

BALEINE HOMO AVATAR TORTURE GAME OF THRONES CODE VERT
TÉLÉCONNEXIONS CLIMATIQUES REPRODUCTION VÉNUS CHAUVET HUBBLE

SCIENCE & VIE

SCIENCE & VIE

AVRIL 2015 N° 1171 MONDADORI FRANCE

SUICIDE

IL S'AGIT D'UNE
VRAIE MALADIE

FUSION

TROIS MACHINES
DÉFIENT ITER !

Lancement
le 30 mars

SCIENCE & VIE TV

UNE SEMAINE
OFFERTE

voir p.10

CE QUE CACHENT LES ANOMALIES DE L'UNIVERS

SIGNAUX ÉTRANGES, ASTRES ALIGNÉS...

France métro: 4,30 € - 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 \$ - MAR: 48DH - TOM: S/ 750 CFP
TOM A: 1400 CFP CH: 8,5 FS - TUN: 7,5 DTU

M 02578 - 1171 - F: 4,30 € - RD



EXCLUSIF

2000 MÉDICAMENTS NE SERVENT À RIEN !

Less and the



Nouvelle Audi A1. L'effet A1.

Avec le système Start and Stop et des émissions de CO₂ à partir de seulement 89 g/km, son efficacité va vous surprendre. Venez l'essayer chez votre partenaire Audi, ou découvrez-la sur Audi.fr/A1

Volkswagen Group France S.A. – RC Soissons B 602 025 538. Audi recommande **Castrol EDGE Professional**.
Vorsprung durch Technik = L'avance par la technologie. Less and the city = Émettre moins en ville.

Gamme Nouvelle Audi A1 : consommation en cycle mixte (l/100km) : 3,4 – 7,3. Rejets de CO₂ (g/km) : 89 - 168.

Audi
Vorsprung durch Technik



city.



Voter, c'est décider de l'avenir de ma banque.



À la CASDEN, chaque Sociétaire est invité à s'exprimer lors des Assemblées Générales, selon le principe coopératif 1 personne = 1 voix !

Je vote en ligne

sur <https://jevote.casden.fr> ⁽¹⁾

(mes identifiants sont sur le matériel de vote adressé par la CASDEN Banque Populaire)

ou

Je vote par correspondance

Je retourne mon bulletin de vote dans l'enveloppe T ⁽²⁾

Une question, bulletin de vote égaré ? Je contacte le 0164 80 13 43

(Appel non surtaxé, coût selon votre opérateur, du lundi au vendredi de 8h30 à 18h30, heures métropole).

(1) Assemblée Générale Ordinaire (AGO) : clôture du vote le 12 mai 2015 ou à défaut de quorum le 26 mai 2015, à 15 heures, heure de Paris. Assemblée Générale Extraordinaire (AGE) : clôture du vote le 28 avril 2015, ou à défaut de quorum le 12 mai 2015 ou à défaut de quorum le 26 mai 2015, à 15 heures, heure de Paris.
(2) AGO : tout bulletin papier reçu après le 10 mai 2015 ou, à défaut de quorum, le 24 mai 2015 ne pourra être pris en compte. AGE : tout bulletin papier reçu après le 26 avril 2015 ou, à défaut de quorum, le 10 mai 2015 ou, à défaut de quorum, le 24 mai 2015 ne pourra être pris en compte.

casden

BANQUE POPULAIRE

CASDEN, la banque coopérative de l'éducation, de la recherche et de la culture



ILLUSTR. V. CHARRIER D'APRÈS M. DIAMOND, ROOM THE AGENCY, TOREHEGG, YY HOI/GETTY

Univers

Ce n'est pas en levant les yeux au ciel que nous aurions pu le voir. Mais les scientifiques armés des meilleurs outils d'observation le savent : le ciel regorge de curiosités que personne ne parvient à expliquer. Comment se fait-il que les galaxies naines soient ali-

gnées ? Comment expliquer que les nuages de gaz soient si brillants ? Pourquoi les galaxies se déplacent-elles si vite ? Mystère, mystère et encore mystère. Le ciel est donc le théâtre de phénomènes étranges. Si étranges qu'ils laissent les scientifiques sans voix. Quand

on sait qu'ils n'ont toujours pas la moindre idée de ce à quoi pourrait ressembler 95 % de la matière qui compose l'Univers (la fameuse "matière noire"), on se dit que la moindre des choses serait d'aller voir si elle ne se cache pas derrière ces anomalies.

Médicaments

Ainsi, plus de 2 000 médicaments ne servent à rien ! Non qu'ils soient tous totalement dépourvus de la moindre efficacité thérapeutique, mais le fait est que l'on pourrait s'en passer. Pire : les Français ne s'en porteraient pas plus mal, voire plutôt mieux... Car d'autres molécules offrent des bénéfices thérapeutiques supérieurs, ou nous ex-

posent moins à d'indésirables effets secondaires. Ces conclusions particulièrement brutales émanent d'un collectif de médecins (internistes et généralistes) ayant systématiquement passé au crible tous les médicaments prescrits pour les pathologies les plus courantes (hors maladies rares, donc). Il en résulte une liste de 150 médica-

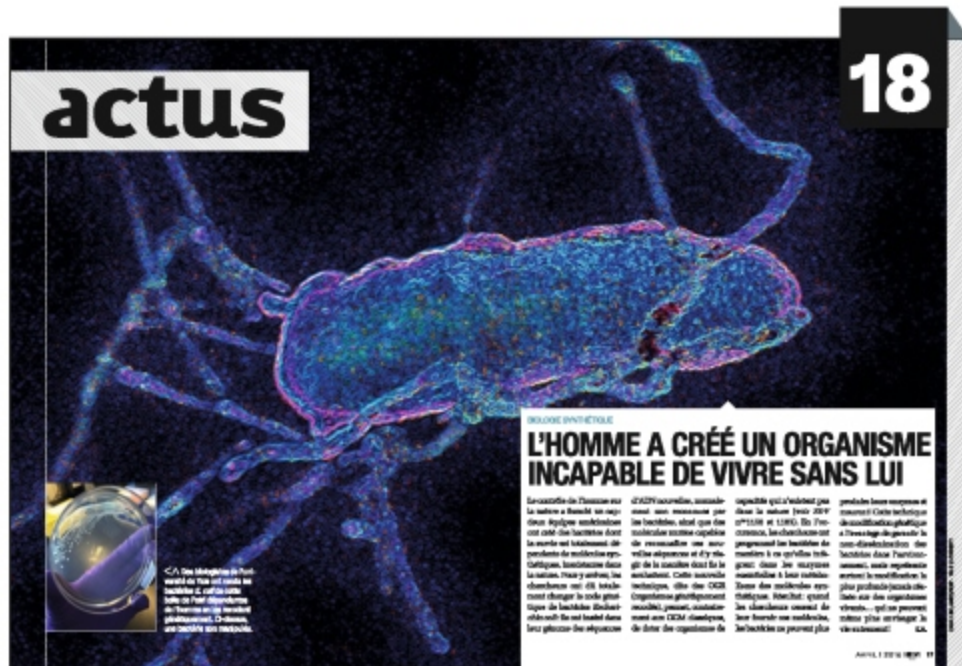
ments qu'ils jugent "essentiels", à prescrire préférentiellement. Nous avons pu nous procurer cette liste qui tombe à pic pour inspirer la Loi de santé qui doit être discutée au début de ce mois d'avril. Peut-être contribuera-t-elle à mettre enfin un peu d'ordre dans notre abondante pharmacopée qui regorge de médicaments inutiles, voire dangereux.

Suicide

Il tue à tous les âges, hommes et femmes, pauvres et riches. En silence, il tue davantage que la route. Il nous plonge dans une profonde hébétude, un vertige existentiel sans fond, jusqu'à la nausée. Que dire de

ceux qui ne supportaient plus la vie qui leur était donnée de vivre, au point de décider d'y mettre fin ? Les biologistes avancent une proposition : le suicide est une maladie, une affaire de gènes et d'hor-

mones. Même solidement étayés, leurs travaux ne viendront pas à bout de nos interrogations. Mais ils éclairent d'une lumière nouvelle ce fléau, et ouvrent, peut-être, la voie d'une médecine préventive.



actus

18

L'HOMME A CRÉÉ UN ORGANISME INCAPABLE DE VIVRE SANS LUI

Les scientifiques de l'Université de la Californie à Berkeley ont créé un organisme incapable de vivre sans lui. Il s'agit d'un organisme génétiquement modifié, capable de survivre uniquement en présence de son créateur. Ce projet a été réalisé dans le cadre d'une étude sur la biologie synthétique.



Science & société

40

Exclusif

Révélation sur la 1^{re} liste des meilleurs médicaments

Des milliers de médicaments ne servent à rien

Le rappel des faits

Un rapport de l'Organisation mondiale de la Santé (OMS) révèle que des milliers de médicaments ne servent à rien. Ces médicaments sont souvent prescrits sans justification médicale, ce qui entraîne des dépenses inutiles et des effets secondaires potentiels.



SIGNAUX ÉTRANGES, ASTRES ALIGNÉS...

ANOMALIES DANS L'UNIVERS

Elles sont au nombre de neuf. Neuf anomalies qui ne collent pas avec le modèle standard, la théorie qui décrit l'Univers. Neuf anomalies qui concernent aussi bien les étoiles que les planètes, l'émission de rayons X que les galaxies. Neuf anomalies indubitables car observées de visu. Neuf anomalies qui, paradoxalement, sont une fantastique aubaine ! Car loin d'embarrasser les cosmologistes, ces neuf anomalies pourraient les sauver... en leur révélant les failles du modèle standard. Or, celui-ci est miné de l'intérieur par deux énigmes : l'énergie noire et la matière noire. Ce dont la moindre anomalie pourrait justement rendre compte. La preuve par neuf ?

PAR BENOÎT REY
AVEC MATHILDE FONTEZ

54 | SV | AVRIL 2015

AVRIL 2015 | SV | 55



94

FUSION 3 machines défient Iter !

Pour maîtriser la fusion nucléaire, trois machines défient Iter ! Ces machines sont conçues pour reproduire les conditions de la fusion nucléaire, ce qui est une étape cruciale pour la production d'énergie propre.



86

Suicide

Il cache une vraie maladie

Adressé à des personnes souffrant de troubles mentaux, ce magazine explore les causes et les conséquences du suicide, ainsi que les moyens de prévention et de traitement.

SCIENCE_VIE 8, rue François-Ory 92543 Montrouge Cedex
Tél. : 01 46 48 48 48 - Fax : 01 46 48 48 67
E-mail : svmens@mondadori.fr. Recevez Science & Vie chez vous.
Votre bulletin d'abonnement se trouve p. 127.
Vous pouvez aussi vous abonner par téléphone au 01 46 48 48 96, ou par Internet sur www.kiosquemag.com.
Deux encarts abonnement sont jetés sur les exemplaires de la vente au numéro France Métropolitaine. Un encart abonnement est jeté sur les exemplaires de la vente au numéro Suisse/Belgique.

