 3304, 3305, 3306, 3307, 3308, 3309, 3310, 3311, 3312, 3313, 3314, 3315, 3316, 3317, 3318, 3319, 3320, 3321, 3322, 3323, 3324, 3325, 3326, 3327, 3328, 3329, 3330, 3331, 3332, 3333, 3334, 3335, 3336, 3337, 3338, 3339, 3340, 3341, 3342, 3343, 3344, 3345, 3346, 3347, 3348, 3349, 3350, 3351, 3352, 3353, 3354, 3355, 3356, 3357, 3358, 3359, 3360, 3361, 3362, 3363, 3364, 3365, 3366, 3367, 3368, 3369, 3370, 3371, 3372, 3373, 3374, 3375, 3376, 3377, 3378, 3379, 3380, 3381, 3382, 3383, 3384, 3385, 3386, 3387, 3388, 3389, 3390, 3391, 3392, 3393, 3394, 3395, 3396, 3397, 3398, 3399, 3400, 3401, 3402, 3403, 3404, 3405, 3406, 3407, 3408, 3409, 3410, 3411, 3412, 3413, 3414, 3415, 3416, 3417, 3418, 3419, 3420, 3421, 3422, 3423, 3424, 3425, 3426, 3427, 3428, 3429, 3430, 3431, 3432, 3433, 3434, 3435, 3436, 3437, 3438, 3439, 3440, 3441, 3442, 3443, 3444, 3445, 3446, 3447, 3448, 3449, 3450, 3451, 3452, 3453, 3454, 3455, 3456, 3457, 3458, 3459, 3460, 3461, 3462, 3463, 3464, 3465, 3466, 3467, 3468, 3469, 3470, 3471, 3472, 3473, 3474, 3475, 3476, 3477, 3478, 3479, 3480, 3481, 3482, 3483, 3484, 3485, 3486, 3487, 3488, 3489, 3490, 3491, 3492, 3493, 3494, 3495, 3496, 3497, 3498, 3499, 3500, 3501, 3502, 3503, 3504, 3505, 3506, 3507, 3508, 3509, 3510, 3511, 3512, 3513, 3514, 3515, 3516, 3517, 3518, 3519, 3520, 3521, 3522, 3523, 3524, 3525, 3526, 3527, 3528, 3529, 3530, 3531, 3532, 3533, 3534, 3535, 3536, 3537, 3538, 3539, 3540, 3541, 3542, 3543, 3544, 3545, 3546, 3547, 3548, 3549, 3550, 3551, 3552, 3553, 3554, 3555, 3556, 3557, 3558, 3559, 3560, 3561, 3562, 3563, 3564, 3565, 3566, 3567, 3568, 3569, 3570, 3571, 3572, 3573, 3574, 3575, 3576, 3577, 3578, 3579, 3580, 3581, 3582, 3583, 3584, 3585, 3586, 3587, 3588, 3589, 3590, 3591, 3592, 3593, 3594, 3595, 3596, 3597, 3598, 3599, 3600, 3601, 3602, 3603, 3604, 3605, 3606, 3607, 3608, 3609, 3610, 3611, 3612, 3613, 3614, 3615, 3616, 3617, 3618, 3619, 3620, 3621, 3622, 3623, 3624, 3625, 3626, 3627, 3628, 3629, 3630, 3631, 3632, 3633, 3634, 3635, 3636, 3637, 3638, 3639, 3640, 3641, 3642, 3643, 3644, 3645, 3646, 3647, 3648, 3649, 3650, 3651, 3652, 3653, 3654, 3655, 3656, 3657, 3658, 3659, 3660, 3661, 3662, 3663, 3664, 3665, 3666, 3667, 3668, 3669, 3670, 3671, 3672, 3673, 3674, 3675, 3676, 3677, 3678, 3679, 3680, 3681, 3682, 3683, 3684, 3685, 3686, 3687, 3688, 3689, 3690, 3691, 3692, 3693, 3694, 3695, 3696, 3697, 3698, 3699, 3700, 3701, 3702, 3703, 3704, 3705, 3706, 3707, 3708, 3709, 3710, 3711, 3712, 3713, 3714, 3715, 3716, 3717, 3718, 3719, 3720, 3721, 3722, 3723, 3724, 3725, 3726, 3727, 3728, 3729, 3730, 3731, 3732, 3733, 3734, 3735, 3736, 3737, 3738, 3739, 3740, 3741, 3742, 3743, 3744, 3745, 3746, 3747, 3748, 3749, 3750, 3751, 3752, 3753, 3754, 3755, 3756, 3757, 3758, 3759, 3760, 3761, 3762, 3763, 3764, 3765, 3766, 3767, 3768, 3769, 3770, 3771, 3772, 3773, 3774, 3775, 3776, 3777, 3778, 3779, 3780, 378

→ transmet à la descendance, voilà qui fait aussi débat depuis fort longtemps. Un débat qui, faute de théorie solide expliquant la conception et le développement d'un être vivant, s'était appuyé jusqu'au XX^e siècle sur des concepts flous. Ainsi, qu'un sang puisse être noble n'a fait pendant des siècles aucun doute; mais on se gardait bien de préciser ce qui, dans l'aristocratie, était véritablement transmis de la chair des parents à celle des enfants. Et au XIX^e siècle, on pouvait aussi bien considérer que l'alcoolisme et des maladies comme la tuberculose s'hérिताient "par le sang", de parents à enfants tout en pointant en même temps, comme le fit Emile Zola, le poids de la société qui favoriserait, voire induirait, l'alcoolisme chez les classes "inférieures". Les individus sont-ils soumis à une fatalité biologique contre laquelle, bénéfique ou maléfique, il n'y a rien à faire et qu'ils légueront à leurs enfants? Ou bien la nature humaine dépendant d'abord de l'environnement dans lequel elle s'inscrit, le sort des individus peut-il être amélioré en changeant leur milieu? Bref, qu'est-ce qui est inné? Qu'est-ce qui est acquis?

DARWIN CONTRE LAMARCK

Le biologiste allemand August Weismann commença à mettre de l'ordre dans ces vieilles querelles jusque-là essentiellement philosophiques, en formulant, à l'orée du XX^e siècle, un principe radical: il établit qu'entre les cellules somatiques, qui constitueront le corps de l'organisme, et les cellules germinales (ovocytes et spermatozoïdes) qui lui permettront de se reproduire, la séparation est précoce et définitive, durant le développement de l'embryon. Peu importe, dès lors, les expériences vécues par l'organisme, celles-ci n'auront aucun impact sur les caractéristiques biologiques transmises à sa descendance. Pour preuve, assénera Weismann: couper la queue d'une souris ne lui fait pas engendrer des souris à la queue plus courte!

Si Weismann ampute ainsi des queues de souris, ce n'est pas par pur sadisme. C'est surtout pour couper court aux idées professées par les disciples de Lamarck, un savant français qui, au début du XIX^e siècle, fut un des premiers à affirmer que les êtres vivants évoluaient au fil du temps. Selon la logique suivante: l'usage répété d'un organe, d'une génération à l'autre, pousserait ce dernier à se transformer pour que l'espèce s'adapte au mieux à son environnement. En clair, pour Lamarck, si les girafes ont aujourd'hui un long cou, c'est parce que leurs ancêtres n'ont cessé de l'étirer, pour manger les feuilles les plus tendres situées en haut des arbres. Evidemment, une telle théorie présuppose que les modifications de l'organe, liées à son usage durant la vie de l'animal ou du végétal, se transmettent à sa descendance, ce que les lamarckiens appelleront plus tard la "transmission des caractères acquis".

Dès le début du XX^e siècle pourtant, les disciples de Darwin prennent le dessus... Or, pour les darwinistes, les variations d'un individu à l'autre à travers la descendance sont dues au seul hasard. Avant que la sélection naturelle ne favorise ensuite, par une reproduction plus forte des individus les mieux adaptés à leur environnement, la diffusion de certains caractères au détriment des autres. Le principe de Weismann permettait alors de clarifier le mécanisme par lequel s'opérait cette sélection.

Quelques années plus tard, les biologistes redécouvraient les lois de Mendel qui établissaient la notion de gènes. Ils en isolaient ensuite le support matériel sous forme de chromosomes dans le noyau des cellules. Les notions d'inné et d'acquis commençaient du coup à prendre un sens plus précis. L'inné devenait l'ensemble des caractères héréditaires contenus dans la lignée germinale, transmis au sein d'une même espèce d'un individu à sa →

... l'influence des expériences

LE VIVANT MONTRE AU JOURD'HUI SA GRANDE PLASTICITÉ...

Des jumeaux possédant les mêmes gènes et vivant dans un même environnement ne se développent pas forcément de façon identique. Ce qui suggère que tout n'est pas définitivement codé dans l'ADN.





ces vécues sur nos gènes est peu à peu apparue



**... SOULIGNANT L'IMPORTANCE
DE L'ENVIRONNEMENT
BIOCHIMIQUE DU GÉNOME...**

Un même gène peut ainsi, selon l'environnement physique et chimique dans lequel il se trouve, avoir des effets très différents d'une cellule à l'autre, d'un individu à l'autre.

LAMARCK
PHILOSOPHIE
ZOOLOGIQUE

[illegible]

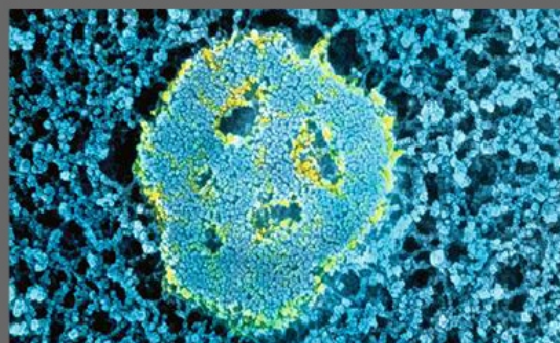
FORMER PAGE 1118

PARIS
LIBRAIRIE F. SAVY
101, RUE MONTMARTRE, 101

PARIS
MIE - F. NAVY
UNIVERSITY, FL

▲... AU TRAVERS DE MÉCANISMES QUI MODIFIENT L'EXPRESSION DES GÈNES...

Des mécanismes dits "épigénétiques" régulent l'activité de certains gènes, en les activant ou les désactivant. Et ces mécanismes ne sont pas directement programmés dans le génome des individus.



▲...TOUT EN RÉHABILITANT L'IDÉE DE LA TRANSMISSION DES CARACTÈRES ACQUIS

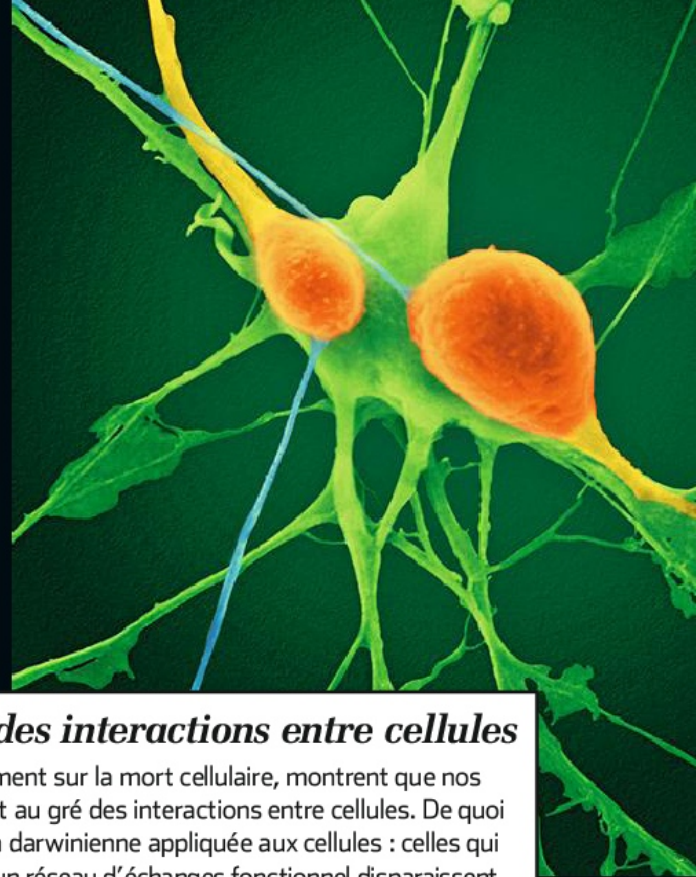
Cet "épigénétisme" renoue avec l'intuition du naturaliste français Jean-Baptiste Lamarck sur l'héritabilité des expériences vécues.

v **ANNÉES 1990*****Le rôle de l'aléatoire totalement repensé***

L'analyse génétique, notamment de cellules cancéreuses, esquisse une nouvelle vision du génome. Comme le propose Kupiec et Sonigo, plutôt qu'un programme prédéterminé, ce serait un ensemble de recettes de fabrication des protéines, activées de façon aléatoire par l'activité chimique de la cellule. Deux cellules identiques peuvent ainsi afficher deux profils différents.

^ **2000*****L'importance des interactions entre cellules***

Divers travaux, notamment sur la mort cellulaire, montrent que nos organes se développent au gré des interactions entre cellules. De quoi envisager une sélection darwinienne appliquée aux cellules : celles qui ne s'insèrent pas dans un réseau d'échanges fonctionnel disparaissent.

***Depuis vingt ans, l'idée de "programme génétique" semble***

→ descendance par l'intermédiaire des chromosomes, sans autre modification que des mutations et réarrangements aléatoires. L'acquis, lui, était l'ensemble des adaptations spécifiques de l'individu tout au long de sa vie, qui disparaissait avec lui. L'ADN, un demi-siècle plus tard, livrait le support matériel ultime de cet inné : l'essence d'un individu, et de son espèce, concentrées dans une unique longue molécule. L'homme se révélait être, d'abord, son génome. Mais jusqu'à quel point ?

DES FACTEURS PSYCHOSOCIAUX

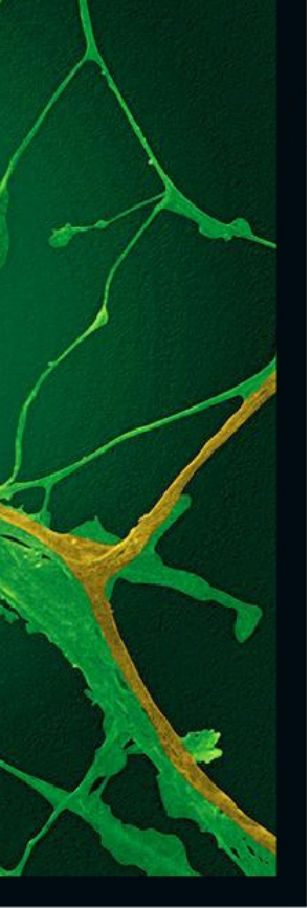
Que l'ADN décide de la couleur de nos yeux ou de notre peau a été vite accepté par l'ensemble des scientifiques – et de la société. Mais *quid* de notre embonpoint, de nos postures, de nos capacités intellectuelles et artistiques ou de nos comportements ? Si tout le monde s'est accordé sur l'idée qu'un être vivant est la somme d'un programme génétique et d'une série d'interactions avec l'environnement, les débats ont

été très vifs pour évaluer plus précisément la part de l'un et de l'autre : aux annonces médiatisées de tel gène responsable de l'obésité, de l'amour maternel, d'une hyperagressivité, voire de l'homosexualité, répondaient des travaux montrant au contraire l'importance des facteurs psychosociaux sur ce que nous sommes.