Un encart Boutique Science & Vie est jeté sur les exemplaires de toute la diffusion abonnés France Métropolitaine. Un encart Intérêts Privés est jeté sur les exemplaires d'une partie de la diffusion abonnés France Métropolitaine.

10 **Événement**13 **Forum**

Actus

18 **Labos**

L'homme a créé un organisme incapable de vivre sans lui; la diversité humaine pourrait s'enrichir de deux nouvelles espèces...

26 **Environnement**

La banquise ne cesse de s'étaler en Antarctique; les termites freinent la désertification...

30 **Médecine**

Les maladies cardio-vasculaires ne connaissent plus de frontières; des polluants accéléreraient la ménopause...

38 **Technos**

Un nouveau matériau sur lequel l'eau n'a aucune prise; l'exploration martienne se dote d'un drone éclaireur...

Science & société

40 **Révélation sur la 1^{re} liste des meilleurs médicaments**

Des milliers de médicaments ne servent à rien

48 **Sortie de nouveaux jeux multijoueurs**

Se créer un avatar modifie la personnalité des joueurs

50 **Rapport sur les méthodes d'interrogatoires de la CIA**

La torture pousse à avouer n'importe quoi

51 **Un climatosceptique payé par un lobby**

Non, le réchauffement n'est pas dû au Soleil

A la Une

54 **ANOMALIES DANS L'UNIVERS**
Signaux étranges, astres alignés...

56 Les 9 anomalies qui pourraient élucider l'Univers

68 A la recherche du meilleur des mondes

Science & découvertes

74 Biologie cellulaire

Cellules eucaryotes: l'hypothèse que personne n'attendait

78 Climatologie

Les effets surprenants de l'homme sur le climat: quel chaos!

86 Neurobiologie

Suicide: il cache une vraie maladie

Science & techniques

94 Fusion nucléaire

3 machines défient Iter

102 Chasse au gaspi

Les lignes de code passent au code vert

108 Bébé à 3 ADN

Plongée dans l'inconnu

Science & futur

112 Un dirigeable pourrait être envoyé sur Vénus; les premiers plans de Paris transformé en poumon vert; recycler le dégazage des bateaux est possible; un projet de pistes cyclables souterraines à Londres; une serre flottante autosuffisante est testée en Italie; en ville, des mini-éoliennes pourraient s'emboîter comme des Lego...

Culture science

120 **Bon à savoir**122 **Questions/Réponses**128 **A voir / à lire**132 **Technofolies**136 **Il y a... 25 ans: le lancement de Hubble, premier télescope spatial**

DS préfère TOTAL

OFFREZ-VOUS
UN HARAS DE 180 CHEVAUX

DS 4 *Nouvelle motorisation* BlueHDi 180

AVEC NOUVELLE BOÎTE DE VITESSES AUTOMATIQUE EAT6



CONSOMMATIONS MIXTES ET ÉMISSIONS DE CO₂ DE DS 4 : de 3,7 à 6,4 l/100 km et de 97 à 149 g/km.
Automobiles Citroën : RCS Paris 642 050 199.



DS AUTOMOBILES

SPIRIT OF
AVANT-GARDE



www.driveDS.fr

Evénement

Le 30 mars, Science&Vie TV!

Cela faisait un bon moment que nous souhaitions nous tourner vers l'image animée. Des images en mouvement pour décrypter un monde en mouvement, quoi de plus naturel? Aussi, quand les équipes du Groupe AB sont venues nous inviter à monter avec elles une chaîne de science, nous n'avons pas hésité longtemps. Le mariage vient d'être prononcé et le bébé va naître sous vos yeux d'ici quelques jours, le 30 mars précisément.

Que sera Science&Vie TV? Une chaîne documentaire dont la grille sera établie en relation avec nos contenus et nos coups de cœur, à partir de nos centres d'intérêt et de nos préoccupations. Une chaîne qui reprendra notre façon de voir la vie à travers les lunettes de la science.

Vous y verrez aussi des têtes connues: celle de Jérôme Bonaldi, qui animera

vos rendez-vous du samedi, Le Mag de la science, ou des têtes que vous apprendrez à connaître après en avoir lu les signatures dans votre mensuel, celles des journalistes de *Science & Vie* qui viendront

Science&Vie TV en vous connectant à la boutique en ligne de *Science & Vie*.

Cette télévision, elle ne sera pas parfaite du premier coup. Nous recueillerons vos réactions et avis, nous essaierons, comme nous le



Accéder à Science&Vie TV

Flashez ce code avec votre mobile pour accéder à Science&Vie TV gratuitement pendant une semaine (à compter du jour de votre inscription)

Si vous n'avez pas d'application capable de scanner un QRcode, vous pourrez en télécharger une à l'adresse suivante: <https://scan.me/download>

Si vous ne disposez pas de smartphone tapez: <http://www.science-et-vie.tv/lancement> (opération valable du lundi 30 mars au jeudi 23 avril 2015)

tour à tour présenter informations scientifiques et sujets d'enquête.

Cette chaîne sera disponible sur le câble et l'ADSL. Vous pourrez également retrouver Science&Vie TV en replay via le site de Video On Demand qui ouvrira dans les prochains jours, ou encore vous procurer les Docs de

faisons dans nos pages, de vous écouter et de vous y accueillir dans les meilleures conditions, car cette chaîne, nous espérons que ce sera aussi un peu la vôtre.

Bienvenue à Science&Vie TV, et rendez-vous pour l'ouverture le 30 mars.

Vincent COUSIN,
directeur délégué



LES GRANDS RENDEZ-VOUS THÉMATIQUES



Lundi

SCIENCE & TECHNOS

Elles nous assistent en permanence et contribuent à façonner le monde... les technologies sont partout. *Exemples de programmes: vivre avec les robots; les transports du futur...*



Mardi

CORPS & SANTÉ

Science & Vie TV décrypte les derniers progrès de la médecine et enquête sur les mystères du corps humain. *Exemples de programmes: voir le cerveau penser; les secrets de la longévité...*



Mercredi

NATURE & ENVIRONNEMENT

Plantes et animaux, ressources naturelles, pollution... Science & Vie TV explore les secrets de la Terre. *Exemples de programmes: coup de chaud sur l'océan; la superpuissance de la nature...*



Jeudi

SCIENCE & SOCIÉTÉ

Pour mieux comprendre l'actualité du monde, Science & Vie TV chausse ses lunettes de science. *Exemples de programmes: dans la tête d'un trader; l'avenir de l'énergie nucléaire...*

SCIENCE&VIE TV



De l'écrit à l'écran... en avril

L'un tient la plume, l'autre la caméra. Le premier ne se contente pas d'écrire ce que filme l'autre. Pas plus que le second ne se contente



de mettre en images ce qu'écrit le premier. L'un et l'autre racontent

une histoire singulière autour d'un même thème. Ce mois-ci : l'Univers, ce que nous en savons et ce qu'il nous reste à en découvrir. Notre dossier du mois traite en profondeur des anomalies visibles dans le ciel et explique comment elles pourraient aider les



scientifiques à franchir une nouvelle étape dans la compréhension du monde. Le documentaire du mois (*L'Univers au-delà du visible*), quant à lui, retrace les grandes étapes de la connaissance de notre Univers, des origines à aujourd'hui. Complémentaires, nous espérons qu'ils passionneront tout autant notre lecteur que notre téléspectateur.



Vendredi

SCIENCE & ESPACE

Des origines de l'Univers à la recherche de la vie extraterrestre, pour voir le monde en grand. Exemples de programmes : *l'Univers au-delà du visible*; 2019 : destination Lune...



Samedi

LE MAG DE LA SCIENCE

Chaque samedi, à 18 h, Jérôme Bonaldi et un journaliste de *Science & Vie* vous reçoivent dans leur laboratoire pour vous présenter et commenter les dernières nouvelles de la science. Une fois par mois, Le Mag de la science est suivi d'un documentaire exclusif.



Dimanche

MÉGASTRUCTURES

Bienvenue dans le monde des ingénieurs et de leurs extraordinaires réalisations. Exemples de programmes : *A380, le géant d'acier*; *l'architecture de Ground Zero*; *les Ingénieurs de l'extrême*...



PEUGEOT 2008 ET 3008 SÉRIE SPÉCIALE CROSSWAY

DE NOUVELLES SENSATIONS À DÉCOUVRIR



DÉCORS ET GARNISSAGE
BI-MATIÈRE CROSSWAY

MOTRICITÉ RENFORCÉE
GRÂCE AU GRIP CONTROL*

NAVIGATION,
BLUETOOTH ET PORT USB

NOUVEAUX MOTEURS
PureTech & BlueHdi



BV Cert. 6033203

Venez découvrir la série spéciale Crossway et profitez d'une reprise Argus® + 2700€⁽¹⁾ sur 2008 Crossway et d'une reprise Argus® + 5000€⁽²⁾ sur 3008 Crossway.

PEUGEOT RECOMMANDE TOTAL

Consommations mixte (en l/100 km): 2008 Crossway de 3,7 à 4,7; 3008 Crossway de 4,1 à 5,3. Émissions de CO₂ (en g/km): 2008 Crossway de 96 à 108; 3008 Crossway de 108 à 123.

(1) Soit 2 700 € ou (2) soit 5 000 € ajoutés à la valeur de reprise de votre ancien véhicule de moins de 8 ans, d'une puissance réelle inférieure ou égale à celle du véhicule neuf acheté. La valeur de reprise est calculée en fonction du cours de l'Argus® du jour de la reprise, applicable à la version du véhicule repris, ou le cas échéant à la moyenne du cours des versions les plus proches de celui-ci, ledit cours ou ladite moyenne étant ajusté en fonction du kilométrage, des éventuels frais de remise en état standard et déduction faite d'un abattement de 15 % pour frais et charges professionnels. Offre non cumulable, réservée aux particuliers, valable pour tout achat d'un 2008 Crossway neuf ou d'un 3008 Crossway neuf commandé avant le 30/04/2015 et livré avant le 30/06/2015, dans le réseau Peugeot participant.

*De série, en option ou indisponible selon version.

PEUGEOT CROSSOVER

MOTION & EMOTION



PEUGEOT

Capter la voix des rêves ?

J'ai lu votre article sur notre voix intérieure (S&V n° 1170), je trouve ce projet vraiment fascinant ! Et il m'est venu la question suivante : au-delà de notre voix intérieure, serait-il aussi possible d'écouter un rêve ?