Innéistes contre culturalistes, les joutes étaient d'autant plus âpres qu'elles pouvaient avoir des traductions politiques très concrètes. Dans les années 1950, le souvenir encore frais des atrocités nazies et autres idéologies racistes empêchait quiconque d'affirmer que l'intelligence, l'aptitude à apprendre les langues ou la musique puissent se trouver dans les gènes. Mais le temps efface les remords. Et la publication, en 1965, dans la revue *Nature*, d'une corrélation entre la présence d'un chromosome Y supplémentaire chez certains hommes et une tendance à adopter des comportements violents fait résolument pencher le

balancier du côté de l'inné. Quatre ans plus tard, lorsque paraît une autre étude affirmant que la différence de Q.I. entre Noirs et Blancs aux Etats-Unis serait essentiellement due à des facteurs génétiques, la conclusion politique qui en est tirée est d'investir moins de fonds publics dans la scolarisation des enfants noirs. Pourquoi dépenser plus, en effet, puisque leur plus fort taux d'échec scolaire serait le résultat de leurs gènes et non de conditions de scolarité plus difficiles ? La création, en 1980, d'une banque de sperme de prix Nobel en Californie s'inscrit dans cette même croyance que l'intelligence aurait pour base principale la possession de "bons" gènes. Cette idée que l'essence, en somme, précède l'existence, aura donc été le credo marquant de la biologie du XX^e siècle.

Mais il semble aujourd'hui avoir fait son temps. Car les généticiens se rendent compte depuis quelques années que nos gènes ne sont pas si imperméables à nos expériences



▼ ANNÉES 2000

L'influence du vécu sur l'ADN

Alors qu'un médecin suédois révèle en 2001 qu'un épisode de famine ou d'abondance vécu par un ancêtre influence le métabolisme de ses petits-enfants un siècle plus tard, des expériences menées sur la souris démontrent qu'un régime alimentaire suffit à désactiver certains gènes sur plusieurs générations.

LONGEVITY DETERMINED BY PATERNAL ANCESTORS' NUTRITION DURING THEIR SLOW GROWTH PERIOD

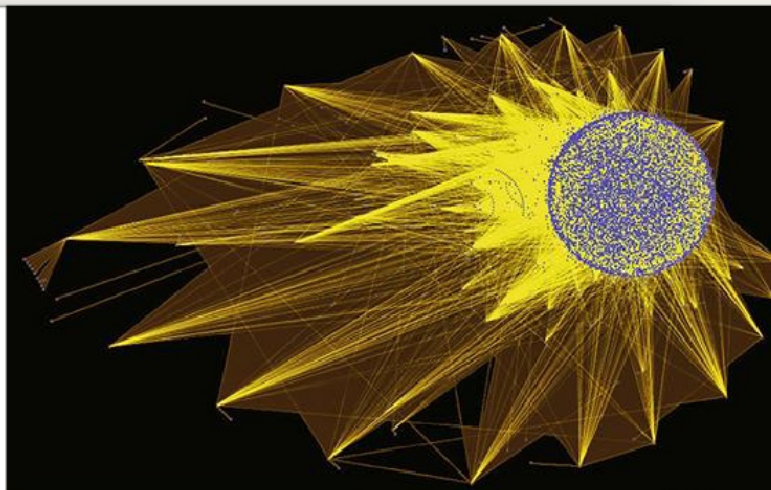
Lars-Olof Bygren¹, Gunnar Kazi² and Anders Ekbom¹

¹Department of Community Medicine and Rehabilitation, Social Medicine, Umeå University, Umeå, Sweden; ²Department of Medicine, Umeå University, Umeå, Sweden

Received 22 May 2000

ABSTRACT
Nutritional conditions during slow growth periods are important factors affecting lifespan and health. In the 19th century, the Swedish population experienced a period of famine followed by a period of abundance. This study investigated the effects of paternal nutrition during the slow growth period on the longevity of his sons. The results show that paternal nutrition during the slow growth period had a significant effect on the longevity of his sons. The results also show that paternal nutrition during the slow growth period had a significant effect on the health of his sons.

INTRODUCTION
The influence of nutrition and environmental factors on lifespan and health is a topic of great interest. In the 19th century, the Swedish population experienced a period of famine followed by a period of abundance. This study investigated the effects of paternal nutrition during the slow growth period on the longevity of his sons. The results show that paternal nutrition during the slow growth period had a significant effect on the longevity of his sons.



▲ ANNÉES 2010

Les confirmations du séquençage

Les techniques de séquençage et d'analyse chimique mettent en lumière le jeu complexe d'interactions moléculaires au sein de chaque cellule pour moduler l'expression des gènes et les caractéristiques biologiques de l'individu.

de plus en plus dépassée...

acquises. Que loin de constituer un programme rigide, écrit une fois pour toutes dans chacune de nos cellules, il est largement interprété, voire réécrit, selon le contexte, au gré des interactions que chaque cellule peut avoir avec son environnement. Lamarck aurait-il été trop vite enterré ?

De fait, même si certaines maladies, comme la sclérose en plaques, sont sous la dépendance forte d'anomalies génétiques héréditaires, il n'empêche que des jumeaux possédant exactement les mêmes gènes, porteurs tous deux de la même anomalie génétique, élevés ensemble dans une même famille, peuvent avoir des destins divergents, l'un développant la maladie et pas l'autre. Pourquoi ? Parce que tout ne serait pas inscrit dans le seul ADN.

Et pour cause ! Les biologistes savent bien qu'une cellule cardiaque, pourtant dotée des mêmes gènes qu'une cellule de foie ou de rein, se comporte différemment. Mieux : d'une heure à l'autre, selon que l'on est le jour ou la nuit,

serein ou agressé, l'ADN d'une même cellule est traduit différemment. Ainsi, certains gènes ne s'expriment pas de la même façon selon qu'on a assez dormi ou que l'on manque de sommeil (voir *SeV* n° 1148, mai 2013, p. 40). Certains sont inhibés par la restriction de sommeil, tandis que d'autres, liés à la réponse au stress, aux défenses immunitaires et aux réactions inflammatoires, s'expriment au contraire davantage. L'acquis, c'est-à-dire les expériences propres à chaque individu, vient donc mettre son grain de sel au cœur même de la machinerie cellulaire.

UN IMPACT SUR 3 GÉNÉRATIONS

L'idée qu'un stress intense ou répété, ou la présence de polluants dans l'atmosphère puissent perturber les équilibres chimiques à l'intérieur de nos cellules ou, pour une femme enceinte, celles de son enfant à naître, n'est pas en soi si surprenant. Mais quand un chercheur suédois en santé publique, Lars Olov Bygren, a montré en 2001 qu'une

expérience vécue par un grand-père pouvait avoir, trois générations plus tard, des conséquences sur le métabolisme de son petit-fils, la nouvelle a sidéré les généticiens.

Car c'est évidemment impossible si l'on admet la séparation postulée par Weismann des lignées germinales et somatiques. Et pourtant ! Le chercheur suédois a étudié la généalogie des habitants d'une minuscule bourgade, Överkalix, dans le nord de son pays. Particulièrement isolés, ces villageois ne pouvaient compter que sur eux-mêmes pour se nourrir et alternaient donc, au XIX^e siècle, les périodes de famine et d'abondance. En analysant les registres agricoles, l'expert en santé publique a déterminé les quantités de nourriture disponibles durant leur petite enfance de trois cohortes de villageois nés en 1890, 1905 et 1920, et les a croisées avec la mortalité de leurs petits enfants. Résultat ? Les garçons qui avaient eu la chance de connaître des hivers de nourriture abondante durant →

→ leur jeunesse avaient des petits-enfants dont la mortalité par diabète ou maladies cardiovasculaires était supérieure à celle des autres, dont le grand-père n'avait, au contraire, connu que des périodes de disette. Disposer d'une nourriture abondante durant sa petite enfance enclenchait donc une série de mécanismes conduisant à accroître le risque de diabète chez ses petits-enfants des décennies plus tard ! De quoi faire se retourner Weismann dans sa tombe.

DES MODIFICATIONS RÉVERSIBLES

Comment est-ce possible ? Les généticiens ont fini par mettre au jour deux mécanismes effectivement capables de modifier le génome de façon subtile, ciblée et surtout réversible. Le premier, la méthylation des gènes, consiste à ajouter un petit composé chimique – un radical méthyle – sur l'une des quatre bases (les cytosines) qui les composent. Ce simple ajout perturbe l'activité du gène (en général, il l'inactive). L'autre consiste à modifier les histones, ces grosses protéines autour desquelles la molécule d'ADN s'enroule. La méthylation des histones, en empêchant l'ADN de se détacher, désactive différents gènes. L'ajout d'un autre petit composé chimique favorise, au contraire, leur activation. *“ Ces mécanismes dits ‘épigénétiques’ modifient tout simplement la manière dont le génome va être traduit ”*, explique Thierry Forné dont l'équipe, à l'Institut de génétique moléculaire de Montpellier (CNRS), défriche ces processus chez les mammifères. *“ Si l'ADN est le texte, l'épigénétique en est en quelque sorte la ponctuation ”*,

renchérit sa collaboratrice Annick Lesne. Des points et des virgules ajoutés ou enlevés au gré des circonstances et qui, au final, bouleversent l'interprétation du texte.

Chez les mammifères, l'influence de ces mécanismes sur l'expression des gènes a été confirmée par différents travaux menés entre 2003 et 2006 sur des souris dotées de la version jaune du gène dit “agouti”. Un gène qui donne un pelage jaune et une tendance à l'obésité et au diabète lorsqu'il s'exprime. Or, lorsqu'on nourrit un groupe de souris gestantes dotées d'un tel gène avec de la nourriture riche en nutriments susceptibles de fournir des résidus méthyl, comme la vitamine B, les souriceaux naissent avec des pelages marron et sans prédisposition à l'obésité ni au diabète : en effet, l'abondance de résidus méthyl inactive le gène dans la descendance. *“ Et les effets vont se retrouver non seulement à la première génération mais aussi dans la seconde ”*, souligne Thierry Forné. Pour une raison simple : les cellules germinales des souris de la première génération, perturbées lorsqu'elles étaient dans l'embryon, seront celles qui feront naître la génération suivante. Les corrélations observées par Lars Olov Bygren vont néanmoins plus loin puisque l'effet est observé sur une lignée masculine : il ne s'agirait donc pas d'une simple méthylation de l'ADN de l'embryon durant la grossesse de la mère, mais d'un effet (méthylation ou autre) qui a bien été acquis puis transmis via les spermatozoïdes.

A l'hérédité génétique s'ajoute donc une hérédité dite épigénétique. Et

c'est cette combinaison qu'il faudrait désormais prendre en compte pour comprendre l'évolution des espèces vivantes. Marier, en somme, darwiniens et lamarckiens. La réalisation, au tournant du XXI^e siècle, de cartographies complètes de différents génomes, dont celui de l'homme en 2003, a de toute façon donné le coup de grâce à la métaphore d'un “programme génétique” qui suffirait, à lui seul, à prédire ce que sera l'organisme. Que l'intégralité du développement soit inscrit dans les gènes est en effet apparu intenable : l'ADN humain n'en contient guère plus de 20 000. Pas plus

... au profit d'une plasticité

qu'une souris et bien moins qu'un... grain de riz. A peine 1 % de notre ADN diffère de celui d'un chimpanzé. *“ Ce qui est important pour différencier une souris d'un homme, ce n'est donc pas le nombre de gènes, c'est plutôt la manière dont ils vont être décryptés ”*, souligne Thierry Forné. Que l'ADN ne soit pas un “programme” figé, que le vécu se charge de le réinterpréter – les épigénéticiens parlent de “reprogrammation” –, est donc désormais acté.

UNE EXPRESSION ALÉATOIRE

Mais certains chercheurs vont plus loin, refusant le terme même de “programme”, compris au sens d'une série d'instructions dont la séquence, y compris dans ses réponses aux actions de l'environnement, se déroulerait de manière univoque. Comme Jean-Jacques Kupiec, chercheur en biologie et en épistémologie au Centre Cavallès de l'Ecole normale supérieure de Paris, pour qui chaque être vivant serait, *in fine*, le résultat d'un certain... hasard. Ou plus exactement d'une sélection darwinienne appliquée sur les cellules elles-mêmes. L'expression des gènes serait à tout moment aléatoire, chacun ayant une certaine probabilité de s'exprimer... ou de rester silencieux.

EN SAVOIR PLUS

Le débat inné/acquis ayant des origines anciennes, un retour aux sources et aux œuvres de Jean-Baptiste Lamarck (XIX^e s) ou aux classiques comme *Le Hasard et la nécessité* (Jacques Monod, 1970) n'est pas superflu. On complètera par des auteurs qui défrichent de nouvelles conceptions du vivant. Parmi eux, Henri Atlan (*Le vivant post-génomique*, 2011), Pierre Sonigo (*Ni Dieu ni gène*, 2001) ou Jean-Jacques Kupiec (*L'origine des individus*, 2008).



< AU NIVEAU ÉTHIQUE...

Penser aujourd'hui à ses descendants

La possibilité de modifier, par notre mode de vie actuel, l'expression du génome de nos descendants augmente notre responsabilité vis-à-vis des générations futures. Les choix de vie que nous faisons aujourd'hui non seulement influent sur notre propre corps, mais conditionnent aussi les caractéristiques biologiques des humains de demain.

du vivant qui modifie notre regard

Des expériences, réalisées sur des bactéries dotées de gènes codant pour des protéines fluorescentes, publiées en 2002 dans la revue *Science*, semblent lui donner raison. Elles ont montré que, même dans des conditions d'expression strictement équivalentes, un même gène ne présente pas la même activation d'une bactérie à l'autre. Deux bactéries possédant le même génome, placées dans un même environnement, répondent différemment, et ce de manière manifestement aléatoire.

Pour Jean-Jacques Kupiec, et d'autres biologistes poursuivant les mêmes raisonnements, ces résultats indiquent qu'il faut abandonner l'idée d'un programme inné au profit d'une vision dans laquelle rien ne serait préétabli, si ce n'est des probabilités. L'ADN ne serait qu'une boîte à outils, un ensemble de recettes pour différentes protéines, activées au hasard au gré des multiples interactions chimiques dans le noyau cellulaire. Les cellules de l'organisme exprimeraient ainsi en permanence, aléatoirement, différents profils. Ceux qui se révèlent adaptés à l'environnement cellulaire dans lequel elles vivent, et qui permettent aux cellules d'avoir des échanges fructueux avec leurs voisines, se stabiliseraient. →

> ... SANITAIRE

Se protéger

Outre leur effet direct sur notre santé, les substances chimiques artificielles qui se multiplient dans notre environnement sont-elles susceptibles de modifier l'expression de notre génome ? S'il est encore trop tôt pour l'affirmer, des "épigénéticiens" estiment ce risque très probable.



< ... THÉRAPEUTIQUE

Mieux se soigner

Inversement, la possibilité d'agir sur l'expression du génome sans avoir à modifier les gènes eux-mêmes ouvre à terme des possibilités thérapeutiques. C'est le cas, en particulier, de la lutte contre le cancer ou contre certaines maladies liées à une anomalie génétique (comme ici, un enfant bulle).

→ Les autres disparaîtraient. *“C’est une sélection interne entre cellules, qui est le reflet de l’histoire de l’organisme, donc de sa relation à l’environnement”*, résume Jean-Jacques Kupiec.

Quel rôle joue l’épigénétique dans ce contexte ? *“C’est l’art de diriger l’aléatoire en restreignant l’éventail des possibles”*, répond Thierry Forné. Car “au hasard” ne signifie en rien que tout peut survenir avec la même probabilité ! *“Toute la question est donc*

probabiliste du génome”, explique-t-il.

Fruits du hasard ou pas, dans quelle mesure ces marques épigénétiques, créées sous l’influence de l’environnement, peuvent-elles se transmettre durablement à la descendance ? Cette transmission de caractères acquis, observée pour la première fois chez l’homme par le chercheur Lars Olov Bygren sur de petites populations, est-elle un phénomène marginal ou de grande ampleur ? Peut-elle,

moyens beaucoup moins lourds que les thérapies géniques actuelles, ceux qui entraînent certaines maladies ou cancers. *“Le problème c’est d’arriver à cibler épigénétiquement un gène. Le jour où on saura vraiment cibler les séquences régulatrices d’un gène, là, on aura sûrement des outils intéressants pour la thérapie”*, note Thierry Forné.

Le contrôle des mécanismes épigénétiques n’en est encore qu’à ses balbutiements. Mais il est déjà porteur d’un double message : l’environnement et nos modes de vie, l’ensemble de nos “expériences acquises” ont bien de multiples possibilités de nous affecter, de nous marquer jusque dans l’intimité de notre ADN et celui de notre descendance. Mais ce marquage étant par nature réversible, ce qui a été fait peut être défait. Et l’espoir est donc toujours présent de pouvoir, un jour, réparer ce qui a été altéré. Notre corps ne serait donc plus un donné indépasseable, auquel il nous faudrait bon gré mal gré nous soumettre, greffes et prothèses diverses rendant déjà chaque jour davantage caduque cette idée qu’il nous faudrait composer avec un corps reçu une fois pour toutes.

Le XXI^e siècle va devoir apprendre à jouer de cette nouvelle plasticité. Et se rappeler que ce qui est inné, et semblait donc inéluctable, peut être changé ; pendant que ce qui est acquis, et semblait donc limité au temps de notre passage sur Terre, peut devenir un héritage pour des générations à venir. Une plus grande liberté d’un côté, une plus grande responsabilité de l’autre. ■

Se rappeler désormais que ce qui semblait inéluctable peut être changé, et que ce qui est acquis peut être transmis

de comprendre comment le hasard est canalisé, biaisé, dans un sens ou dans un autre, par les signaux reçus de l’extérieur...”, observe Annick Lesne.

Quels sont les processus qui conduisent à “marquer” tel ou tel gène ? Jean-Jacques Kupiec propose là encore une vision très “darwinienne” : *“Quand la cellule a trouvé la bonne combinaison de gènes, celle qui lui permet d’avoir de bonnes interactions avec ses voisines, les interactions entre cellules induisent en retour des signaux qui stabilisent la cellule dans l’état où elle est, pour qu’elle continue à exprimer ces ‘bons’ gènes”*, soutient-il. De quoi expliquer, *a contrario*, le nombre impressionnant de cellules qui meurent lors du développement d’un embryon. *“Ce sont des cellules qui n’ont pas pu entrer dans un réseau qui fonctionne. C’est un tri a posteriori de ce qui marche”*, souligne Jean-Jacques Kupiec, qui y voit un moyen de dépasser enfin les discussions sans fin sur le primat des gènes ou de l’environnement. *“Jusqu’à présent on avait, d’un côté le déterminisme du gène, et de l’autre le déterminisme de l’environnement. Mais comment articule-t-on deux déterminismes qui s’opposent ? Cette opposition a maintenant disparu : l’environnement a un rôle sélectif. Il ne vient pas dire à l’organisme ce qu’il doit faire. L’organisme le trouve de lui-même grâce au fonctionnement*

surtout, se fixer au-delà de trois générations ? *“Ce n’est pas exclu, avance prudemment Thierry Forné. En ce qui concerne la méthylation de l’ADN, des séquences échappent à l’effacement dans la lignée germinale. Donc, si on arrive à en trouver certaines qui ont une fonction, il n’est pas exclu qu’elles puissent transmettre, au fil des générations, le caractère auquel elles sont liées.”* Une telle transmission, si elle était confirmée chez l’homme, aurait un impact considérable.

UN RISQUE... ET UN IMMENSE ESPOIR

Un impact philosophique, d’abord, puisqu’il serait admis que nos expériences vécues aujourd’hui puissent avoir des conséquences sur ce que seront, demain, biologiquement, nos descendants. Sanitaires, ensuite. *“Nous vivons une période spéciale dans nos sociétés où il y a beaucoup de produits chimiques perturbateurs. Ces produits modifient probablement l’épigénétique dans des proportions plus ou moins importantes”*, s’inquiète en effet Thierry Forné. Si la possibilité de fixer un caractère acquis était avérée, nous ne serions donc pas à l’abri d’altérations durables et incontrôlées de notre génome. Inversement, la possibilité d’agir, de façon réversible, sur l’expression des gènes, ouvre de nouvelles perspectives thérapeutiques. Le principe étant d’inactiver, par des

Le mois prochain
Leçon n° 7

MATHÉMATIQUES

*Penser
“types”
plutôt que
“ensembles”*

EN PRATIQUE

124 BON À SAVOIR

En direct des publications scientifiques et autres rapports et études.

126 ZOOM DU MOIS

*Pour préserver sa santé...
5 sports sur ordonnance.*

132 QUESTIONS/ RÉPONSES

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

138 TECHNOFOLIES

La roue qui fait de votre bicyclette un vélo électrique; un kayak léger, pliable comme un origami, etc.

144 LE CIEL DU MOIS





EN PRATIQUE

BON À SAVOIR

LES ÉCRANS PLATS SONT DANGEREUX

La télévision blesse un enfant toutes les trente minutes aux Etats-Unis, une statistique aggravée par l'arrivée des écrans plats. Dans 50 % des cas, la chute d'un écran mal fixé ou posé sur une surface instable est en cause. "Pediatrics", juil. 2013

N'ABUSEZ PAS DU POISSON

Certes, le poisson est bon pour la santé, mais c'est également une éponge à produits toxiques et autres polluants. Son absorption en grande quantité peut donc présenter des inconvénients. L'Agence nationale de sécurité sanitaire a fait le point sur le rapport bénéfices/risques de leur consommation. Elle conseille de manger du poisson deux fois par semaine, dont un poisson gras (saumon, sardine, maquereau...), en variant les espèces et les lieux d'approvisionnement. Il est recommandé de limiter à deux fois par mois la consommation de poissons d'eau douce (anguilles, barbeaux, carpes...) – fortement accumulateurs de polluants type PCB (polychlorobiphényles) – voire à une fois tous les deux mois pour les enfants et les femmes enceintes. "Anses", juin 2013



CONCEVOIR EN ÉTÉ FAIT DE PLUS GROS BÉBÉS

Selon une étude américaine, la période la plus adéquate pour concevoir court de juin à août. Pourquoi? Les mamans prennent plus de poids et le bébé naîtra avec 8 ou 9 grammes de plus que s'il avait été conçu à un autre moment de l'année. "Pnas", juil. 2013

LA VITAMINE D ENTRETIENT LA DEXTÉRITÉ

Chez les plus de 65 ans, le manque de vitamine D entraîne des difficultés à s'habiller ou à marcher. On la trouve dans l'alimentation (surtout le foie de poisson) et les rayons du soleil. "JCEM", juil. 2013

L'USAGE DU RÉGULATEUR RÉDUIT L'ATTENTION

Une étude française met en garde contre les dangers des régulateurs et limiteurs de vitesse : ceux-ci affecteraient la capacité d'attention du conducteur. L'étude montre que lorsqu'un événement soudain survient, les conducteurs utilisant ces appareils voient leur temps de réaction allongé de plus d'une seconde, soit une augmentation du trajet parcouru avant freinage de 40 mètres à une vitesse de 130 km/h. Les épisodes de somnolence sont 25 % plus fréquents que la normale à partir d'une heure de conduite avec un régulateur de vitesse ou 16 % avec un limiteur. "Fondation Vinci Autoroutes", juil. 2013





UN LOGO SIGNALE LES MÉDICAMENTS SURVEILLÉS

Dès le 1^{er} septembre, des triangles noirs font leur apparition sur certaines boîtes de médicaments afin de signaler ceux qui font l'objet d'une surveillance renforcée. Cela ne signifie pas forcément que le médicament en question a montré des signes de dangerosité potentielle. Ce symbole doit en effet être apposé sur toutes les boîtes contenant des substances actives nouvelles, ou pour lesquelles les agences de santé disposent de peu de données. Il ne faut donc surtout pas arrêter sans avis médical un traitement en cours du fait de l'apparition de ce symbole ! "EMA", avril 2013

ON A TROUVÉ LE BON DOSAGE DE LA PILULE

Issue d'une étude menée sur plus de 4 millions de femmes, voici la recette de la pilule exposant au plus faible risque d'accident vasculaire : elle doit contenir un progestatif de deuxième génération, et être dosée à 20 µg d'œstrogène, et non pas 30 ou 40 µg. "Cnam", juin 2013

LES CENTRES DE FIV ONT ÉTÉ ÉVALUÉS

Un classement des centres français d'assistance médicale à la procréation pratiquant la fécondation *in vitro* vient d'être publié par l'Agence de la bio-médecine. De quoi repérer les centres en difficulté. "<http://www.fiv.fr/palmares-centres-fiv/>", juil. 2013

UN GRAND VERRE D'EAU BOOSTE LE CERVEAU

Pour augmenter vos performances cognitives, buvez. Une étude réalisée sur 34 personnes à jeun a montré que lors de l'accomplissement d'une tâche faisant appel aux réflexes cérébraux, s'hydrater peut réduire le temps de réaction de 14 %. "Frontiers", juil. 2013

IMAGE SOURCE / RÉA - FOTOLIA

PEU FUMER TUE TOUT AUTANT

Diminuer le nombre de cigarettes quotidiennes (même en dessous de cinq) ne réduit pas le risque de mortalité. Ce doit être une étape vers l'arrêt complet qui, lui seul, offre un réel effet bénéfique sur la santé, selon une étude écossaise menée sur plus de 5000 personnes – hommes et femmes – suivies pendant près de quarante ans. Pour les scientifiques, c'est bien la durée d'exposition au tabac (en années), plus que la quantité, qui augmente le risque. En outre, les fumeurs ayant réduit leur consommation ont tendance à tirer plus fort sur leurs cigarettes et à les fumer jusqu'au bout, ce qui restreindrait l'intérêt de la restriction. "Am. J. Epidemiol.", juil. 2013





EN PRATIQUE

ZOOM DU MOIS

Par Kheira Bettayeb

Pour préserver sa santé...

5 sports sur ordonnance

On connaît les bienfaits de l'activité physique. Mais quelle est celle qui vous convient le mieux ? Pour le savoir, nous avons établi cinq familles de sports avec, pour chacune, les recommandations des médecins selon votre état de santé.

Faire du sport est déterminant pour rester en forme et améliorer sa santé physique et mentale, que l'on soit bien portant ou souffrant (hypertension, obésité, maladies cardio-vasculaires...). Depuis les années 1950, de très nombreuses études sont venues le confirmer, renforcées en 2008 par une expertise de l'Institut national de la recherche médicale et scientifique (Inserm), devenue une référence. Ces bienfaits sont tels qu'à la fin de l'année dernière, l'Académie nationale de médecine a car-

rément proposé de prescrire l'activité physique, au même titre que les médicaments ! Déjà quelques départements ou communes se sont lancés.

UN "VIDAL" DES SPORTS

Depuis novembre 2012, par exemple, Strasbourg a mis en place un programme à destination de personnes touchées par le diabète, les maladies cardio-vasculaires ou l'obésité. En collaboration avec des médecins, des éducateurs sportifs proposent à des centaines de volontaires de participer, pendant au moins un

an, à des activités physiques variées. De ces expériences sortiront les premiers bilans sur les bénéfices et les limites du "sport sur ordonnance".

Car il y a urgence. L'Institut national du sport, de l'expertise et de la performance (Insep) a tiré le signal d'alarme en 2010 : 54 % des Français ne parviennent pas à maintenir un niveau d'activité physique suffisant, à savoir l'équivalent d'au moins trente minutes de marche rapide par jour, cinq jours par semaine. A l'échelle mondiale, selon l'Organisation mondiale de la santé (OMS), la sédentarité est même devenue le quatrième facteur de risque de mortalité (6 % des décès), juste après l'hypertension (13 %), le tabagisme (9 %) et un taux élevé de glucose (sucre) dans le sang (6 %). Elle serait aussi responsable de 10 % des maladies cardio-vasculaires, diabète de type 2 et cancers du sein et du côlon. "A partir du moment où un humain apprend à marcher, il ne doit plus jamais cesser de pratiquer des activités physiques", insiste Gilbert Pérès, ancien chef de service de médecine du sport à l'hôpital de la Pitié-Salpêtrière, à Paris. Le Comité national olympique



➤ Non seulement l'activité physique est bénéfique pour la santé à tout âge, mais elle peut aussi soulager nombre de pathologies.

Méthodologie

Pour vous aider à opter dès aujourd'hui pour le ou les sports les plus en adéquation avec votre état de santé et vos aspirations, *Science & Vie* a consulté les études les plus récentes sur le sujet et demandé l'avis de médecins du sport, avec lesquels nous avons classé les sports en cinq grandes catégories. On y retrouvera les disciplines réunissant le plus de licenciés en France en 2011 : foot (1 988 500 licenciés), tennis (1 102 900), judo et disciplines associées (592 300), basket (461 100), golf (418 300), natation (284 500), etc. Les médecins de certaines de ces fédérations nous ont également permis de préciser les bénéfices spécifiques de plusieurs de ces activités.

et sportif français (Cnosf) planche sur l'équivalent d'un Vidal des sports avec, pour chacun d'eux, sa "posologie" (intensité, durée des séances...), ses possibles "effets secondaires", ses contre-indications, etc. Mais, destiné aux médecins, "ce projet ne devrait pas aboutir avant au moins la rentrée 2014", précise Patrick Magaloff, directeur sport santé du Cnosf. Nous vous proposons donc de prendre les devants : voici ce que vous devez savoir sur les cinq grandes familles de sport à votre disposition.



SPORTS DE CIBLE

Ils protègent contre le déclin cognitif

Golf, bowling, pétanque, tir à l'arc, boomerang...

► **Bénéfices :** Les exercices de focalisation sur des cibles participent au maintien des capacités de concentration et de traitement des informations sensorielles, ce qui aurait une action protectrice contre le déclin cognitif. Ces sports renforcent l'équilibre, et donc préviennent les chutes. Ils améliorent les

capacités cardio-vasculaires. Faciles d'accès, ils sont conseillés aux obèses et aux personnes âgées.