Jérémy Millot, Coursan (11)

SV Difficile à imaginer pour l'instant. Les chercheurs qui ont décodé la voix intérieure ont d'abord enregistré l'activité électrique du cerveau quand

on lit à haute voix. Puis ils ont comparé ces signaux avec ceux obtenus quand le texte est lu en silence. Or, un tel parallèle, qui sert de référence pour repérer les mots prononcés silencieusement, ne peut être établi pour des rêves... qui mêlent en plus paroles, images, émotions issues de multiples régions cérébrales. Pas de référence, des signaux complexes : nos rêves ne sont pas près de se laisser saisir par les capteurs des neuroscientifiques !

Grâce à la découverte annoncée dans votre numéro de mars, page 22, je sais désormais que les poulets pondent des œufs.

“ Merci pour le fou rire. J'espère que ce n'était qu'une coquille ! ”

Caroline Cric,
Pont-Saint-Esprit (30)

La boutique SCIENCE & VIE

Plus de

400

- ▶ Livres
- ▶ Objets scientifiques
- ▶ Idées cadeaux

www.laboutiquescienceetvie.com



La vie sans cesse réinventée par les gouttes ?

J'ai adoré votre article sur l'énergie des gouttes (n° 1169, p. 44), vraiment intéressant ! En admettant que cette hypothèse soit juste, plusieurs questions m'ont sauté aux yeux : puisque la réaction des gouttelettes est au fond "banale", cela signifie-t-il que la vie se crée en permanence sur Terre ? Cela n'obligerait-il pas à revoir complètement la conception de l'exobiologie ? Si ces réactions dans les gouttes se produisent tout le temps, n'avons-nous pas, théoriquement, déjà croisé le chemin de ces proto-formes de vie ? Ont-elles déjà été recherchées, trouvées, identifiées comme telles ? Ou peuvent-elles être

confondues avec des débris de vie organique, des déchets de matériaux... ?

Jacob Debord, Paris

SV Dans leur recherche des chaînons chimiques manquants entre molécules simples (H_2O , CO_2 ...) et complexes (protéines, ADN...) du vivant, les biologistes ont peu d'espoir de retrouver des témoins directs. Selon eux, le chemin emprunté par la vie au départ n'est plus utilisé aujourd'hui, parce que les molécules complexes pululent sur Terre, fabriquées très efficacement par... les organismes vivants. La vie s'auto-entretient en quelque sorte. Et a effacé les traces de sa naissance.

Le ciel du mois est ailleurs

La rubrique "Le ciel du mois" a-t-elle disparu ? C'est comme s'il manquait le pouce de votre pied !

Jean-Philippe Dabas,
Saint-Aygulf (83)

SV Il a quitté ces pages, mais s'invite chaque mois sur science-et-vie.com, où l'on retrouve la carte du ciel et les événements marquants à observer.

NOUVEAU

Coca-Cola
life[®]



GOÛT SUCRÉ
D'ORIGINE NATURELLE
RÉDUIT EN CALORIES*

* 30 % de calories en moins que la moyenne des colas sucrés,
grâce à une réduction de sucres de 30 % résultant de l'utilisation d'extrait de stévia - coca-cola-life.fr

©2015 The Coca-Cola Company. Coca-Cola life et la Bouteille Contour sont des marques déposées de The Coca-Cola Company. Coca-Cola Services France - S.A.S. au capital de 50 000 euros - 404 421 083 RCS Nanterre.

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



On en reparle



MISSION VOYAGER 1: PREMIÈRES NOUVELLES DE L'OUTRE-MONDE

Voilà maintenant deux ans qu'il vogue dans l'obscurité du milieu interstellaire. Nous vous racontions, en 2012, l'incroyable épopée de *Voyager 1*, cette sonde spatiale qui, au bout de trente-cinq années de périple, après avoir survolé les géantes Jupiter et Saturne, avait fini par quitter le système solaire, devenant la première machine humaine à sortir de notre monde (S&V n° 1135, p. 62).

Nous continuons de suivre ses pérégrinations de près. Voici donc les dernières nouvelles : les membres de la mission viennent d'annoncer que le petit robot a été secoué par un tsunami ! Il y a un an, ses instruments ont mesuré une secousse magnétique, comme s'il avait été percuté par une onde de choc. Les spécialistes ne sont pas encore en mesure de fournir une explication, seulement des hypothèses. Ainsi, cela pourrait signifier que le milieu interstellaire est plus dense et plus complexe qu'ils ne le pensent. Ou que les bouffées de plasma ionisé envoyées par le Soleil sont assez puissantes pour se faire sentir jusque dans le milieu interstellaire, à 19 milliards de kilomètres de leur source. L'astronome Merav Opher, de l'université de Boston, a déjà commencé à intégrer ces mesures dans les modèles qui décrivent la bulle de gaz entourant le Soleil : il semblerait en effet qu'elle ait une forme plus complexe que prévu...

M.F.

Pénurie de radio-isotopes : il existe une alternative

J'ai lu avec intérêt votre article intitulé "Pénurie de radio-isotopes : la grande cacophonie" (S&V n° 1169) sur la pénurie annoncée de technétium. Vous y citez l'avis de l'Académie nationale de médecine selon laquelle le technétium n'a aucun substitut dans six indications majeures, dont la détection du ganglion sentinelle avant le traitement chirurgical du cancer du sein (55 000 examens par an).

En fait, depuis 2012, une technologie alternative dans la détection du ganglion sentinelle a été approuvée en Europe. La procédure est la même, mais le chirurgien utilise un traceur magnétique et une sonde de détection

magnétique au lieu du traceur isotopique et d'une sonde Geiger de détection de rayonnement gamma. Bien que relativement récente, cette technique magnétique a été évaluée à travers des essais cliniques en Europe et elle commence aujourd'hui à se déployer.

J'ai été impliqué dans son développement et j'y ai par conséquent un intérêt particulier. Mais je souhaite souligner que les données publiées montrent que ce traceur est aussi efficace que le technétium pour la détection du ganglion sentinelle dans le cancer du sein.

Quentin Harmer,
CTO, Endomag, Cambridge
(Grande-Bretagne)

Un labeur mal reconnu

Un article du numéro daté de mars (p. 17) indique que l'homme aurait perdu 20 % de densité osseuse à cause de la "perte d'activité physique" liée à la transition vers un mode de vie d'agriculteurs. Depuis la motorisation, peut-être. Mais ces scientifiques ne savent pas ce que c'est que de travailler à la main ou avec des animaux dans les champs. Comme si ça nécessitait moins d'activité physique que la chasse et la cueillette!

Francis Huez, Vieux-Mesnil (59)

C'est plutôt le terrorisme qui se sert d'Internet !

N'était-il pas plus judicieux de titrer votre article sur Internet et le terrorisme "comment le terrorisme emploie Internet" ? Factuellement, nombre d'éléments sont valides dans cet article. Mais si l'on dit qu'Internet favorise le terrorisme, on peut alors, selon la même logique, blâmer tant qu'on y est les progrès de la chimie en évoquant les champs de bataille sur lesquels on emploie des explosifs, et en tirer un article titré "comment la chimie

favorise la mort". Ou alors, autant dire que c'est le monde contemporain qui favorise le terrorisme...

Vania Wodey, Lille (59)

S&V Vous n'êtes pas le seul à désapprouver ce titre. Comme toute technologie, Internet peut servir les meilleures intentions. Plusieurs lecteurs jugent qu'avec ce titre nous aurions pris, gratuitement, le parti d'en polariser la perception en montrant sa face sombre. Au vrai, nous



aurions pu publier une enquête expliquant comment Internet favorise les lanceurs d'alerte. Dans les deux cas, il est possible de spécifier quelles caractéristiques des technologies d'Internet – effets de rapprochements communautaires, anonymat

des messages et des transactions – favorisent les efforts de groupes particuliers d'individus. Nous avons choisi de montrer comment Internet favorise le terrorisme, car les actes terroristes récents nous semblaient mériter qu'on s'y attarde.

SCIENCE & VIE

Une publication du groupe

MONDADORI FRANCE

PRÉSIDENT : Ernesto Mauri

RÉDACTION

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

DIRECTEUR DE LA RÉDACTION

Matthieu Villiers,
assisté de Christelle Borelli

RÉDACTEUR EN CHEF

Hervé Poirier

RÉDACTEURS EN CHEF ADJOINTS

Grégoire Bouillier (édition),
François Lassagne

DIRECTRICE ARTISTIQUE

Yvonne Diraison

CHEFS DE SERVICE

Valérie Greffoz (actualités, société),
Caroline Tourbe (médecine)

CHEF DE RUBRIQUE

Muriel Valin (technologies)

RÉDACTEURS

Elsa Abdoun, Mathilde Fontez,
Vincent Nouyrigat, Emilie Rauscher

SECRÉTAIRE GÉNÉRALE DE RÉDACTION

Florence Roucolle

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),

Isabelle Henneron ; Boris Bellanger
(infographie)

DOCUMENTATION

Marie-Anne Guffroy

ONT COLLABORÉ À CE NUMÉRO

S. Aquino, L. Barnéoud, K. Bettayeb,
L. Blancard, L. Bouyssou, F. Cadu,
L. Cavicchioli, G. Cirade, A. Dagan,
A. Debroise, S. Fay, F. Gracci, M. Grousseau,
E. Haentjens, C. Hancock, D. Humbert,
R. Ikonikoff, M. Kontente, O. Lapirot,
E. Leroy-Terquem, Ch. Martin, E. Monnier,
A. Pihen, H. Rambert, B. Rey, M. Saemann,
Y. Sciama, 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 Boixel (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),
Stéphane Durand (trafic), Jean-
Jacques Benezzech, Grégory Gounse,
Anne-Sophie Chauvière (opérations
spéciales)

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

FABRICATION

Gérard-Laurent Greck,
Marie-Hélène Michon

FINANCE MANAGER

Guillaume Zaneskis

DÉPARTEMENT INTERNATIONAL

Mathilde Janier-Bonnichon,
Murielle Luche

ÉDITEUR MONDADORI MAGAZINES

FRANCE

Siège social : 8, rue François-Ory
92543 Montrouge Cedex

DIRECTEUR DE LA PUBLICATION

Carminé Perna

ACTIONNAIRE PRINCIPAL

Mondadori France SAS

IMPRIMEUR : ELCOGRAF – ITALIE

N° ISSN : 0036-8 369

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 avril 2015

RELATIONS CLIENTÈLE

ABONNÉS

Par téléphone : 01 46 48 48 96

Par courrier :

SERVICE ABONNEMENTS SCIENCE & VIE,
CS 50273 - 27092 EVREUX CEDEX 9
Par internet (taper directement dans votre

navigateur) : abo.scienceetvie.fr

Pour vous abonner par internet :
www.kiosquemag.com

Etats-Unis et Canada : Express Mag,
Tél. : 1 800 363-1310 (français)
et 1 877 363-1310 (anglais).
Suisse : Edigroup, 022 860 84 50
mondadori-suisse@edigroup.ch.
Belgique : Edigroup Belgique, 070 233 304
mondadori-belgique@edigroup.be
Autres pays : nous consulter.