► **Fréquence et durée :** Chaque semaine, au moins deux heures et demie d'activités (voir fiche "Sports d'endurance" d'intensité faible à modérée).

► **Risques :** La tendinite du coude ou du poignet. Ceci dit, "ces sports présentent moins

de risques de blessures que les autres ; et sur le plan cardio-vasculaire, ils induisent un effort moindre que le vélo ou la course", souligne Olivier Rouillon médecin de la Fédération française de golf.

► **Conseils :** Le choix du matériel est déterminant. "Il faut aussi bien maîtriser la technique avant d'augmenter la fréquence des séances", indique Olivier Rouillon.

En chiffres

Une pratique régulière du golf permet de lutter contre :

► **le déclin cognitif :** l'activité cérébrale des golfeurs est supérieure lors d'exercices de concentration (niveau 1,5 d'activité contre 0,5 dans le groupe témoin, sur une échelle allant jusqu'à 2,5 ; J. Baumeister, 2008).

► **les chutes :** équilibre maintenu dans 99,3% des situations quotidiennes (contre 92,1% chez les non-golfeurs ; K. Gao, 2011.)



SPORTS D'ENDURANCE

Ils ont une action bénéfique sur les grandes

Intensité soutenue: aérobic, vélo à plus de 16 km/h, aviron, nage rapide, course rapide, ski de fond, sport de raquette, tennis en simple...

Intensité modérée: vélo à moins de 16 km/h, marche rapide, tennis en double, jogging doux, natation sans trop forcer, randonnée...

► **Bénéfices:** Pratiquer un sport d'endurance permet de préserver ou d'améliorer ses capacités cardiaques, respiratoires, musculaires, immunitaires et vasculaires.

Conséquence directe de ces bienfaits sur les principales fonctions de l'organisme, l'action préventive de cette famille de sport est reconnue sur un très large éventail de maladies: diabète, hypertension, troubles cardiovasculaires, cancers du côlon et du sein, asthme, arthrose, dépression... Pour certaines d'entre elles, comme le diabète de type 2, le sport est même un élément clé du traitement, pouvant permettre de réduire la prise de médica-

ments, voire la supprimer. Selon une étude publiée en 2005, une activité sportive d'endurance diminuerait de moitié le nombre de patients ayant besoin d'un traitement médicamenteux antihypertenseur, et de trois quarts chez les diabétiques. Les sports d'endurance semblent également contribuer à retarder et/ou à ralentir la progression de la maladie d'Alzheimer; et, au final, à augmenter l'espérance de vie et à retarder l'âge d'entrée

dans la dépendance. Bénéfice moins connu, certains sports d'endurance stimulent la croissance osseuse, ce qui leur confère un effet spécifiquement protecteur contre l'ostéoporose. Sont concernés: le jogging, la danse ou la randonnée et, plus largement, tous les sports qui impliquent de porter son corps pendant l'effort, contrairement à la natation ou au vélo.

► **Fréquence et durée:**
- De 5 à 17 ans: une heure



SPORTS COLLECTIFS

Ils améliorent la confiance en soi et l'esprit

Football, handball, rugby...

► **Bénéfices:** Ils sont particulièrement positifs pour le bien-être mental, la confiance en soi, le sens de l'observation, l'esprit d'anticipation et la tactique et contre l'obésité. Ils présentent aussi des atouts proches de ceux des sports d'endurance et du renforcement musculaire.

► **Fréquence et durée:**
- De 5 à 17 ans: au moins une heure par jour.

- A partir de 18 ans et à vie: chaque semaine, une à plusieurs séances de sports collectifs peuvent être au programme des deux heures et demie d'activité d'intensité modérée, ou de l'heure et quart d'activité d'intensité soutenue.

► **Risques:** "L'entorse de la cheville est l'accident n°1 des sports collectifs. Elle représente 25% des accidents survenant au basket", indique

Gérard Murgues, médecin à la Fédération française de basket. Autres dangers importants: les contusions musculaires et/ou articulaires lors de chocs entre joueurs. Enfin, en raison du grand nombre de participants et de la répétition d'exercices intenses et brefs, les sports collectifs sont les plus touchés par la mort subite, liée à des problèmes cardiovasculaires ignorés.

► **Conseils:** "Bien s'alimenter trois heures avant le match ou l'entraînement, s'hydrater avant d'avoir soif, s'arrêter en cas de sensation de malaise ou de douleur anormale et consulter un médecin une fois par an pour déceler tout problème articulaire ou cardiovasculaire", conseille Régis Boxelé, directeur médical de la Fédération française de football.

fonctions de l'organisme

par jour minimum d'activité modérée à soutenue.
– A partir de 18 ans et à vie : chaque semaine, au moins deux heures et demie d'activité d'intensité modérée, pratiquée par périodes d'au moins 10 minutes, ou au moins 1 heure et quart d'activité d'intensité soutenue ou une combinaison équivalente d'intensité modérée et soutenue. Pour des bénéfices supplémentaires, aller jusqu'à 5 heures d'activité d'endurance d'intensité modérée par

semaine ou jusqu'à 2 heures et demie d'activité d'intensité soutenue.

► **Risques :** Ils sont minimes, sauf en cas de pratique intensive, soit plus de 5 heures par semaine. On constate alors un risque accru d'élongation, claquage, tendinite, fatigue, fractures, désordres alimentaires (anorexie...), asthme lié à l'effort et retard de croissance chez l'enfant.

► **Conseils :** Pour toutes les activités sportives, mieux vaut faire un bilan médico-

sportif avant de commencer. Celui-ci devient même indispensable après 40 ans.

"Certains sports sont contre-indiqués avec certaines maladies ou état de santé, comme le cyclisme sur route ou la course à pied en cas d'insuffisance coronaire, la plongée en cas d'asthme ou de diabète...", souligne Gilbert Pérès, ancien chef de service de médecine du sport à l'hôpital de la Pitié-Salpêtrière. Enfin, pendant la pratique de votre sport, si le souffle vous

En chiffres

Une pratique régulière permet de diminuer les risques :

- d'arthrose : de 83% ;
- de fracture de la hanche : de 68% ;
- de diabète de type 2 et de cancer du côlon : de 50% ;
- de maladies coronariennes et d'accidents vasculaires cérébraux : de 35% ;
- de cancer du sein, de dépression et de démence : de 30% (NHS.)

manque au point de ne pas pouvoir parler pendant vos exercices, c'est le signe qu'il faut en diminuer l'intensité.



d'anticipation

En chiffres

Une pratique régulière permet :
► d'améliorer la santé mentale : score de 68,33 sur 100 (établi d'après un questionnaire) chez les femmes pratiquant un sport collectif, contre moins de 64 chez les gymnastes et les marcheuses. (Rochelle Eime et co., 2010.)

► de lutter contre l'obésité : risque réduit de 26% chez les adolescents qui pratiquent deux séances de sports collectifs par semaine, contre 22% s'ils pratiquent le vélo. (Keith M. Drake et co., août 2012.)

Sports virtuels : ça marche ou pas ?

Les consoles de jeux, qui proposent de mimer un sport (golf, bowling, boxe...), peuvent constituer un premier pas vers un retour à la pratique sportive. En effet, ils induisent une dépense énergétique, certes minime, mais réelle. Une étude menée sur des enfants de 13 à 15 ans a montré que ceux qui jouent quinze minutes à un jeu de tennis virtuel ont une dépense énergétique moyenne 38 % supérieure à ceux qui pratiquent une séance de jeu vidéo sédentaire. Surprenant, une autre étude sur les effets de la simulation d'exercices musculaires a

montré qu'il est possible de se muscler en s'imaginant produire un effort. Ainsi – à raison de cinq séances de quinze minutes par semaine pendant trois mois –, trente volontaires ont suivi un entraînement virtuel qui consistait à s'imaginer en train de pousser un poids avec son petit doigt ou de contracter son biceps. Résultats : une amélioration de leurs performances musculaires de 13,5 % pour le biceps et de 35 % pour le petit doigt... contre 53 % en moyenne pour le groupe qui suivait un véritable programme de renforcement musculaire du petit doigt.



Vrai ou faux ?

Un mode de vie actif ne vaut pas un sport.

Faux. A raison de 30 minutes par jour, 5 jours par semaine, les activités du quotidien (marcher, faire le ménage...) peuvent suffire ! Selon une récente étude américaine menée sur 6000 adultes, plusieurs séquences d'exercice modéré de dix minutes seraient aussi bénéfiques que de longues séances de sport.

Il suffit de quelques heures de pratique pour ressentir les premiers bénéfices.

VRAI. Certains bénéfices apparaissent en quelques heures ou jours : meilleur sommeil, diminution de l'anxiété, de la pression artérielle et du taux de glucose dans le sang ou augmentation du taux de "bon cholestérol". Pour d'autres (perte de poids, augmentation de la force de contraction du cœur...), il faudra des mois de pratique régulière. Enfin, l'augmentation de la densité osseuse peut nécessiter des années de pratique.

Le sport est plus efficace après le dîner.

VRAI. Pour faire baisser le taux de sucre dans le sang, c'est après le dîner qu'il vaut mieux faire une marche à rythme soutenu d'au moins quinze minutes. C'est ce que suggère une étude américaine portant sur 10 volontaires de plus de 60 ans ayant une glycémie normale.

Une séance d'une heure et demie vaut 3 séances de 30 minutes hebdomadaires.

Discuté en fonction des bénéfices attendus. Contre l'hypertension artérielle, par exemple, une activité physique modérée mais régulière, deux à quatre fois par semaine, est plus efficace que des exercices vigoureux, pratiqués une seule fois.

SPORTS DE RENFORCEMENT MUSCULAIRE

Ils ren

Musculation avec ou sans poids et appareils, gym d'entretien, Pilates, aquagym, fitness, escalade, etc.

► **Bénéfices :** Cette famille de sport est plus efficace que celle des sports d'endurance pour renforcer et tonifier les muscles et préserver le capital osseux, soit les deux piliers indispensables pour prévenir les chutes et l'ostéoporose chez les personnes âgées. Une pratique régulière permet également de maintenir la masse musculaire

lors d'un régime – d'où la tendance des médecins à prescrire un sport de musculation aux obèses, en plus d'un sport d'endurance – et lorsqu'on avance en âge. En effet, dès 50 ans, la quantité mais aussi la force des muscles commencent à diminuer. Contre ce processus naturel appelé sarcopénie, les exercices de musculation sont la meilleure arme. Enfin, comme les sports d'endurance, mais en moindre proportion, ces activités



SPORTS DE COMBAT ET ARTS MARTIAUX

Ils développent mémoire, équilibre,

Boxe française, full-contact, kick boxing, lutte...

Tai-chi, karaté, kung-fu, judo, taekwondo, aikido...

► **Bénéfices :** Excellents pour maintenir ou développer l'endurance, la souplesse, l'agilité, les réflexes, la coordination, les capacités cardio-vasculaires, la force

musculaire, la confiance en soi, le bien-être mental...

Les arts martiaux où il n'y a pas de confrontation, comme le tai-chi, sont recommandés par le Collège américain de médecine du sport chez les personnes âgées, pour maintenir l'équilibre et la coordination, et ainsi réduire les risques de

chute. Bénéfiques aussi pour la mémoire et la concentration – car il faut apprendre l'enchaînement des mouvements. Les arts martiaux peuvent également aider les enfants susceptibles d'être violents, ou souffrant du trouble du déficit de l'attention avec hyperactivité, en les

incitant à canaliser leur énergie.

► **Fréquence et durée :**

Tous âges confondus, des sessions d'au moins 30 minutes deux à trois fois par semaine.

► **Risques :** Si certains de ces sports comprennent un volet spirituel, beaucoup impliquent des contacts vio-

dent tonique et préservent le capital osseux

contribuent à diminuer la dépression et l'anxiété et les risques de mortalité toutes causes confondues.

► Fréquence et durée :

– De 5 à 7 ans : 3 fois par semaine (charges légères et intensité faible).

– De 18 à 50 ans : au moins deux fois par semaine, sans journées consécutives. L'intensité doit être très faible à faible si vous débutez ou si vous êtes âgé. Faire travailler 8 à 10 groupes musculaires principaux (bras, épaules,

dos, jambes...). Pour chacun d'eux, répéter l'exercice huit à douze fois.

– Chez les plus de 50 ans : au moins deux fois par semaine... mais avec un nombre d'exercices supérieur. Car, pour obtenir le même résultat, il faut compenser la perte naturelle de muscle qui débute à cet âge. Chaque exercice doit donc être répété dix à quinze fois.

► **Risques :** Elongation ou déchirures musculaires, tendinites, malaises ou crises

cardiaques, insuffisance respiratoire, épuisement.

► **Conseils :** Pour éviter les lésions musculaires et articulaires, mieux vaut privilégier des exercices qui alternent des actions musculaires concentriques et actions excentriques. Les premières permettent aux muscles en contraction de se raccourcir. Par exemple, lorsqu'on remonte une barre tenue à bout de bras, des cuisses vers la poitrine, on réalise une contraction concentrique du

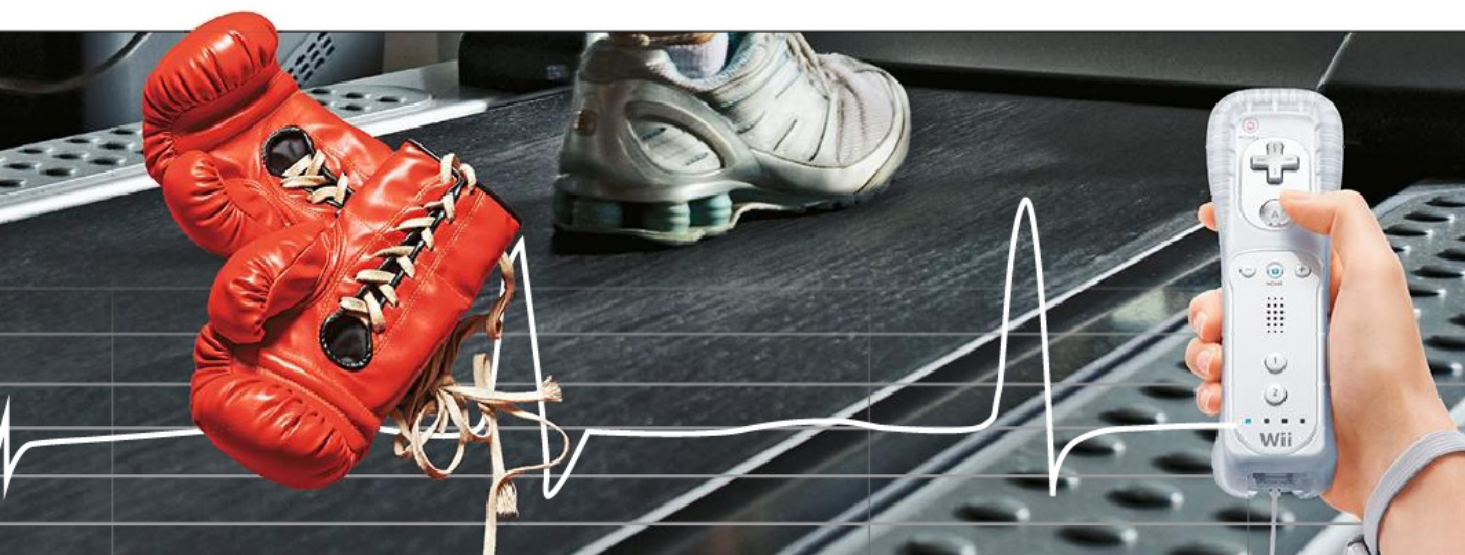
En chiffres

Une pratique régulière permet d'améliorer :

► la densité osseuse : elle est de 20 à 33 % plus élevée chez les gymnastes que chez les nageuses. (Expertise Inserm, 2008.)

► la force musculaire : augmentation de 25 % à 100 %, selon l'intensité et le niveau initial. (Michael L. Pollock et co., 2000.)

biceps ; et inversement, quand on redescend la barre vers les cuisses, le muscle s'allonge.



coordination et concentration

lents, entraînant des accidents très fréquents : coups, entorses lors d'une mauvaise réception, torsions lors de clés de bras ou de jambes... Les coups à la tête pourraient même induire des dommages cérébraux à long terme, comme l'indique une récente étude menée sur 30 boxeurs de haut niveau.

► **Conseils :** Respecter les règles lors des combats. Porter des équipements de sécurité (gants, coquille, protège-dents, casque...). Concernant les arts martiaux, "comme il existe peu de contrôle de l'enseignement de ces sports, pour pratiquer en toute sécurité, mieux vaut s'informer concer-

nant la nature du diplôme de l'enseignant", recommande Franco Roman, médecin à la Fédération française de karaté. Les sports de combat ne sont pas recommandés aux obèses, car ils sont exposés à un risque accru de chutes et de fractures.

En chiffres

Une pratique régulière permet d'améliorer :

► l'équilibre : le risque de chute est réduit de moitié chez ceux qui pratiquent le tai-chi (comparé à des exercices d'étirements classiques).

► le bien-être : soit un gain de perception de 13,5 % (comparé aux personnes qui ne pratiquent pas le tai-chi) ; mais aussi de la capacité à accomplir les tâches quotidiennes (4 %), de la force musculaire (10,1 %), la souplesse (10,6 %). (Duncan J. Macfarlane et co., 2005.)



EN PRATIQUE

QUESTIONS RÉPONSES



Que peuvent savoir de nous les cyber-espions ?

Question de Sophie Missir, Versailles (78)

La question se pose, en effet avec fébrilité, vu les dernières révélations de la presse internationale. Depuis les premières informations rendues publiques, en juin dernier, par Edward Snowden, cet analyste travaillant pour la NSA (l'Agence nationale de sécurité américaine), les scoops s'enchaînent sur les programmes d'espionnage internet et téléphoniques. D'où il ressort qu'au nom de la lutte antiterroriste, les services secrets américains, britanniques et même français espionneraient l'ensemble des échanges électromagnétiques de la planète ! Monsieur Tout-le-monde serait-il donc épié sans le savoir ?

Officiellement, non. *"Il ne s'agit que d'interceptions de sécurité soumises à un cadre légal clair,"* veut rassurer Gwendal Le Grand, expert informatique à la Commission nationale de l'informatique et des libertés (Cnil). *"Le nombre d'écoutes simultanées, contrôlé par le Premier ministre, n'est actuellement que de 6 000 environ en France."* Il n'empêche : *"Par nature, les services secrets cherchent à tout savoir sur tout, tout le temps,"* rappelle Daniel Martin, ancien responsable technique de la Direction de la surveillance du territoire (DST). *"Or, cet idéal était jusqu'ici inaccessible techniquement."* Qu'en est-il aujourd'hui ?

"Prism", le programme occulte de la NSA par qui le scandale est arrivé, vise à si-phonner les "métadonnées" du réseau mondial. C'est-à-dire qu'il s'attaque moins au contenu de nos échanges qu'à leur enveloppe numérique : à savoir, pour une conversation téléphonique, les numéros de téléphone de l'appelant et de l'appelé, la date, l'heure et la durée de la communication, ainsi que la localisation de l'appel repéré grâce à l'identifiant de l'an-

tenne relais. Une fiche est alors générée automatiquement, que les opérateurs ont l'obligation légale, en France, de conserver durant un an à des fins d'enquête de police.

DES INFORMATIONS INTRUSIVES LIVRÉES

Or, expose Vincent Blondel, spécialiste des métadonnées à l'université catholique de Louvain, *"ces données spatio-temporelles livrent des informations intrusives. Au bout de quelques semaines de suivi, on peut facilement en déduire la localisation du domicile, le lieu de travail, de vacances, la garde alternée des enfants..."* Ces métadonnées se prêtent en effet à toutes sortes d'analyses statistiques, d'autant, souligne le spécialiste, que *"leur stockage ne pose plus aucun problème : l'ensemble des communications d'un pays durant une année tient sur un seul ordinateur"*. Le profil d'un individu se dégage alors nettement, en même temps que ses failles. Mais ce n'est pas tout : l'analyse des numéros de téléphone permet aussi de savoir qui parle avec qui. *"On peut ainsi identifier des groupes correspondant, par →*



▲ C'est depuis la base de Menwith Hill, en Grande-Bretagne, que la NSA traite les données des satellites civils et militaires.



→ exemple, à des préférences politiques”, poursuit Vincent Blondel. Si-phonnage et rapprochement sont donc largement utilisés dans la lutte antiterroriste. La NSA étendant même sa surveillance aux personnes séparées d'un suspect par deux intermédiaires – l'homme qui a parlé à l'homme qui a parlé au terroriste.

CIBLER LES MOTS CLÉS

Cet espionnage peut-il aller encore plus loin? Jusqu'au contenu de nos transactions bancaires et de nos communications? Oui. Même si cela ne s'annonce pas aussi simple, indique le cryptanalyste Bruce Schneier: *“Certains algorithmes utilisés résistent à tout décryptage, et il est de toute façon impossible de traiter de tels volumes d'échanges.”* Sauf que, relativise l'expert, *“la NSA est capable de lire le trafic internet par des moyens détournés, en accédant à certains mots de passe ou via des failles dans les logiciels.”* Surtout, complète Gwendal Le Grand, *“l'interception des données peut se faire au moment de leur stockage en clair dans les fermes*

de serveurs”. Ainsi, Google ne se prive-t-il pas de scanner par mots clés les mails qu'il héberge afin de mieux cibler ses publicités. Rien n'empêcherait donc un éventuel cyber-agent infiltré d'y tester des mots clés sensibles.

Quant aux conversations téléphoniques, *“les techniques de conversion de la voix en texte sont devenues très bonnes*, observe Bruce Schneier. *Et à partir de cette transcription, on peut facilement opérer une recherche par mots clés”*. Même si Vincent Blondel n'a encore *“jamais entendu parler de telles techniques portées à grande échelle”*, de lourds soupçons d'enregistrements massifs pèsent. Il suffit de voir le nouveau centre de serveurs de la NSA capable d'accueillir des yottaoctets de données (10^{24} octets), l'équivalent de milliers de milliards de disques durs...

“Bien sûr, tout attraper n'est pas forcément tout comprendre, si l'on songe ne serait-ce qu'aux 6000 langues parlées dans le monde”, suggère Daniel Martin... C'est sans compter avec la dizaine de milliers d'analystes de la NSA.

V.N.

ON PEUT ENCORE ÉCHAPPER AUX MOUCHARDS

Peut-on échapper au grand ratissage d'offices capables de détourner des câbles sous-marins ou de passer des accords avec des géants du Net comme Google ou Yahoo? Pas impossible. Nos données peuvent être rendues imperméables grâce à des logiciels de chiffrements très puissants (2048 bits) ou à des techniques de dissimulation qui les transforment en pixels noyés au sein d'une image anodine. Il est aussi possible d'éviter les autoroutes de l'Internet public, infestées d'espions, en empruntant un tunnel privé (on parle de réseau privé virtuel). Autre solution de bon sens: s'envoyer du courrier papier! Notez aussi que l'armée chinoise entretient 10000 pigeons voyageurs...

Comment les perroquets font-ils pour parler?

Question de Grégory Jos, Tarascon (13)

Il était capable de dire plus de cent mots en anglais, d'identifier des objets, de reconnaître les couleurs, les formes, les matières... Alex, un perroquet gris du Gabon, étudié trente et un ans durant (jusqu'à sa mort en 2007) par l'éthologue américaine Irene Pepperberg, était un as du langage humain. Mais il n'est pas le seul: d'autres perroquets “stars”, élevés en laboratoire et habitués très jeunes à côtoyer les humains, continuent d'épater les spécialistes du langage animal. Plus généralement, tous les perroquets (plus de 300 espèces) peuvent imiter notre langage.

Comment des volatiles sont-ils capables d'une telle prouesse, alors que les grands singes, pourtant plus proches de nous dans l'arbre de l'évolution, ne le peuvent pas? En étudiant les plus loquaces d'entre eux, les chercheurs ont fini par découvrir leur secret: c'est l'association exceptionnelle d'une anatomie singulière et d'une organisation cérébrale unique en son genre qui les a dotés de la parole. Ou, plus exactement, d'un saisissant talent d'imitation de la voix humaine. Chez eux,

c'est l'équivalent de notre larynx, la “syrinx”, située au fond de la trachée, à l'endroit où elle se divise en deux pour alimenter en air les poumons, qui permet de “pousser la chansonnette”. Elle comporte trois paires de muscles et une membrane en forme de tympan, qui vibre et produit du son au passage de l'air expiré. Les muscles, en faisant varier l'étranglement de la syrinx, mettent la membrane en tension, ce qui module la fréquence et l'amplitude des sons émis. Mais ce n'est pas tout.

LANGUE SOUPLE ET LARYNX DE GOURMET...

Les perroquets possèdent aussi une langue souple, épaisse et molle, dont la morphologie rappelle celle des humains. Elle se meut horizontalement, verticalement et d'avant en arrière, ce qui lui permet de modifier finement l'amplitude des sons. L'ouverture du bec, enfin, indépendante de la posi-





Cerveau



SON CERVEAU ABRITE PLUSIEURS NOYAUX SPECIALISÉS DANS L'APPRENTISSAGE VOCAL.

7 noyaux cérébraux

Tête



SON BEC, SA LANGUE ET SON LARYNX AUTORISENT UNE MINUTIEUSE MODULATION DES SONS.

Bec mobile

Larynx articulé

Langue souple et bien mobile

Trachée

Muscles sterno-trachéens

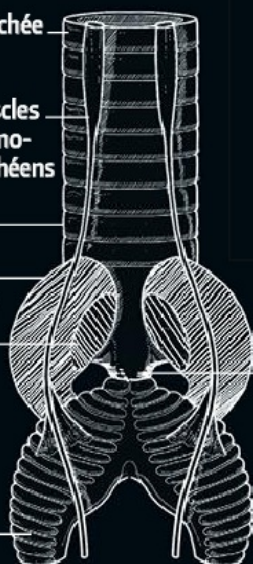
Syrinx

Muscles superficiels

Muscles profonds

Membrane tympanique latérale

Poumons



SA SYRINX (ORGANE QUI ABRITE LES "CORDES VOCALES" DES OISEAUX) EST FINEMENT ANIMÉE PAR TROIS PAIRES DE MUSCLES.

tion de la langue, intervient également. Avant de leur offrir la parole, cette anatomie subtile leur sert surtout à se nourrir en "gourmets".

Car ces oiseaux parleurs ingèrent de petites portions, en utilisant avec habileté bec, langue et larynx (situé, celui-ci, en haut de la trachée) pour faire passer leurs mets dans l'œsophage. Selon certains scientifiques, cette dextérité acquise pour avaler pourrait ensuite s'être muée en capacité à moduler les sons. En effet, "cette suite d'attributs particuliers permet aux perroquets de produire une grande variété de vocalises", confie Dalila Bovet,

au laboratoire d'Éthologie et cognition comparées de l'université Paris-Ouest Nanterre La Défense. Une variété qui dépasse le registre inné: si de très nombreux oiseaux savent produire des chants d'une grande complexité, ils ne peuvent élaborer des sons n'appartenant pas à leur espèce. Les perroquets savent, eux, s'approprier toutes sortes de sons... dont ceux du langage humain.

Un talent d'imitation qui passe, outre une anatomie adaptée, par sept noyaux cérébraux, présents chez les passereaux et les colibris, mais connectés d'une manière spécifique chez les

perroquets. C'est grâce à ces structures cérébrales que ces volatiles apprennent à reconnaître puis imiter un son ou un mot, et à l'associer à une action. Un perroquet peut ainsi dire "bonjour" quand quelqu'un entre dans la pièce où il se trouve. Ou, comme Alex, répondre à des questions simples, d'un ou

plusieurs mots choisis, de façon pertinente, parmi plusieurs dizaines dans son lexique. Voire exprimer ses préférences. Quand on présentait au célèbre perroquet une noix alors qu'il venait de dire "Wanna banana" ("je veux une banane"), il s'en saisissait... et la jetait aux chercheurs! **M.S.**

GAGNEZ UN ABBONNEMENT 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



D'où vient cette ligne sur le ventre des femmes enceintes?

Question de M. Cazin, Courbevoie (92)

Cette *ligna nigra* est l'un des nombreux changements qui affectent la peau lors de la grossesse. Elle est due à une surproduction de certaines hormones : l'adrénocorticotrophine (ACTH), sécrétée par une glande du cerveau (l'hypophyse), et la mélanotrophine (MSH), libérée par l'hypophyse et le placenta. Présentes en plus grandes quantités dans le sang pendant la grossesse, elles induisent une production accrue de mélanine, ce pigment foncé de la peau responsable du bronzage.

Cette "hyperpigmentation" ne se limite d'ailleurs pas à la ligne médiane de l'abdomen, mais peut aussi concerner la zone foncée autour des mamelons, les aisselles, la région génito-anale et le visage, où des taches se forment, le fameux "masque de grossesse".

CHEZ LES HOMMES AUSSI

Cette ligne apparaît chez 90 % des femmes enceintes, et elle est plus marquée chez les brunes. Si elle court souvent du pubis jusqu'au nombril, elle peut

aussi monter jusqu'à la poitrine. En général, elle devient visible autour du second trimestre et disparaît quelques mois après l'accouchement. Elle peut aussi se manifester chez des hommes et des femmes non enceintes, chez qui elle serait due à un dysfonctionnement des molécules qui fixent les hormones androgènes. Une étude nigérienne a aussi montré – sans en expliquer la cause – qu'elle apparaît également chez 48 % des hommes souffrant du cancer de la prostate, et 26 % de ceux atteints d'une hypertrophie bénigne de cette glande. **K.B.**

> La ligne sombre qui apparaît pendant la grossesse est due au dérèglement hormonal, qui provoque une surproduction de l'hormone du bronzage, la mélanine.

Les œufs des poules donnent-ils tous des poussins?