À NOS ABONNÉS

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

À NOS LECTEURS

RENSEIGNEMENTS

Par courrier : 8, rue
François-Ory,
92543 Montrouge Cedex.
Par mail : sev.lecteurs@
mondadori.fr

COMMANDE D'ANCIENS NUMÉROS, RELIURES ET VPC

Tel : 01 46 48 48 83

Contact@aboutiquescienceetvie.com





Innovation
that excites

nismo

N'EST PAS NISMO QUI VEUT.



NOUVEAU NISSAN JUKE NISMO RS. LE DERNIER JUKE BOOSTÉ EN CARACTÈRE.

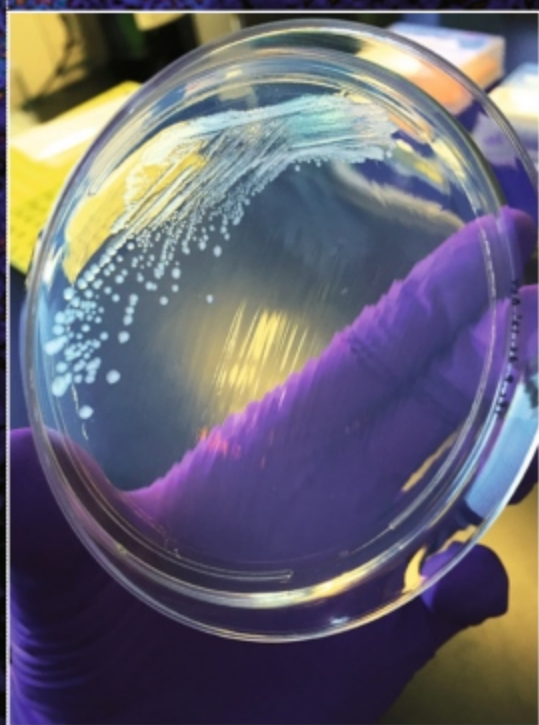
Il faut bien plus qu'une couche de peinture et des lignes sportives pour devenir NISMO. Bien connu des passionnés de compétition automobile, NISMO, le légendaire département sportif de Nissan, accueille dans ses rangs le nouveau Nissan JUKE Nismo RS. Doté d'un moteur de 218ch, ce crossover joueur affiche un design et un caractère encore plus impertinent que la version originale. Il a décidément toute sa place dans l'équipe NISMO.



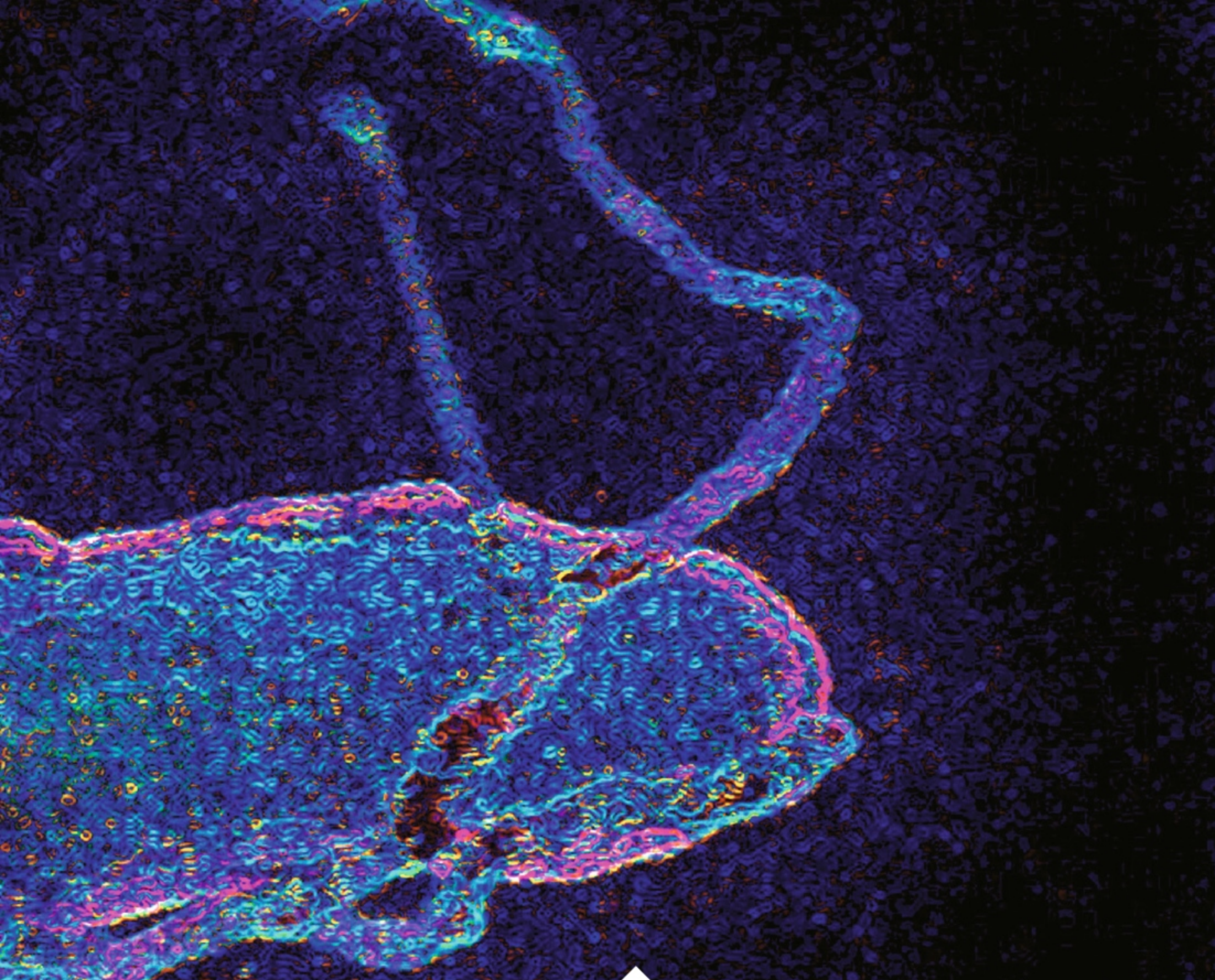
Innover autrement. **Modèle présenté** : version spécifique. NISSAN WEST EUROPE SAS au capital de 5 610 475 € - RCS Versailles B 699 809 174
Parc d'Affaires du Val Saint-Quentin - 2, rue René Caudron - CS 10213 - 78961 Voisins-le-Bretonneux Cedex.

Consommations gamme cycle mixte (l/100 km) : 7,2 - 7,4. Émissions de CO₂ (g/km) : 165 - 169.

actus



<^ Des biologistes de l'université de Yale ont rendu les bactéries *E. coli* de cette boîte de Petri dépendantes de l'homme en les recodant génétiquement. Ci-dessus, une bactérie non manipulée.



BIOLOGIE SYNTHÉTIQUE

L'HOMME A CRÉÉ UN ORGANISME INCAPABLE DE VIVRE SANS LUI

Le contrôle de l'homme sur la nature a franchi un cap : deux équipes américaines ont créé des bactéries dont la survie est totalement dépendante de molécules synthétiques, inexistantes dans la nature. Pour y arriver, les chercheurs ont dû totalement changer le code génétique de bactéries *Escherichia coli* : ils ont inséré dans leur génome des séquences

d'ADN nouvelles, normalement non reconnues par les bactéries, ainsi que des molécules mutées capables de reconnaître ces nouvelles séquences et d'y réagir de la manière dont ils le souhaitent. Cette nouvelle technique, dite des OGR (organismes génétiquement recodés), permet, contrairement aux OGM classiques, de doter des organismes de

capacités qui n'existent pas dans la nature (voir *S&V* n°s 1156 et 1163). En l'occurrence, les chercheurs ont programmé les bactéries de manière à ce qu'elles intègrent dans les enzymes essentielles à leur métabolisme des molécules synthétiques. Résultat : quand les chercheurs cessent de leur fournir ces molécules, les bactéries ne peuvent plus

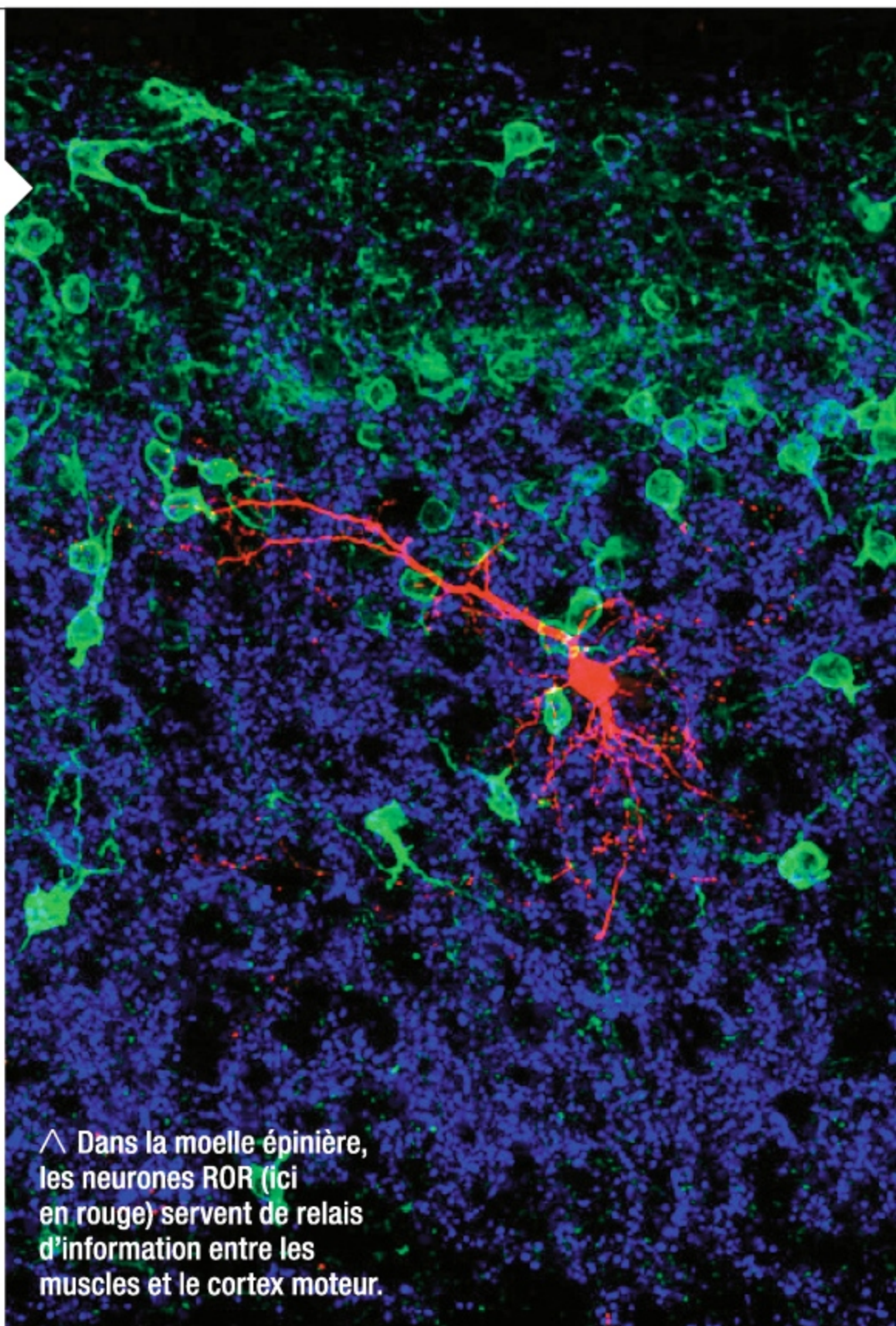
produire leurs enzymes et meurent ! Cette technique de modification génétique a l'avantage de garantir la non-dissémination des bactéries dans l'environnement, mais représente surtout la modification la plus profonde jamais réalisée sur des organismes vivants... qui ne peuvent même plus envisager la vie autrement ! **E.A.**