Question de Frédéric Geffard, Le Mans (72)

Non. Les poules pondent très fréquemment des "œufs" non fécondés, il s'agit même d'une particularité héritée des reptiles ! Votre question vient sans doute du fait qu'au sens biologique du terme, un œuf est la première cellule d'un nouvel individu, issue de la fécondation d'un ovule par un spermatozoïde. Si l'accouplement avec un coq est certes nécessaire pour obtenir des œufs fécondés, nul besoin de ce dernier pour

qu'une poule pondre des œufs dépourvus d'embryon. Ces "œufs", même s'ils sont pourvus d'une coquille, sont en réalité des ovules matures de très grande taille. "*L'ovulation presque quotidienne d'une poule l'oblige à pondre toutes les 3 semaines jusqu'à 15 œufs qui ne sont pas forcément fécondés par un coq*", souligne Yorick Gitton, chercheur au CNRS dans l'unité Evolution des régulations endocriniennes du Muséum

national d'histoire naturelle de Paris. *Au cours de leur vie, les poules expulsent ainsi près d'un millier d'ovules.*" Elevée en batterie, avec injection d'hormones, une poule peut même pondre jusqu'à 300 œufs par an.

POULES SÉPARÉES DU COQ

L'élevage industriel ne produit que des œufs non fécondés, pour des raisons de traçabilité, mais aussi parce qu'au goût, un œuf fécondé avec un embryon de dix jours – qui a consommé la quasi-totalité du jaune –

ressemble plutôt à un œuf à la coque avec un lardon à l'intérieur ! Les poules pondeuses sont donc systématiquement séparées des coqs. C'est aussi généralement le cas en élevage traditionnel. "*Il est toutefois possible de tomber sur des œufs fécondés si on les achète dans une ferme d'élevage traditionnel où les poules peuvent s'accoupler avec un coq*", précise Giovanni Levi, directeur de la même unité au CNRS. Si, *a priori*, rien ne distingue un œuf fécondé d'un œuf non fécondé la première se-



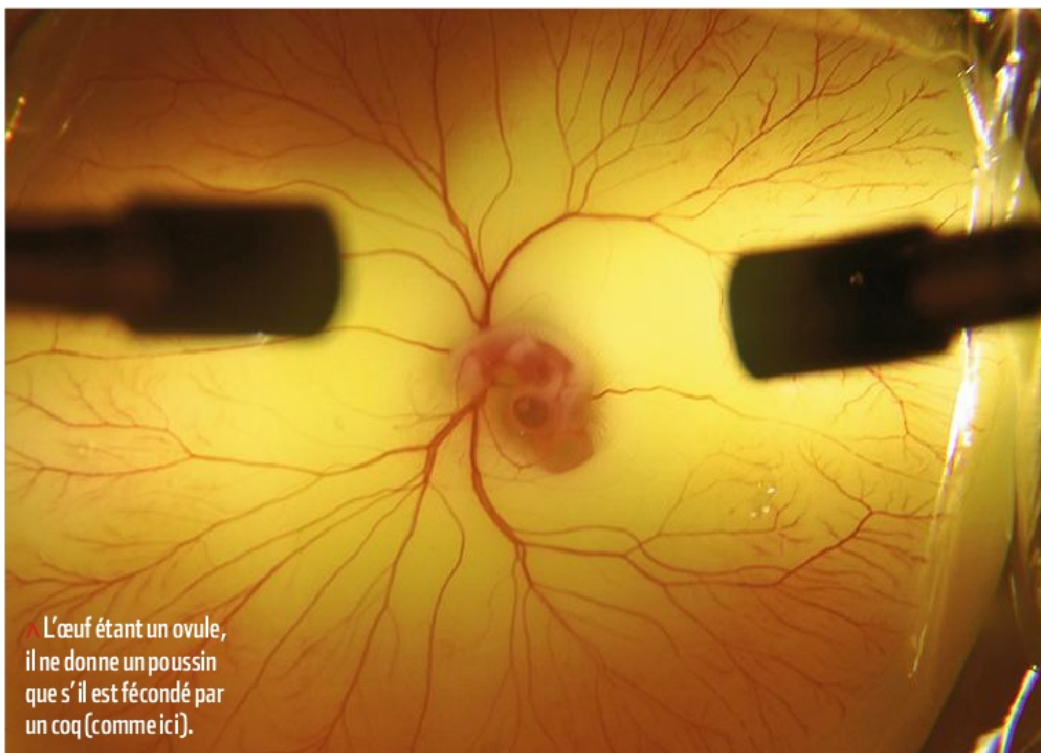
Pourquoi réfléchir fatigue-t-il autant?

Question de Jacqueline Robert, Paris 12^e

Lorsque ce sont les muscles qui travaillent, la glycémie, c'est-à-dire le taux de glucose dans le sang, baisse, induisant une sensation de fatigue. Il en va de même pour le cerveau! Chez l'homme, des études ont montré que plus une tâche intellectuelle est difficile, plus le niveau de glucose dans la circulation sanguine globale diminue. Un effet mis en évidence plus précisément dans la circulation sanguine du cerveau de rats placés dans un labyrinthe. *"Plus le repérage dans l'espace est difficile, plus leur glucose cérébral extra-cellulaire s'épuise"*, explique Holly Miller, psy-

chobiologiste à l'université de Valenciennes. Qui ajoute que la baisse de glucose n'est cependant pas la seule explication de la sensation de fatigue cérébrale: *"Il faut aussi prendre en compte une baisse normale de la motivation."* Que l'aiguillon (délai, pression hiérarchique ou danger) s'émousse, et la capacité à fournir l'effort s'étiolle. Le cerveau est alors moins stimulé car le taux de certaines hormones, comme la dopamine et l'adrénaline, baisse. Ce n'est alors pas tant l'épuisement dû à une tâche trop lourde qui explique la sensation de fatigue que la faiblesse des moyens mobilisés pour y faire face. **M.K.**

maine qui suit la ponte, des fermiers avisés parviennent cependant à les reconnaître dès le deuxième jour en les éclairant avec une lampe de poche dans l'obscurité. Cela leur permet d'observer à travers la coquille la partie supérieure de l'œuf: si elle présente un disque blanc opaque, correspondant au site d'implantation de l'embryon, c'est qu'il est fécondé. *"Mais c'est à partir du troisième jour que l'on peut facilement voir, en le cassant, si un œuf a été fécondé"*, insiste Yorick Gitton. *L'apparition d'une petite tache rouge sur le jaune indique en effet le début de la vascularisation de l'embryon, dont le cœur commence à battre."* **J.G.**



▲ L'œuf étant un ovule, il ne donne un poussin que s'il est fécondé par un coq (comme ici).



EN PRATIQUE

TECHNOFOLIES

La roue qui fait de votre bicyclette un vélo électrique

Cette roue pleine abrite un moteur et des batteries. Une fois installée avec son système électronique, elle transforme votre bicyclette en vélo à assistance électrique. Un concept neuf, qui pourrait faire son chemin...

Le vélo à assistance électrique (VAE) a le vent en poupe. Depuis cinq ans, les ventes ne cessent de progresser: rien qu'en 2012, la hausse a été de 15 %, selon le Conseil national des pro-

fessions du cycle. Pourtant, il reste trois fois plus cher qu'une bicyclette classique (850 € en moyenne). Pour cette raison, des solutions plus économiques permettant de convertir n'importe quelle bicyclette traditionnelle en vélo électrique sont étudiées par les fabricants.

ENTRE 5 ET 30 MINUTES

De nombreux kits spéciaux existent déjà, de qualité très variable. Ils se composent d'un moteur, à fixer sur la roue avant ou arrière, et d'une batterie électrique à placer sur le cadre. L'installation du kit requiert un minimum de talent de bricoleur: d'où l'idée de simplifier les étapes. Il y a cinq ans, la société taïwanaise DK City décide de plancher sur cette question. En décembre 2011, elle sort dbRevO, une roue de vélo électrique embarquant un moteur et une batterie. Adaptable à tous les types de vélo, elle se substitue complètement à la roue avant. Il aura fallu trois années de développement pour obtenir

notamment la meilleure répartition du poids du moteur et de la batterie. Ces éléments, de forme cylindrique, s'imbriquent pour former le moyeu de la roue et sont protégés par une coque en aluminium. Une console électronique, située sur le guidon et reliée par un câble au détecteur de pédalage, commande le moteur par liaison radio (voir infographie ci-contre).

C'est en 2012 qu'Antoine d'Acremont, entrepreneur français dans les énergies renouvelables, et Stéphane Rachmuhl, à la tête d'une agence de communication environnementale, découvrent cette roue et la testent sur les routes de France. Ils proposent alors des améliorations au constructeur: une optimisation de la batterie et un système antiviol (roue et console électronique devant être interdépendantes). Ils l'adaptent ensuite à la norme européenne: la puissance du moteur est fixée à 250 watts – le maximum autorisé –, le moteur ne fonctionne que



Détecteur de pédalage :

Lorsque le disque magnétique passe devant le capteur, l'information de pédalage est envoyée à la console électronique.



Disque magnétique — Capteur

lorsque le cycliste pédale, et l'assistance électrique se coupe dès que la vitesse atteint 25 km/h. C'est ainsi qu'ils ont abouti à la commercialisation toute récente de la Rool'In en France.

3 DATES CLÉS

1895

L'Américain Ogden Bolton Jr dépose un brevet pour un vélo électrique équipé d'un moteur sur la roue arrière et d'une batterie fixée sur le cadre.

1932

Philips et le fabricant néerlandais de vélos Simplex commercialisent le premier vélo électrique de série.

DÉCEMBRE 2011

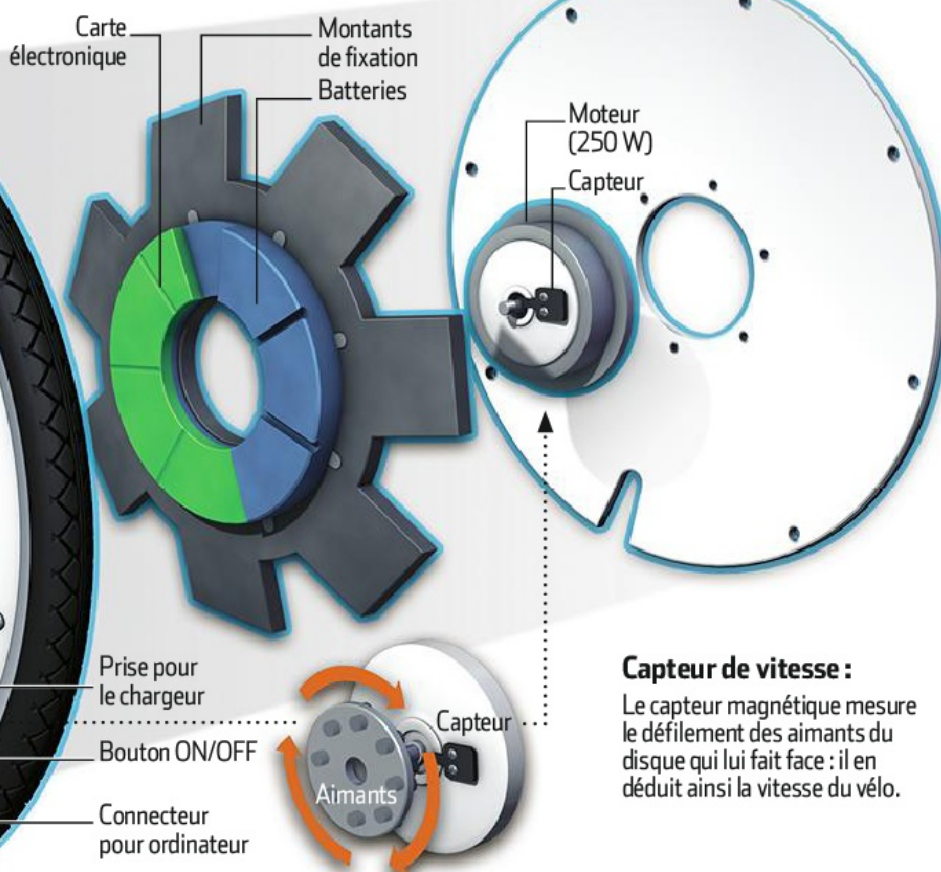
La société taïwanaise DK City lance dbRevO, la première roue électrique de vélo embarquant un moteur et une batterie.



Comment ça marche ?

Le système Rool'in se compose d'une roue avant (dont le moyeu contient un moteur électrique, des batteries et un capteur de vitesse), d'un détecteur de pédalage, fixé sur l'axe des pédales, et d'une console électronique installée sur le guidon. Cette dernière reçoit les informations du détecteur. Dès qu'il y a un mouvement de pédalage, elle transmet ses ordres à la roue par onde radio, ce qui déclenche le moteur de 250 watts. Celui-ci fournit ainsi une assistance électrique tant que la vitesse, surveillée par le capteur intégré dans la roue, ne dépasse pas 25 km/h, la limite légale autorisée en Europe.

Structure interne



Capteur de vitesse :

Le capteur magnétique mesure le défilement des aimants du disque qui lui fait face : il en déduit ainsi la vitesse du vélo.

En pratique, on remplace d'abord la roue avant, puis on fixe le détecteur de pédalage, et on installe la console électronique sur le guidon. "Entre cinq et trente minutes suffisent pour effectuer les 3 étapes, contre plusieurs heures pour un kit", estime Antoine d'Acremont.

Au total, avec le moteur et la batterie, la roue accuse un

poids de 6 à 8 kg, en fonction de sa taille. Est-ce un problème ? "Au contraire, le vélo est plus stable, parce que les deux roues sont motrices, et que le poids est mieux réparti entre l'avant et l'arrière du vélo", poursuit l'entrepreneur. La batterie lithium-ion assure, elle, une autonomie comprise entre 35 et 70 km, en fonc-

tion du niveau d'assistance réglé et du parcours, des performances équivalentes à celles d'un vélo électrique. Pour la recharger, il faut brancher la roue sur le secteur, grâce à une prise prévue à cet effet. Le principe est simple, mais d'un usage contraignant. C'est l'une des améliorations envisagées dans les années à ve-

nir. "Nous sommes les seuls à avoir une roue pleine. On pourrait utiliser cette surface pour placer des cellules photovoltaïques", confie le spécialiste des énergies renouvelables. Cette roue n'a donc pas encore totalement fini sa course en avant. **O. Lapirot**

Prix : env. 730 € (20 pouces), 800 € (26 pouces), 900 € (28 pouces).
Rens. : www.rool-in.com



La vidéo panora

A partir de plusieurs clichés numériques, on sait reconstituer une photo panoramique. Pourquoi ne pas utiliser ce principe pour créer une vidéo sur 360° ? C'est l'idée qu'a exploitée la société française Oxylane avec la Géonaute. Cette petite caméra de 200 g, qui tient dans la paume de la main, est dotée à son som-

met de trois lentilles grand-angle, associées à trois capteurs de 8 millions de pixels. Elle couvre ainsi l'intégralité du champ horizontal, et un champ vertical de 150°. La conversion panoramique est réalisée dès la prise de vues : à la fin de l'enregistrement, on obtient un seul fichier numérique en Mpeg4. Pour obtenir la vision à 360°, il

< La caméra est dotée de trois lentilles grand-angle pour la prise de vues.