NEUROLOGIE

LA MOELLE ÉPINIÈRE AUSSI NOUS AIDE À GARDER L'ÉQUILIBRE

Qu'est-ce qui nous fait garder notre équilibre sur un sol glissant? L'oreille interne, certes, ainsi que les informations fournies par notre vision et les capteurs sensoriels situés sous nos pieds. Mais aussi, et c'est nouveau, notre moelle épinière! Steeve Bourane et son équipe, à l'Institut Salk pour les études biologiques (Californie), viennent d'identifier un groupe de neurones (appelés "ROR", du nom du récepteur présent à leur surface) de la moelle épinière dorsale connectés à la fois aux extrémités des membres inférieurs, au système vestibulaire (dans l'oreille interne) et au cortex moteur. En les inactivant chez

des souris, ils ont montré que les rongeurs privés de ces connexions nerveuses avaient beaucoup plus de difficultés que leurs congénères à évoluer sur un sol accidenté. Pour les biologistes, ceci indique que ces neurones constituent une interface essentielle entre nos pieds et notre cerveau. En pratique, ils ne se limitent pas à relayer l'information nerveuse, mais sont capables de fusionner plusieurs informations sensorielles avec les signaux moteurs venant du cortex, et de transmettre aux muscles squelettiques une commande motrice cohérente pour ajuster la posture... et éviter la chute. Un minicerveau, en somme. **E.H.**



^ Dans la moelle épinière, les neurones ROR (ici en rouge) servent de relais d'information entre les muscles et le cortex moteur.

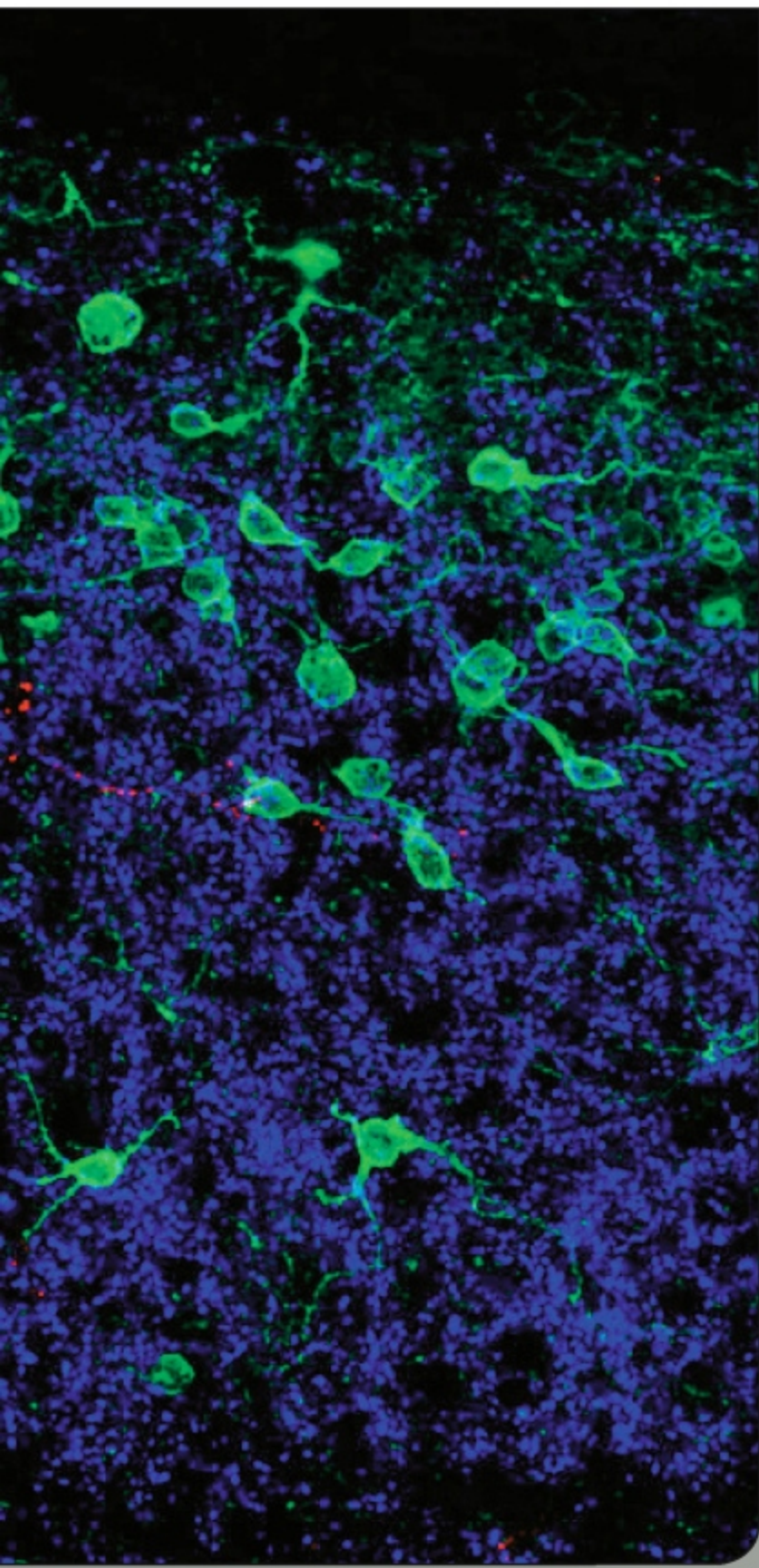
13,77

C'est, en milliards d'années, le nouvel âge de l'Univers. Les chercheurs, qui décortiquent les données du satellite *Planck*, ont fini d'exploiter les mesures du rayonnement de fond cosmologique, la première lumière de l'Univers, émise 380 000 ans après le big bang. Ils en ont déduit le taux d'expansion de l'espace... ce qui leur a permis d'estimer que l'Univers est plus jeune de 50 millions d'années qu'ils ne l'avaient calculé en 2013. **M.F.**

BOTANIQUE

La pigmentation de cette fleur varie avec la latitude

La règle était connue pour les animaux, la voilà vérifiée chez les plantes: la pigmentation varie avec la latitude. La comparaison de plus de 400 spécimens d'*Argemone anserina* à travers le globe a montré qu'une tache sombre de la corolle (perçue par les seuls yeux des insectes pollinisateurs) est d'autant plus large que la fleur se situe près de l'équateur. Un assombrissement qui permet de limiter la réflexion des UV sur les étamines, et donc de protéger le pollen. **E.H.**



< La corolle d'*A. anserina* est plus sombre près de l'équateur.

PALÉOANTHROPOLOGIE

La diversité humaine pourrait s'enrichir de deux nouvelles espèces

Dans notre genre *Homo*, on connaissait le grand-père *Erectus*, les cousins Neandertal et Denisova (voire Florès, tantôt cousin, tantôt *Sapiens* malade). Mais voilà que la famille pourrait bien gagner de nouveaux membres. Neuf dents trouvées dans la grotte de Xujiayao (Chine), appartenant à 4 individus vieux de 120 000 ans ne rentrent en effet dans aucune case. Leur taille et leur forme, analysées par Maria Martinon-Torres, du Centre national de recherche sur l'évolution humaine (Burgos, Espagne), sont un mélange inédit de Neandertal et d'*Erectus* : il pourrait s'agir d'hybrides, de membres d'une nouvelle espèce ou de Denisova. Même interrogation avec une demi-mandibule découverte au large de Taïwan, étudiée par Chun-Hsiang Chang, du Museum national des sciences naturelles de Taïwan. Datée de 200 000 ans environ, elle mêle des traits récents (pas de dents de sagesse) et anciens (mâchoire et dents larges, pas de menton) : là encore, ce pourrait être un Denisova ou une espèce inconnue. Des témoins de la diversité inattendue de notre genre, que l'on commence enfin à appréhender.

E.R.



^ Vieille de 200 000 ans, cette demi-mandibule pêchée au large de Taïwan ne correspond à aucun *Homo* connu.

COURTESY OF STEVEE BOURANE/SALK INSTITUTE FOR BIOLOGICAL STUDIES - THE NATIONAL MUSEUM OF NATURE AND SCIENCE OF TOKYO



^ La baleine boréale peut vivre 200 ans grâce à des mutations génétiques qui la protègent des maladies liées à l'âge.

GÉNÉTIQUE

LA BALEINE OUVRE UNE PISTE POUR VIVRE PLUS VIEUX

Considérée comme le mammifère à la plus longue durée de vie, la baleine boréale peut vivre plus de 200 ans. Pour tenter de comprendre comment cette espèce est protégée des maladies liées à l'âge, une équipe internationale, dirigée par João Pedro de Magalhães (université de Liverpool), a séquencé son génome et l'a comparé à celui d'autres cétacés et mammifères. Résultat: des variations spécifiques ont été identifiées, notamment des mutations d'ERCC1 et des duplications de PCNA, deux gènes associés au cancer et au vieillissement. "La prochaine étape consistera

à étudier l'impact de ces variations génétiques sur la régulation du cycle cellulaire et sur la réparation de l'ADN dans des lignées cellulaires, annonce le généticien. Nous allons aussi insérer les mutations chez des souris et observer si elles vivent plus longtemps et sont protégées du cancer." Le chercheur a publié ses données en accès libre, dans l'espoir que ses travaux contribueront au développement d'une approche complémentaire à la recherche actuelle sur le vieillissement et le cancer, "jusqu'à présent surtout concentrée sur des espèces à courte durée de vie". E.L.-T.

DES PLANÈTES SONT NÉES AU DÉBUT DE L'UNIVERS

Elles sont apparues il y a 11,2 milliards d'années! Selon Tiago Campante (Royaume-Uni), les 5 planètes qui gravitent autour de l'étoile Kepler 444 forment un système qui serait né alors que l'Univers n'avait que 20 % de son âge. M.F.

DES PIGEONS QUI CLASSENT DES IMAGES

En cliquant avec leur bec, des pigeons (univ. de l'Iowa) ont appris à associer des objets avec un pictogramme, classant jusqu'à 128 images en 16 catégories (voiture, chapeau, arbre...). Des associations à la base de l'apprentissage du langage. A.D.

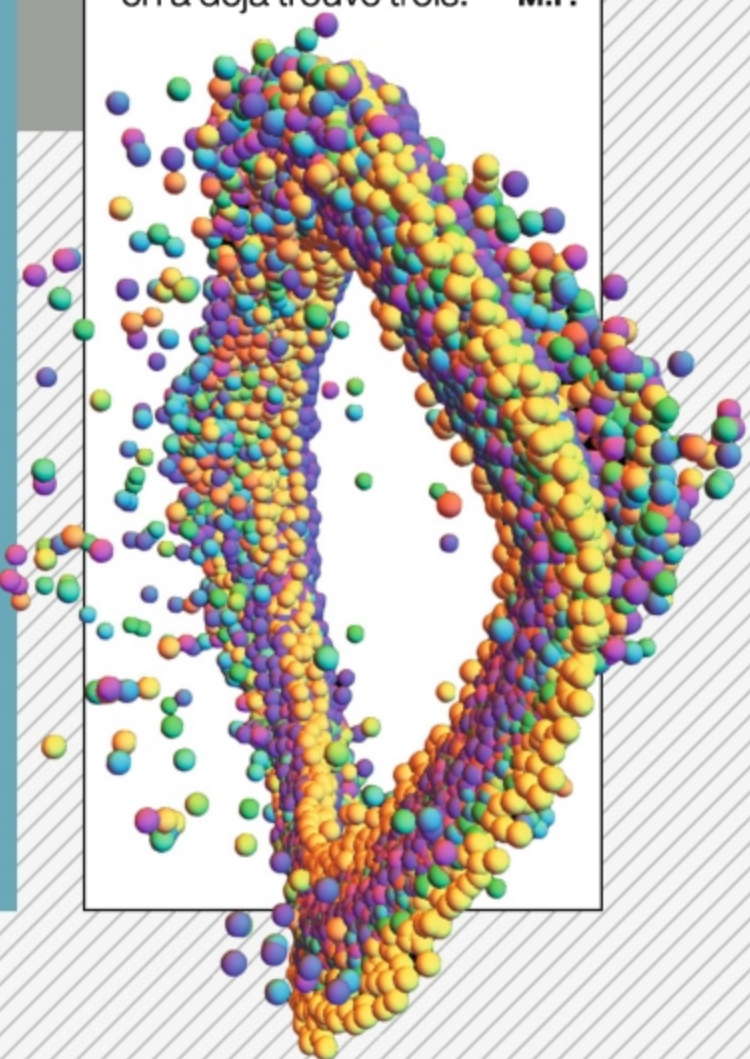
SATURNE A UNE JUMELLE ÉNORME

L'Américain Eric Mamajek a découvert autour de l'exoplanète J1407b des anneaux 200 fois plus grands que ceux de Saturne: ils s'étendent sur 120 millions de kilomètres et pourraient abriter des lunes de la taille de la Terre. M.F.

ASTROPHYSIQUE

Certaines étoiles pulsent à un rythme fractal

Le chou romanesco, les flocons de neige... et maintenant les étoiles. L'astrophysicien John Linder, du College of Wooster (Etats-Unis), a découvert un motif fractal (à la structure gigogne) dans les pulsations de lumière d'une étoile nommée KIC 5520878 (représentation ci-dessous), suivie par le télescope Kepler durant quatre ans. Reste à trouver les causes de cet étrange "rythme"... "Cela pourrait dévoiler de nouveaux mécanismes de la physique stellaire, espère John Linder. Car ces fréquences de pulsation interrogent les spécialistes depuis longtemps." En attendant, le chercheur continue de traquer les étoiles qui présentent cette particularité. Et il en a déjà trouvé trois. M.F.





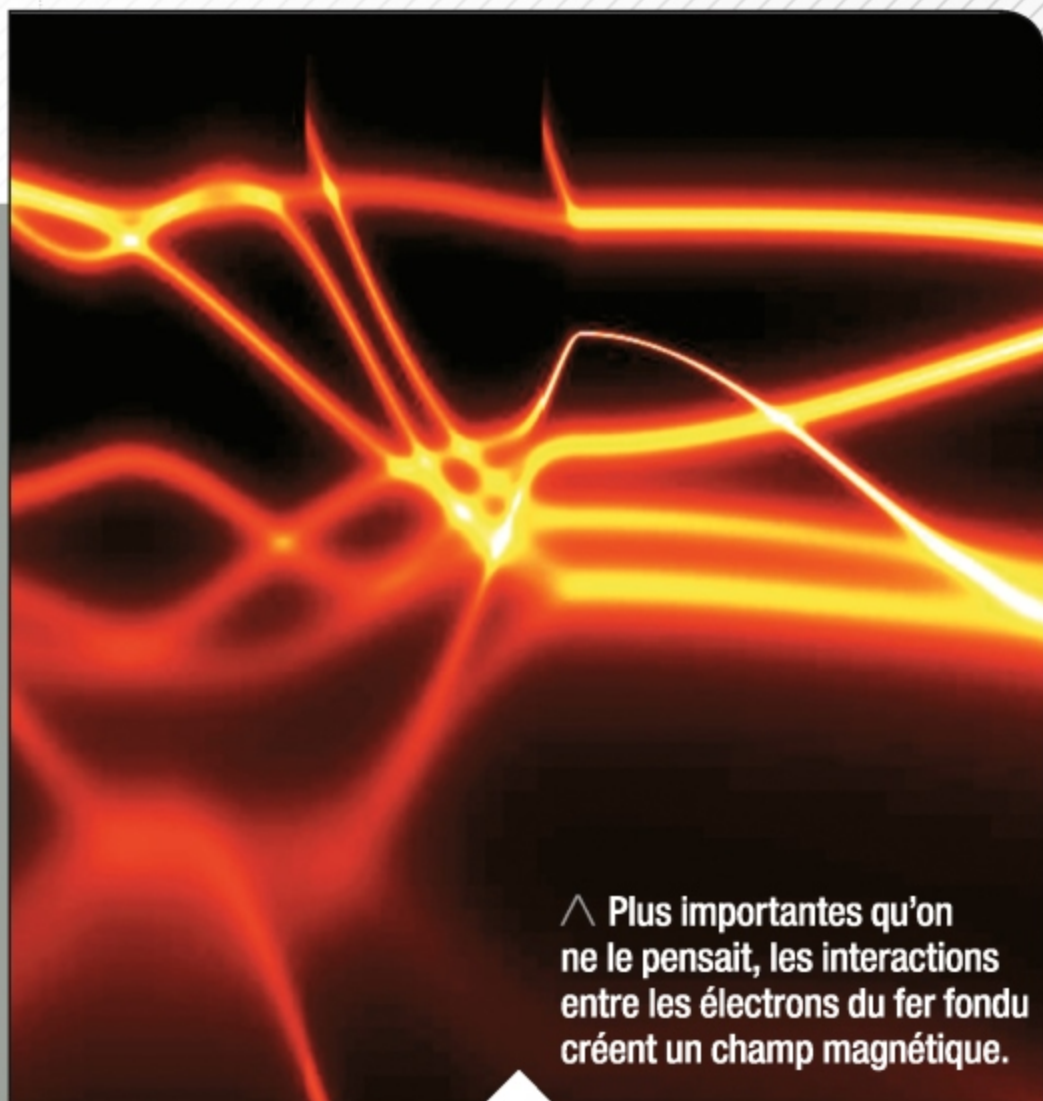
S'IL EST SI BON, C'EST QUE NOTRE SAVOIR-FAIRE
S'EXPRIME DEPUIS UN SIÈCLE ET DEMI, À LA LOUCHE.

Le Camembert Lanquetot est lentement Moulé à la Louche
parce que c'est cette technique, inspirée d'un savoir-faire séculaire, qui lui offre
sa croûte délicatement tourmentée, son moelleux parfait, son goût franc
et généreux et son arôme subtilement boisé.



Jusqu'où ira le plaisir Camembert ?





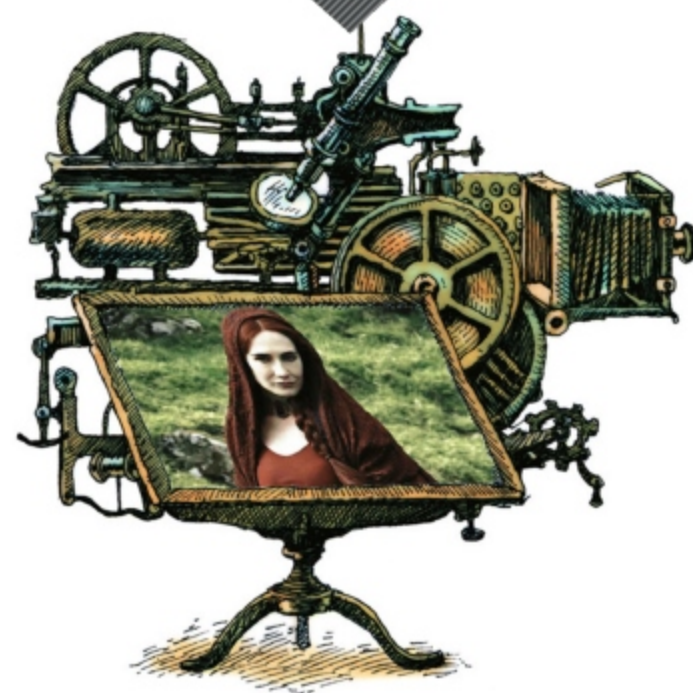
^ Plus importantes qu'on ne le pensait, les interactions entre les électrons du fer fondu créent un champ magnétique.