Le premier

Voici le premier reflex 35 mm (argentique) à monter soi-même, doté d'un système d'objectifs interchangeable. Son nom ? Le Konstruktor DIY Kit, conçu par l'entreprise Lomography, qui s'ingénie depuis plus de vingt ans à faire vivre la photo argentique. Pour le monter – en une à deux heures –, il suffit de clipper et visser quelques petites pièces en plastique prédécoupées. Le cadrage et la mise au point



mique facile

faut installer sur l'ordinateur un logiciel dédié. La souris peut alors servir à changer de point de vue et à zoomer dans la vidéo. Les sportifs qui veulent filmer leurs exploits pourront la placer avec les fixations adhésives fournies sur un casque, une planche ou un vélo. En partie recouverte de caoutchouc, elle résiste aux

éclaboussures. Sa batterie lui assure une autonomie de plus de 2 heures d'enregistrement. Parmi les accessoires en option, on trouve un caisson étanche pour la plongée et un bracelet-télécommande. Mise en vente en France dans quelques semaines. **O.L.**

Rens. : www.geonaute.com.
Prix : env. 400 €.

appareil photo en kit

s'effectuent grâce à un viseur à miroir. On peut réaliser des superpositions, et le mode "Bulb" permet de laisser l'obturateur ouvert pour les poses longues. L'emplacement pour trépied a même été prévu. Cet objet ludique

sera surtout un bon moyen de découvrir comment fonctionne un boîtier reflex... de l'intérieur. **E.T.A.**

Prix : env. 35 €.
Rens. <http://shop.lomography.com/fr/>



UN KAYAK LÉGER PLIABLE COMME UN ORIGAMI

Il mesure 3,7 m de long, 63,5 cm de large et 33 cm de haut, pèse à peine 12 kg, est pliable et dépliable à l'envi, en à peine cinq minutes : c'est la prouesse que réalise ce kayak, devenant alors son propre étui de transport (83 cm x 73 cm x 25,4 cm). Une fois plié, un espace est prévu pour un gilet de sauvetage et la pagaie... Pour concevoir ce produit, les Californiens de l'entreprise Oru Kayak se sont inspirés de l'origami (l'art du pliage du papier asiatique) et l'ont transposé à la peau réalisée en plastique double couche. Ce kayak vendu aux Etats-Unis devrait débarquer en France au premier semestre 2014. **E.T.A.**

Prix : env. 650 €.
Rens. : www.orukayak.com



LE COIN DES PROTOTYPES

LA VOITURE QUI SE GARE TOUTE SEULE AU PARKING

Volvo étudie un prototype de voiture capable de se garer... sans conducteur. Le principe ? A l'entrée du parking, le conducteur descend de son véhicule et lance une application dédiée sur son smartphone. L'appareil se connecte à l'ordinateur du parking qui indique, par liaison wi-fi, s'il reste des places libres, avant de mener le véhicule à bon port via un ensemble constitué de GPS, radar, caméras et capteurs à ultrasons. Ce système est couplé avec celui de détection des piétons et des cyclistes (voir S&V n° 1150, p. 140) "Notre dispositif autonome nécessite encore cinq à dix ans de développement technique avant d'être proposé au public", précise Mikael Thor, de chez Volvo. D'ici là, le constructeur devra s'entendre avec les gestionnaires de parkings pour qu'ils soient compatibles avec ce nouvel automatisme. **E.T.A.**

Rens. : www.volvocars.com/fr



UN NID DE SAUTERELLES POUR LA CONSOMMATION

Elever des sauterelles chez soi pour les manger : c'est l'idée de ce prototype de terrarium créé par le designer togolais Mansour Oursanah en collaboration avec KitchenAid. Lepsis est un bocal comportant des œufs de sauterelles et un sol adapté à la reproduction des insectes. Il est composé de quatre unités. En bas, c'est un nid où une centaine de sauterelles vivent, grandissent et se reproduisent; au dessus, une mangeoire de petits légumes. On attrape les sauterelles en remplaçant la mangeoire par un bac à récolte, où elles sont attirées par une ampoule fluorescente. La récolte peut ensuite être gardée au réfrigérateur. 80 % de la population mondiale consomme déjà des insectes (voir p. 86), alors pourquoi pas ! **M.S.**

<http://nominateforindexaward.dk/Presentation/read?id=MTcONA==>





La F1 des vélos elliptiques

Directement sortis des salles de sport, les vélos elliptiques débarquent sur les routes. Une fois mis en mouvement, l'engin à 3 roues avance et donne la sensation de courir, sans aucun impact du pied sur le sol. De quoi faire travailler la plupart de ses muscles, en plein air, et sans se faire mal au dos ou aux articulations. Air Step du fabricant français Spitzbarth-design se distingue par un principe de direction unique sur le marché. En effet, comme l'appareil sollicite les bras en plus des jambes, il est dépourvu de guidon. Pour le manœuvrer, son concepteur, Sigismond Spitzbarth, l'a équipé d'un train avant suspendu par deux combinés ressorts-amortisseurs indépendants, comme sur les voitures de Formule 1. Pour tourner, il suffit donc de pencher le corps à gauche ou à droite avec les pieds posés sur les plates-formes en bois, un peu comme au ski. Les roues s'inclinent ainsi légèrement dans les virages et l'utilisateur garde le contrôle de l'engin même sur les routes accidentées. Avec son cadre en acier, Air Step pèse de 20 à 25 kg, ce qui équivaut à un gros VTT de descente en montagne. Seul bémol: son gabarit (de 158 à 180 cm de long, de 140 à 156 cm de haut et 75 cm de large). Car, même si les bâtons pour les bras sont détachables, il faut un très grand coffre de voiture pour le transporter... **L.B.**

Prix: à partir de 2800€.

Rens.: www.moverider.com

✓ Il est doté d'un train avant suspendu, similaire à celui d'une voiture de Formule 1.



L'antivol garanti sûr à 100 %

Pour prendre les voleurs à contre-pied, le constructeur français Btwin a conçu Hardlock, un antivol de vélo qu'il qualifie d'inviolable. Son secret? D'abord, il est plus épais que la mâchoire de la majorité des pinces coupantes du marché. Surtout, il est constitué de plusieurs couches de matériaux, dont de l'acier traité (les autres sont tenus confidentiels), recouvertes d'une gaine en caoutchouc. Aucune faille non plus au

niveau de la serrure puisqu'elle est "anti-crochetage". Le fabricant est si sûr de son produit qu'il rembourse les vélos qui seraient tout de même volés! Commercialisation prévue à partir de l'automne prochain. **L.B.**

Prix: env. 60€.

Rens.: www.btwin.com



LE PREMIER SCANNER 3D POUR LES PARTICULIERS

Les scanners 3D existaient jusqu'ici dans le milieu industriel. Voici la toute première version destinée au grand public. Inventé par la société canadienne Matterform, ce scanner permet, comme son nom l'indique, de numériser n'importe quel objet mesurant jusqu'à 19x19x25 cm afin de pouvoir le reproduire avec une imprimante 3D. Pour cela, le scanner comprend un plateau tournant sur lequel on place l'objet que l'on souhaite numériser. L'opération ne prend que trois minutes au cours desquelles deux lasers balayent la surface de l'objet en rotation. Une caméra haute définition filme la réflexion de leur lumière sur celui-ci afin d'en déterminer le volume de l'enveloppe et de le modéliser sous la forme d'un nuage de points. Un logiciel convertit alors ce dernier en un fichier (extensions .STL, .OBJ ou .PNY) représentant la forme 3D de l'objet. **S.F.**

Prix: env. 550 €.

Rens.: www.matterform.net



SCIENCE & VIE



VOUS PRÉSENTE :

« LES GRANDES ARCHIVES »

À L'OCCASION DE SON CENTENAIRE,
SCIENCE & VIE OUVRE SES ARCHIVES À SES LECTEURS !

UNE RECHERCHE FACILE ET EFFICACE

Développé par la rédaction de *Science & Vie*, le moteur de recherche délivre l'information désirée en un seul clic.

DES « GRANDS DOSSIERS » POUR Y VOIR CLAIR

Sur chacun des grands sujets de la science, la rédaction a confectionné des **dossiers consultables à loisir**. Vous aurez accès à l'essentiel de ce qu'il faut savoir.

UNE TOTALE LIBERTÉ DE NAVIGATION

Consultation intégrale de tel ou tel numéro, aperçu de chacune des couvertures... **Tout est possible !** Vous pouvez également constituer vos dossiers personnels.



3€ / MOIS
seulement

**1 AN D'ACCÈS
ILLIMITÉ**

Offre spéciale abonnés
12€ / AN
seulement

AU LIEU DE **36€**
**TARIF
EXCEPTIONNEL**

25 années d'archives
+ de **300** numéros
+ de **15 000** articles
+ de nouveaux **services**
à portée de clic !

Abonnez-vous vite sur notre site www.science-et-vie.com
puis cliquez sur l'onglet **GRANDES ARCHIVES**



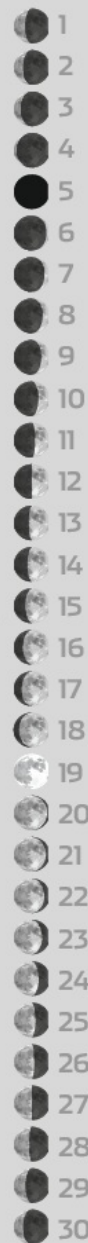
EN PRATIQUE

CIEL DU MOIS

Par Serge Brunier

NORD

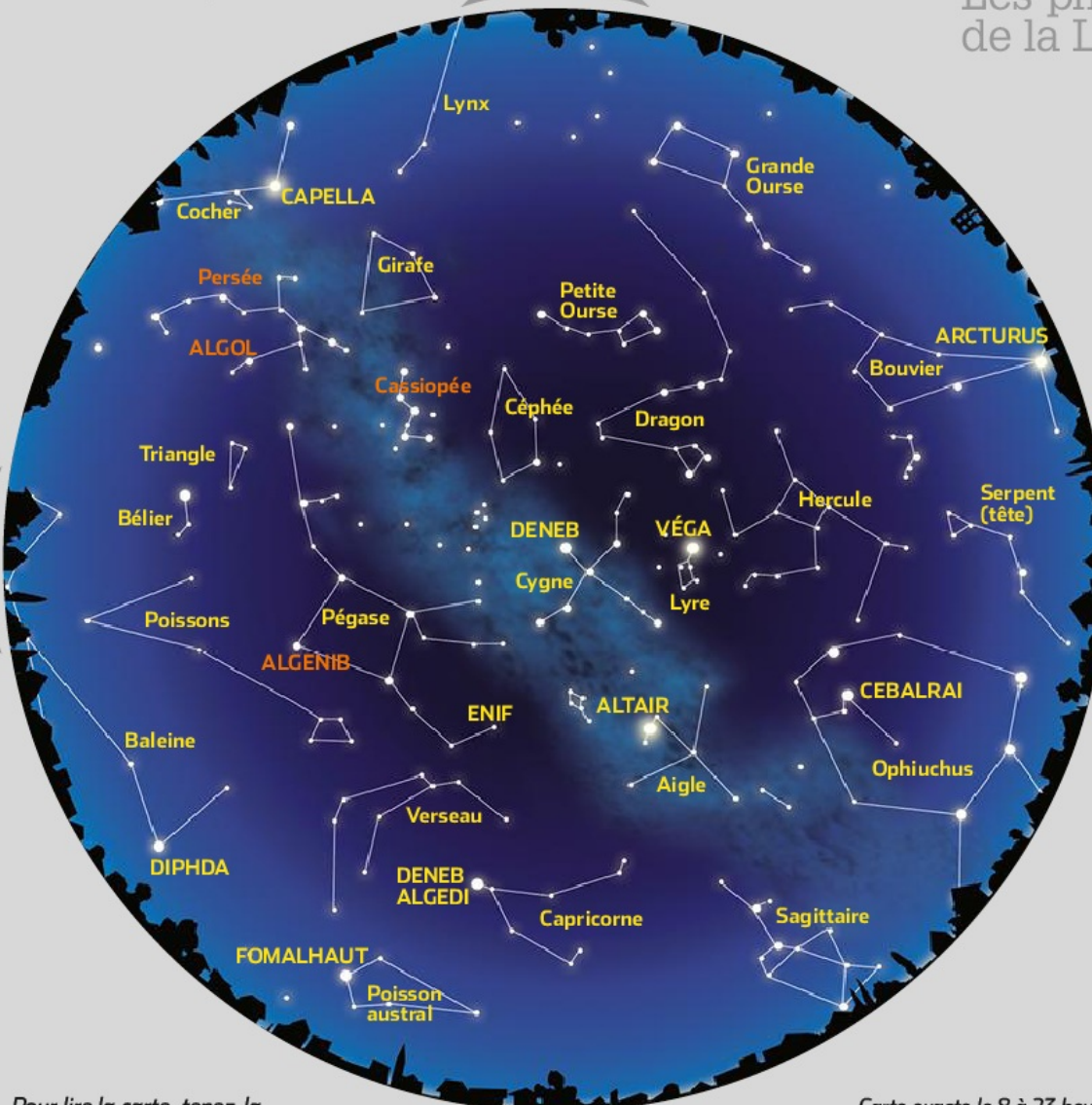
Les phases
de la Lune



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 8 à 23 heures



À NE PAS MANQUER... LE 1^{er}

Algol de Persée est une spectaculaire étoile variable, bien visible à l'œil nu toute la nuit en cette fin d'été. Constituée de deux étoiles qui s'éclipsent mutuellement, Algol baisse d'éclat chaque fois que la plus pâle des deux passe devant l'autre... Ainsi, tous les deux jours et 21 heures, Algol est trois fois moins lumineuse qu'en temps normal ! Le phénomène aura lieu ce mois-ci le 1^{er} à 23 h, mais aussi le 19 à 4 h et le 22 à 1 h. Comparez l'éclat d'Algol avec celui de sa voisine Algenib pour bien percevoir ses variations.

< L'éclat d'Algol de Persée est variable : ses deux étoiles s'éclipsent mutuellement.



▲ Son faible éclat est dû à sa grande distance : car c'est une des étoiles les plus lumineuses de la Voie lactée.