GÉOPHYSIQUE

LE CHAMP MAGNÉTIQUE TERRESTRE NAÎT DES CHOCS D'ÉLECTRONS

Si les physiciens ne parvenaient pas à reproduire la naissance du champ magnétique de la Terre – l'un des plus épineux problèmes de géophysique –, c'est parce qu'ils avaient sous-estimé la violence des chocs entre électrons. Ronald Cohen et son équipe de la Carnegie Institution de Washington (Etats-Unis) ont modélisé le comportement du fer à haute température au niveau atomique et se sont aperçus que les électrons ne cessent de s'éjecter les uns les autres, s'opposant à la formation d'un courant électrique... "Dans le

noyau terrestre, les électrons du fer fondu ralentissent ainsi les transferts de chaleur et provoquent la formation de mouvements de convection : des courants ascendants et descendants qui donnent naissance à un champ magnétique", explique le physicien. Jusque-là, les modèles qui ne tenaient compte que des vibrations des atomes et des interactions moyennes des électrons ne parvenaient pas à former le moindre tourbillon de métal... et par conséquent, pas la moindre ligne de champ magnétique. **M.F.**



Et si la statistique dévoilait la suite de *Game of Thrones*...

Une publication de mathématiques commence rarement par une mise en garde contre un risque de *spoiler* (des révélations qui tuent le suspense). Richard Vale (université de Canterbury, Nouvelle-Zélande) se fend pourtant d'un *spoiler warning* dès l'introduction de son article "Bayesian prediction for The Winds of Winter", consacré aux prédictions permises par la statistique dans le sixième et très attendu tome de la saga de Georges R. Martin.

Etant donné la propension de l'auteur à occire ses personnages, c'est avec angoisse que les fans attendent chaque nouvel opus. Or, l'auteur ayant menacé de tuer un Stark (une des familles clés de la saga) chaque fois qu'on lui demandera une date de sortie, Richard Vale a dû innover. Il s'est basé sur le fait que chaque chapitre est écrit du point de vue d'un personnage. Corollaire (simpliste certes) : si le personnage n'a plus de point de vue, il est potentiellement mort. De là, le statisticien peut estimer la probabilité de survie des 24 personnages ayant déjà offert leur point de vue à un chapitre dans les tomes précédents. Résultat (attention, *spoiler*!) : Mélisandre d'Asshai ou Aeron Greyjoy risquent ainsi d'avoir peu, voire pas de point de vue, comme Arya Stark et Tyrion Lannister. Ce qui indiquerait un chant du cygne probable. Vérifications en 2016... **E.R.**

NOUVEAU DISCOVERY SPORT L'AVENTURE ? C'EST DANS NOTRE ADN.



ABOVE & BEYOND

Découvrez notre SUV compact le plus polyvalent. Ses technologies intelligentes, incluant le système Terrain Response®, font du Nouveau Discovery Sport le véhicule idéal pour explorer les grands espaces. Son généreux volume de rangement de 1 698 litres et son ingénieux système de sièges 5+2 garantissent quant à eux votre plus grand confort.

#DiscoverySport

landrover.fr



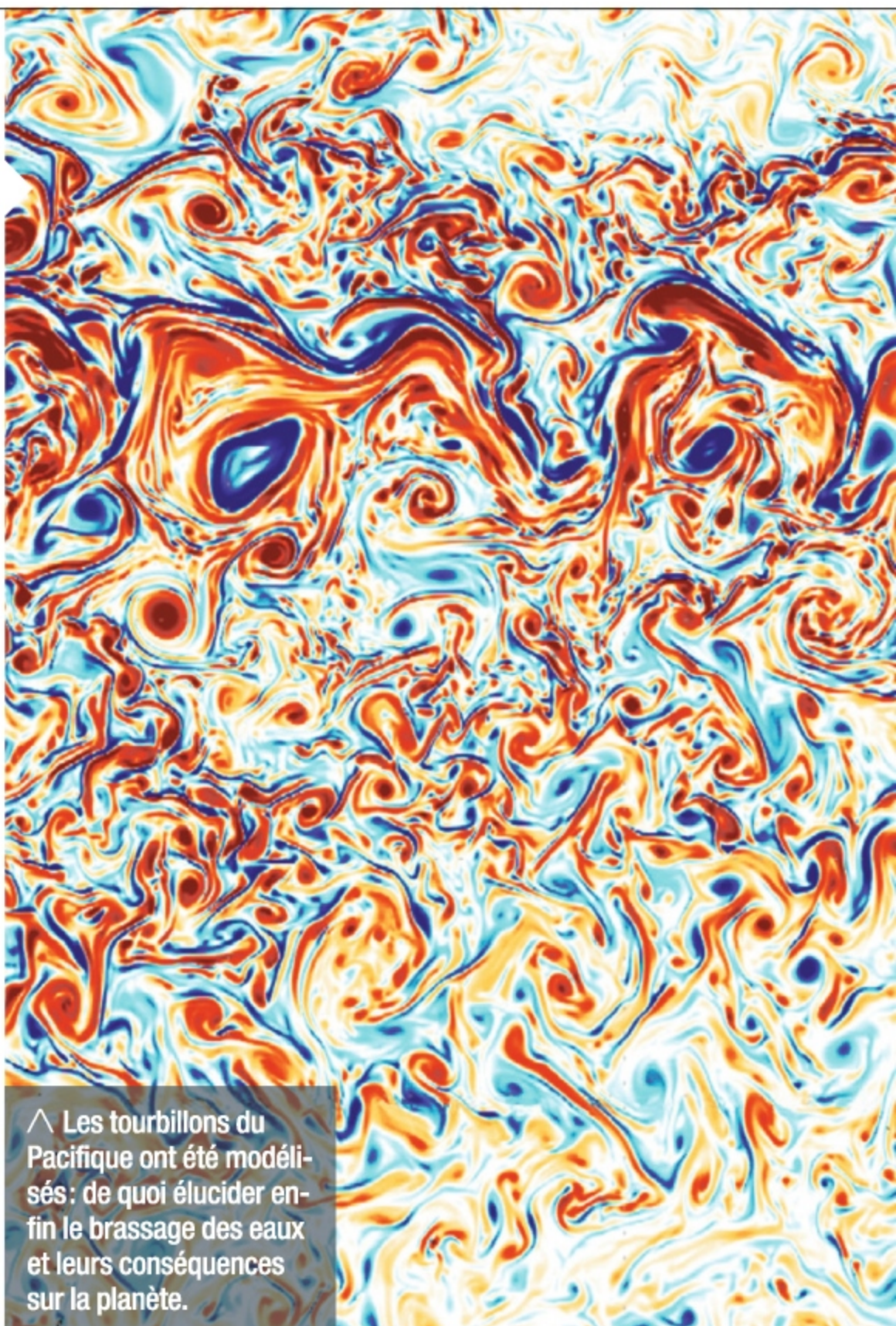
ABOVE & BEYOND : Franchir de nouveaux horizons. Consommations mixtes Norme CE 1999/94 (L/100 km) : de 5,7 à 8,3 - CO₂ (g/km) : de 149 à 197. RCS Nanterre 509 016 804.

OCÉANOGRAPHIE

LES TOURBILLONS Océaniques N'ONT PLUS DE SECRET

L'océan n'est pas un long fleuve tranquille. Dans le Pacifique, vents et vagues donnent en hiver naissance à des tourbillons de petite échelle (inférieurs à 50 km de diamètre), qui transmettent, en fusionnant les uns avec les autres, leur énergie à des tourbillons plus grands, dits d'échelle moyenne (200 à 300 km), lesquels deviennent dominants au cours de l'été. C'est ce phénomène qui, pour la première fois, a été modélisé grâce à une collaboration entre l'Institut français pour l'exploitation de la mer (Ifremer) et son homologue japonais, le Jamstec. Un travail qui a pu être réalisé grâce à un modèle océanique spécialement adapté

au surpuissant ordinateur japonais Earth Simulator. Les chercheurs disposent désormais d'une représentation fidèle de ces structures tridimensionnelles présentes dans tous les océans, qui peuvent s'enfoncer jusqu'à 500 m de profondeur. Une information très utile quand on sait qu'elles jouent un rôle capital dans le brassage des eaux et ses conséquences sur la production de plancton, et donc sur la pêche (les tourbillons entraînent vers le fond les nutriments et l'énergie en provenance de la surface). Cette modélisation soulève aussi l'espoir de meilleures prédictions des effets du réchauffement de l'océan sur sa dynamique. **Y.S.**



^ Les tourbillons du Pacifique ont été modélisés: de quoi élucider enfin le brassage des eaux et leurs conséquences sur la planète.