RHO CASSIOPÉE, LA MAGNIFIQUE

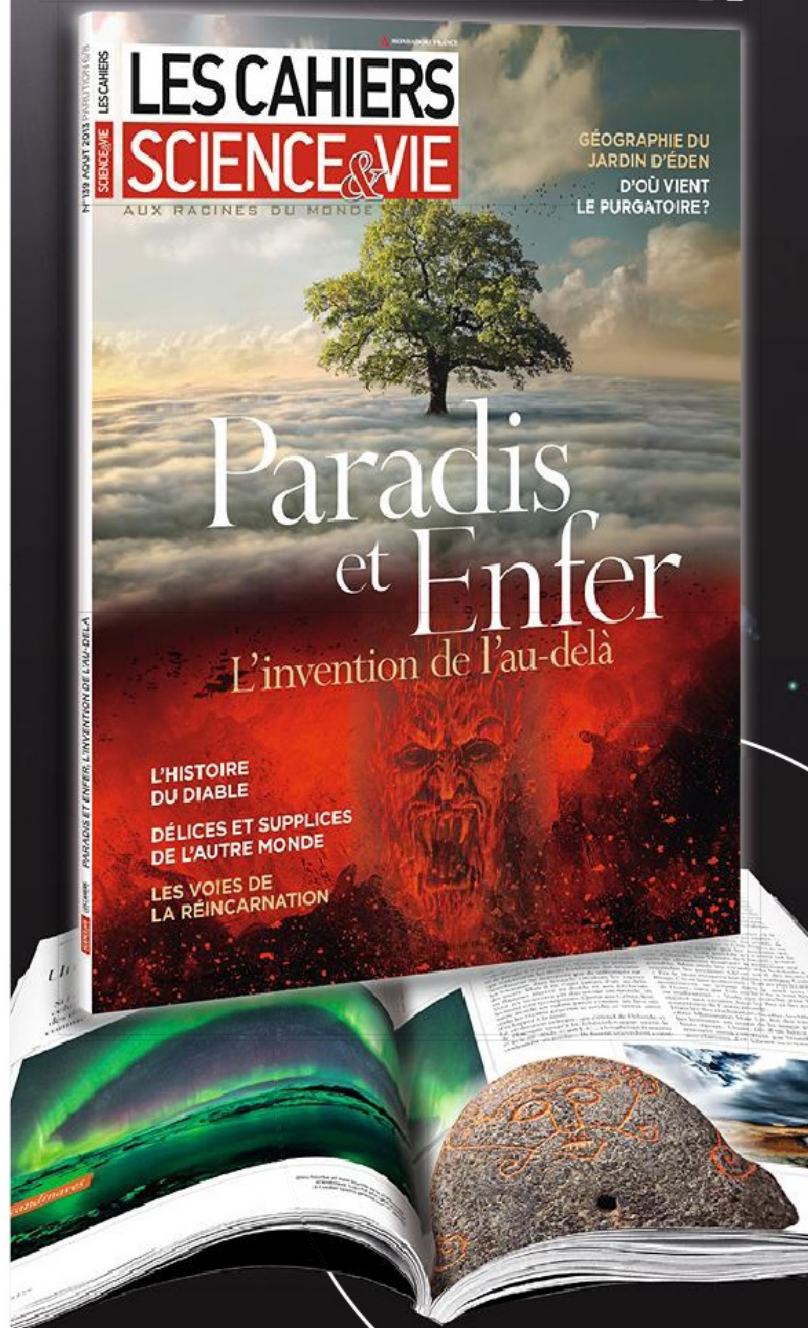
Elle est difficile à voir à l'œil nu en ville. Un peu plus brillante sous un beau ciel de campagne, elle est facile à repérer dans des jumelles toute la nuit. Mais dans tous les cas, Rho Cassiopee fait pâle figure lorsqu'on la compare à ces brillantes voisines qui dessinent le fameux W de Cassiopee. Pourtant, Rho Cassiopee est l'une des plus lumineuses étoiles de la Voie lactée... Cette étoile hypergéante, 40 fois plus massive et 400 fois plus grande que le Soleil est surtout un million de fois plus lumineuse que lui ! Son éclat apparent modeste est dû à sa grande distance : 8 000 années-lumière. Rarissime – il n'existe que quelques dizaines de ces astres dans toute la Galaxie ! –, c'est aussi l'une des étoiles les plus lointaines visibles à l'œil nu...



Retrouvez la
chronique
"Du côté des
étoiles" sur
France Info

tous les samedis et sur
www.france-info.com

L'INVENTION DE L'AU-DELÀ



Aux racines du monde

CONTRE-SOMMAIRE

Petit florilège des mots de ce numéro... par A.G.

A faire pâlir le Sphinx.....	p. 20	Le jour de Noël.....	p. 94
A l'aube.....	p. 26	Le temps efface les remords.....	p. 118
Antioxydants.....	p. 80	Les philosophes s'étrillent.....	p. 114
Arabette des dames.....	p. 26	Métal liquide.....	p. 18
Artillerie lourde.....	p. 109	Mis à l'amende.....	p. 81
Au parking.....	p. 142	Mode "Bulb".....	p. 141
Audacieux.....	p. 16	Mouche soldat.....	p. 88
Bébé mammoth.....	p. 103	Ni mâles ni sexe.....	p. 32
Béhémoth stellaire.....	p. 96	Ou pas.....	p. 112
Bijoux d'or et d'argent.....	p. 24	Outrages du temps.....	p. 83
Bouffées de photons.....	p. 94	Par pur sadisme.....	p. 116
Bouleverser leur vie.....	p. 110	Pas encore.....	p. 108
Ça bloque encore.....	p. 92	Pis-aller.....	p. 32
Caïman à lunettes.....	p. 28	Portrait-robot.....	p. 96
Charognard.....	p. 99	Pour se rafraîchir.....	p. 18
Comment est-ce possible?.....	p. 120	Précédents peu glorieux.....	p. 84
Coup de massue final.....	p. 46	Prodiges.....	p. 109
Couper court.....	p. 116	Projet Desirable.....	p. 90
Course en avant.....	p. 139	Protégés du pillage.....	p. 24
De tels monstres.....	p. 96	Que s'est-il passé?.....	p. 46
Délire de savant fou.....	p. 84	Râles d'agonie.....	p. 97
D'un œil presbyte.....	p. 108	Rapidement oublié.....	p. 108
Elixir de jouvence.....	p. 80	Réellement colossal.....	p. 96
En cas de coup dur.....	p. 26	Sans scrupule.....	p. 105
En eaux troubles.....	p. 28	Saunas et hammams.....	p. 85
En payer le prix.....	p. 46	Se boucher le nez.....	p. 83
Et pourtant!.....	p. 119	Se couper un bras!.....	p. 18
Etre à la diète.....	p. 81	Singes au régime.....	p. 81
Forme olympique.....	p. 80	Sur un lit de fleurs.....	p. 22
Fruits du hasard.....	p. 112	Tue tout autant.....	p. 124
Gâteau tout juste sorti du four.....	p. 83	Trop vite enterré.....	p. 119
Goûts et dégoût.....	p. 91	Un défi de taille.....	p. 90
Hautement improbables.....	p. 96	Un message descend du ciel.....	p. 94
L'éventail des possibles.....	p. 122	Un plus joli nom.....	p. 22
L'histoire commence.....	p. 94	Verrouillent la cible.....	p. 94
Langue souple et larynx de gourmet.....	p. 134	Vieille idée folle.....	p. 108

SCIENCE & VIE

Une publication du groupe

MONDADORI FRANCE

PRÉSIDENT : Ernesto Mauri

RÉDACTION

8, rue François-Orly
92543 Montrouge CEDEX.
Tél. : 01 46 48 48 48 - Fax : 01 46 48 48 67

E-mail : svmens@mondadori.fr

DIRECTEUR DE LA RÉDACTION

Matthieu Villiers,
assisté de Christelle Borelli

RÉDACTEUR EN CHEF

Hervé Poirier

RÉDACTEURS EN CHEF ADJOINTS

Philippe Chambon, Grégoire Boullier (édition),
François Lassagne

DIRECTRICE ARTISTIQUE

Yvonne Diraison

CHEFS DE SERVICE

Valérie Greffoz (actualités),
Caroline Tourbe (médecine)

CHEF DE RUBRIQUE

Muriel Valin (technologies)

RÉDACTEURS

Elsa Abdoun, Boris Bellanger, Mathilde Fontez,
Vincent Nouyrigat, Emilie Rauscher

SECRÉTAIRE GÉNÉRAL DE RÉDACTION

Jean-Luc Glock

SECRÉTAIRES DE RÉDACTION

Anne Riera, Clara Baudel

MAQUETTISTES

Valérie Samuel-Charrier (1^{re} 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,
B. Bourgeois, L. Brasier, R. Brillaud, S. Brunier,
O. Capronnier, L. Cavicchioli, M. Chaballier,
G. Girade, M. Delamarque, A.-L. Delaunay,
S. Devos, O. Donnars, S. Fay, J. Grenèche,
M. Grousson, E. Haentjens, J. Hocine, M. Kergoat,
M. Kontente, O. Lapirot, C. Lembezat, M. Martin,
E. Monnier, P. Puiseux, A. Rambaud, H. Rambert,
A. Rebmann, B. Rey, G. Siméon, M. Spée,
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

Sandra Boisel (responsable marketing),
Michèle Guillet (chargée de promotion),
Nathalie Carrère (abonnements)

PUBLICITÉ

Valérie Camy (directrice exécutive), Caroline Soret
(directrice de groupe commercial titres Automobile
et Science), Virginie Commun (directrice de

publicité adjointe), Lionel Dufour (directeur de
clientèle), Christine Chesse (assistante), Stéphanie
Guillard, Angélique Consoli, Sabrina Rossi-Djenidi
(planning), Stéphanie Durand (trafic), Jean-Jacques
Benezech, Grégory Cousse, Anne-Sophie Chauvière
(opérations spéciales)

Grande-Bretagne : Publieurope LTD (info@lodon@

publieurope.com - 44 (0)20 7927 9800

Allemagne : Publieurope Munich (info@unich@

publieurope.com - 0049 89 2908150);

Suisse : Publieurope Lausanne (info@lausanne@

publieurope.com - 0041 21323 3110);

Espagne : Publimedia Madrid (info@madrid@

publim-gestion.es - 0034 91 212 83 00)

FABRICATION

Gérard-Laurent Greck, Nadine Chatry

FINANCE MANAGER

Guillaume Zaneskis

DÉPARTEMENT INTERNATIONAL

Mathilde Janier-Bonnichon, Murielle Luche

EDITEUR MONDADORI MAGAZINES FRANCE

Siège social : 8, rue François-Orly

92543 Montrouge Cedex

DIRECTEUR DE LA PUBLICATION

Carmin Perna

ACTIONNAIRE PRINCIPAL

Mondadori France SAS

IMPRIMEUR : Mondadori Printing S.p.A.,

Via Luigi e Pietro Pozzoni, 11

24034 Cisano Bergamasco (Bergamo)

N° ISSN : 0036-8369

N° DE COMMISSION PARITAIRE :

1015 K 79977. Tarif d'abonnement légal :

1 an, 12 numéros : 42,80 € ;

1 an, 12 numéros + 4 HS : 52,80 €.

Dépôt légal septembre 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 abon-

nement, envoyez-nous l'étiquette collée sur votre

dernier envoi. Les noms, prénoms et adresses sont

communiqués à nos services internes et organismes

liés contractuellement avec S&V sauf opposition

motivée. Les informations pourront faire l'objet

d'un droit d'accès ou de rectification dans le cadre

légal. Les manuscrits envoyés ne sont pas rendus.

À NOS LECTEURS

RENSEIGNEMENTS

Par courrier : 8, rue François-Orly,

92543 Montrouge Cedex.

Par mail : svlecteurs@mondadori.fr

COMMANDE D'ANCIENS

NUMÉROS, RELIURES ET VPC

Tél. : 01 46 48 48 97

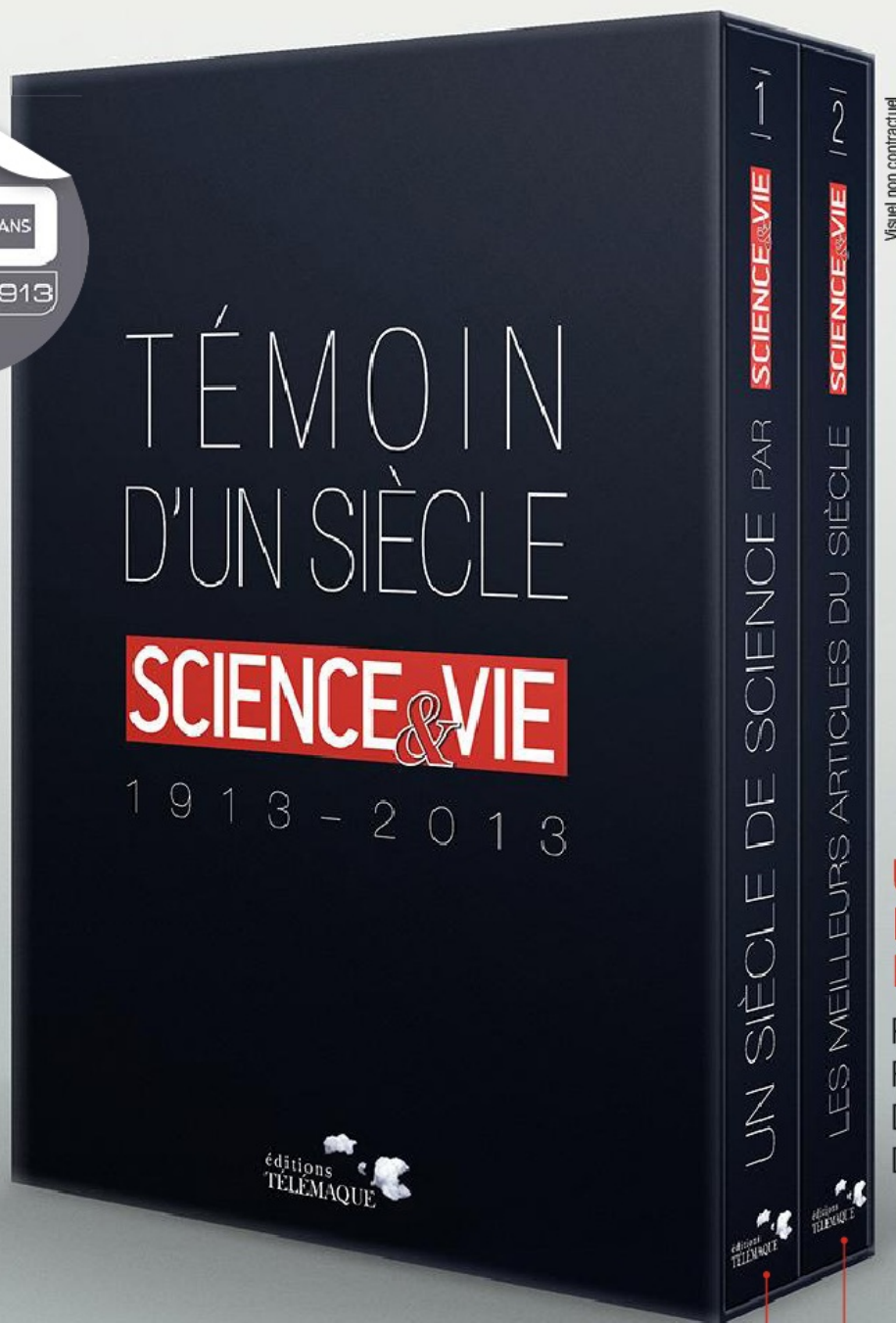
relations.clients@mondadori.fr



EN KIOSQUE CE MOIS-CI



[L'ÉVÉNEMENT CONTINUE!]



**UN COFFRET
DE DEUX LIVRES
EXCEPTIONNELS**

PRÈS DE 1000 PAGES
RETRAÇANT UN SIÈCLE
DE SCIENCE ET
DE DÉCOUVERTES

VOLUME 1 :

« UN SIÈCLE DE SCIENCE PAR SCIENCE & VIE »

VOLUME 2 :

« LES MEILLEURS ARTICLES DU SIÈCLE »

**Bientôt en librairie
et sur www.laBoutiqueScienceetVie.com**

Heineken



Heineken®
open your world*

PUBLICIS CONSEIL RCS Nanterre 414 842 082

*Ouvrir une Heineken, c'est consommer une bière vendue dans le monde entier.

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