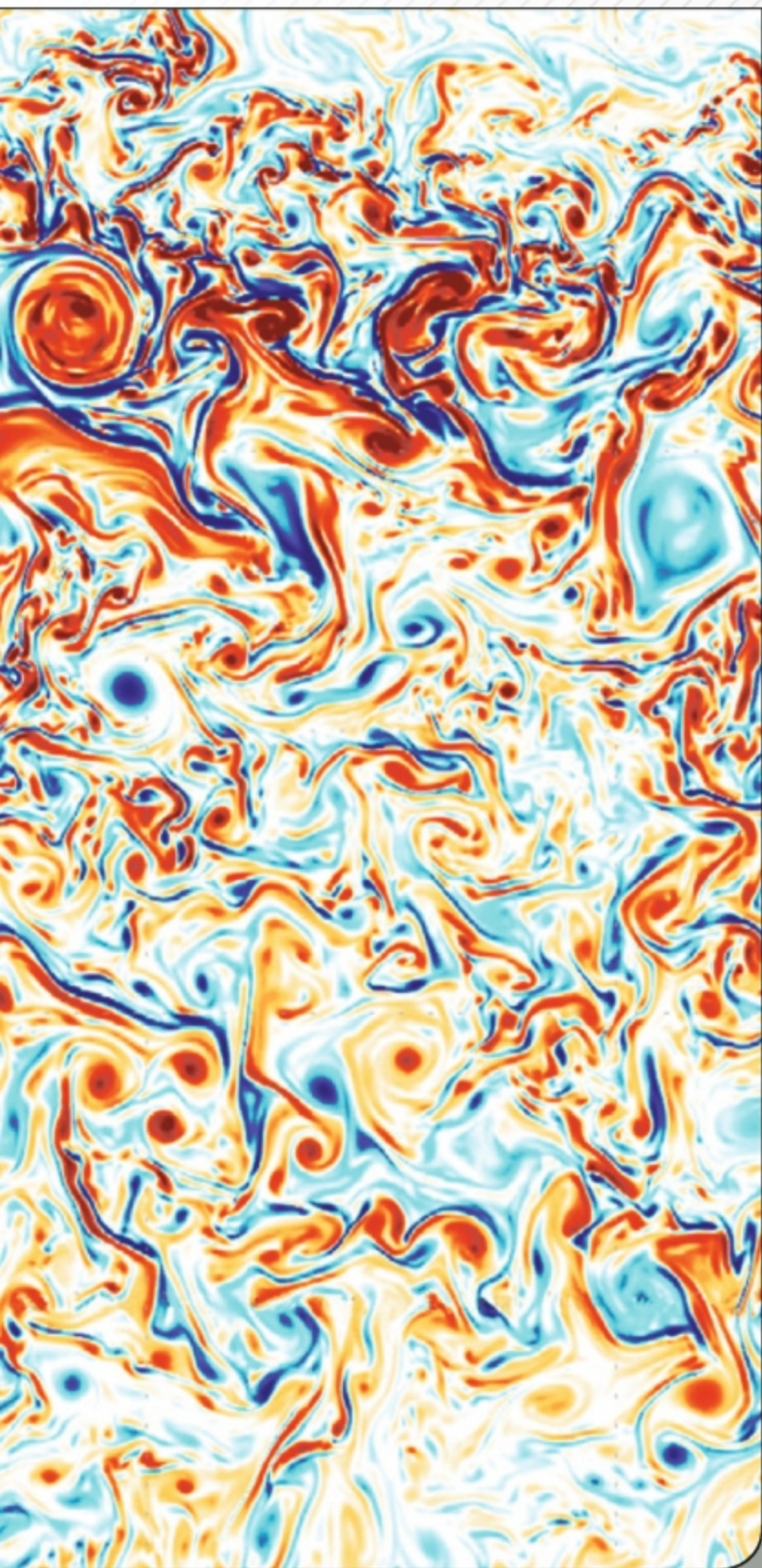
181 millions d'hectares

C'est la surface cultivée en OGM à l'échelle mondiale en 2014, avec un accroissement de 6 millions d'hectares par rapport à 2013 (+3,3 %). Les OGM sont utilisés par 18 millions d'agriculteurs répartis dans 28 pays. Coton, soja, maïs et colza sont les principales cultures, et les Etats-Unis en sont les plus grands producteurs avec 73 millions d'hectares.

ÉCOTOXICOLOGIE

Les abeilles transmettent leurs virus aux autres pollinisateurs

On savait qu'animaux sauvages et domestiques échangent leurs virus, mais c'est la première fois qu'une équipe de chercheurs (université britannique d'Exeter) montre l'importance de ce phénomène chez les insectes pollinisateurs. La vingtaine de virus qui infectent les abeilles domestiques dans le monde peut en effet se transmettre aux autres pollinisateurs, même si ce sont des espèces différentes (mouches, papillons, perce-oreilles...). Inquiétant, alors que la baisse de la pollinisation due à la disparition des abeilles devient un problème pour l'agriculture. **Y.S.**



VULCANOLOGIE

C'est tous les 100 000 ans que les volcans sous-marins se réveillent

Maya Tolstoy, de l'université de Columbia (New York), a eu l'idée de se pencher sur le rythme d'activité des dorsales médio-océaniques, ces longs alignements de volcans sous-marins qui, par leurs émissions de lave, construisent le plancher océanique. Si la communauté scientifique avait jusque-là l'habitude de considérer que cette activité volcanique, qu'elle soit continue, variait peu dans le temps, il semblerait en fait qu'elle s'intensifie cycliquement... Ce que la chercheuse a réussi à confirmer en observant des épaisissements périodiques du fond marin, signes d'un débit de lave plus élevé. Et de noter un fait fascinant : ces cycles, qui sont d'environ 100 000 ans, seraient calqués sur ceux de Milankovitch, autrement dit sur les cycles orbitaux de la Terre qui marquent l'entrée et la sortie des ères glaciaires. Une mystérieuse corrélation que la chercheuse et ses collègues ne savent pour l'instant pas expliquer...

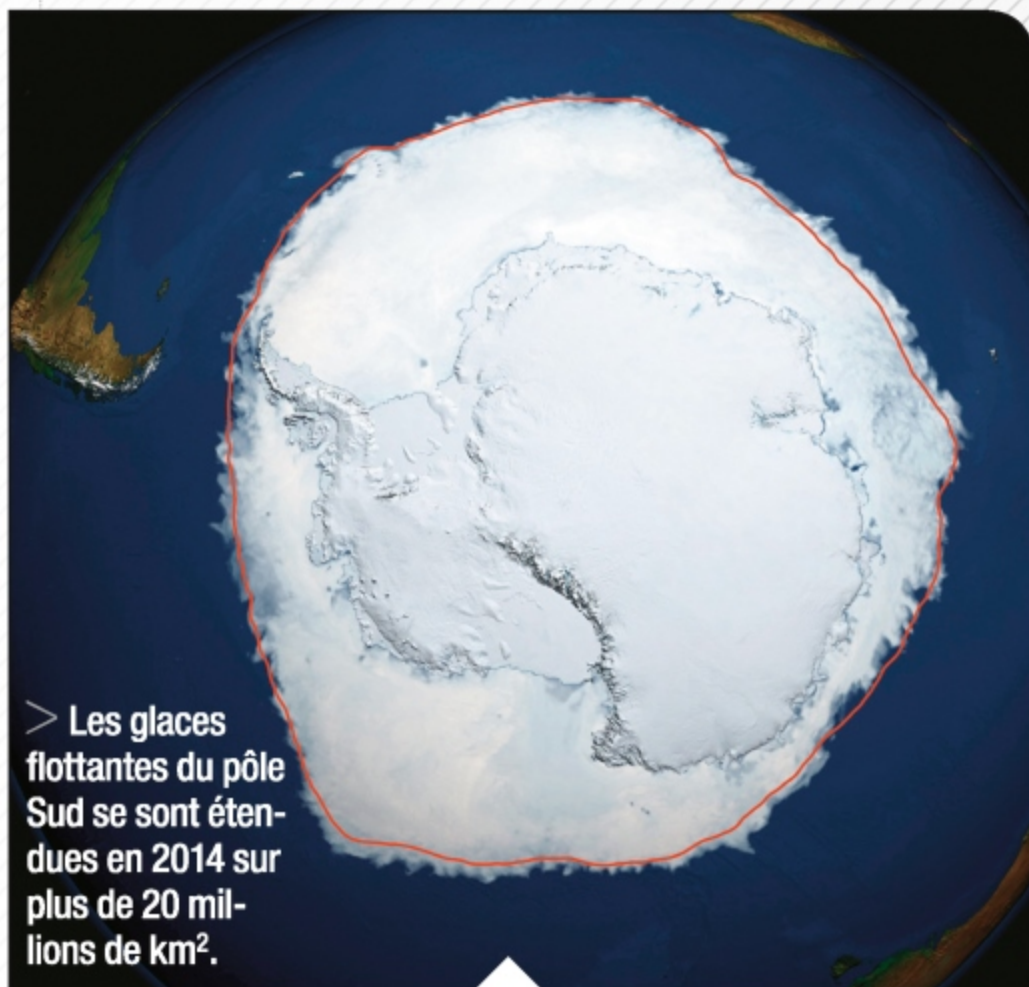
Y.S.



✓ L'activité volcanique des dorsales océaniques serait calquée sur les cycles orbitaux de la Terre.



JAMSTEC - S. MURRELL - SPL/COSMOS



> Les glaces flottantes du pôle Sud se sont étendues en 2014 sur plus de 20 millions de km².

GLACIOLOGIE

LA BANQUISE NE CESSE DE S'ÉTALER EN ANTARCTIQUE

Le phénomène est moins connu que celui de la fonte de l'Arctique, mais les faits sont là : depuis plusieurs années, la banquise antarctique grandit chaque hiver, et elle a battu en 2014 son record depuis le début des mesures satellites, en dépassant les 20 millions de km² (20,14 exactement) pour la première fois, selon les mesures de la Nasa. Attention, il ne s'agit pas des glaciers, qui eux continuent d'accélérer leur fonte vers la mer. Cela concerne les glaces flottantes, qui se créent chaque hiver à la faveur de la nuit polaire, puis fondent l'été suivant. Elles ne changent donc pas le niveau de la mer. Pour

l'instant, les scientifiques peinent à fournir une explication consensuelle au phénomène, d'autant que cette région, vu sa difficulté d'accès, fait partie des moins analysées de la planète. Un changement de régime des vents, qui transporterait davantage le froid depuis le centre du continent vers la mer, pourrait être une hypothèse plausible. Et ce changement de régime pourrait être lui-même lié au trou de la couche d'ozone. Reste que cette augmentation de banquise antarctique ne représente qu'un tiers de ce que perd la banquise arctique. La planète continue donc à perdre globalement de la glace de mer. **Y.S.**

LE THON CONTIENT DE PLUS EN PLUS DE MERCURE

Le thon albacore du Pacifique présente des concentrations en mercure qui augmentent de 3,8 % par an, selon une étude américaine. Ce qui refléterait l'accroissement du mercure océanique, dû aux activités minières et à la combustion du charbon.

LES ESPÈCES INVASIVES S'ENTRAIDENT

Des chercheurs canadiens ont découvert que la fourmi rouge européenne *Myrmica rubra*, invasive dans leur pays, dissémine préférentiellement une plante également invasive au Canada : la chéli-doine. Un cas concret de synergie entre envahisseurs.

LA FORÊT NE BRÛLE PAS PARTOUT PAREIL

Si, en Amérique du Nord, les arbres brûlent comme des torches, exposant le sol, en Sibérie, les feux consomment la végétation du sol, épargnant la canopée. Avec des conséquences climatiques encore mal quantifiées.

ÉCOLOGIE

Les termites freinent la désertification

Selon des chercheurs de l'université américaine de Princeton, les termites sont des pivots de la résistance des écosystèmes à la désertification. Les termitières, en favorisant la pénétration de l'eau de pluie, créent des poches d'humidité dans les terres arides. La végétation parvient à s'y maintenir plus longtemps, et à reconquérir les zones alentour au retour de la pluie. Ces résultats, qui sont le fruit d'observations de terrain et de modélisations, suggèrent que d'autres espèces creusant des terriers (fourmis, rongeurs...) pourraient avoir un effet analogue. **Y.S.**

✓ Les trous des termites créent des poches d'humidité favorables à la végétation.



Pr Dame Carol Robinson

Lauréate 2015 - Europe

Par Brigitte Lacombe



La science a besoin des femmes

**PRIX
L'ORÉAL
UNESCO**

Professeur de chimie à l'Université d'Oxford au Royaume-Uni, Dame Carol Robinson a inventé une nouvelle façon d'étudier les protéines, en particulier celles de la membrane cellulaire dont le rôle est crucial dans le corps humain. Ses travaux ont révolutionné la biologie structurale, un domaine très prometteur de la recherche médicale.

Partout dans le monde, des femmes d'exception sont au cœur des plus grandes avancées scientifiques. Depuis 17 ans, nous les soutenons pour qu'elles continuent à faire progresser la science et à inspirer les générations futures.

AVEC LE SOUTIEN DE



JCDecaux

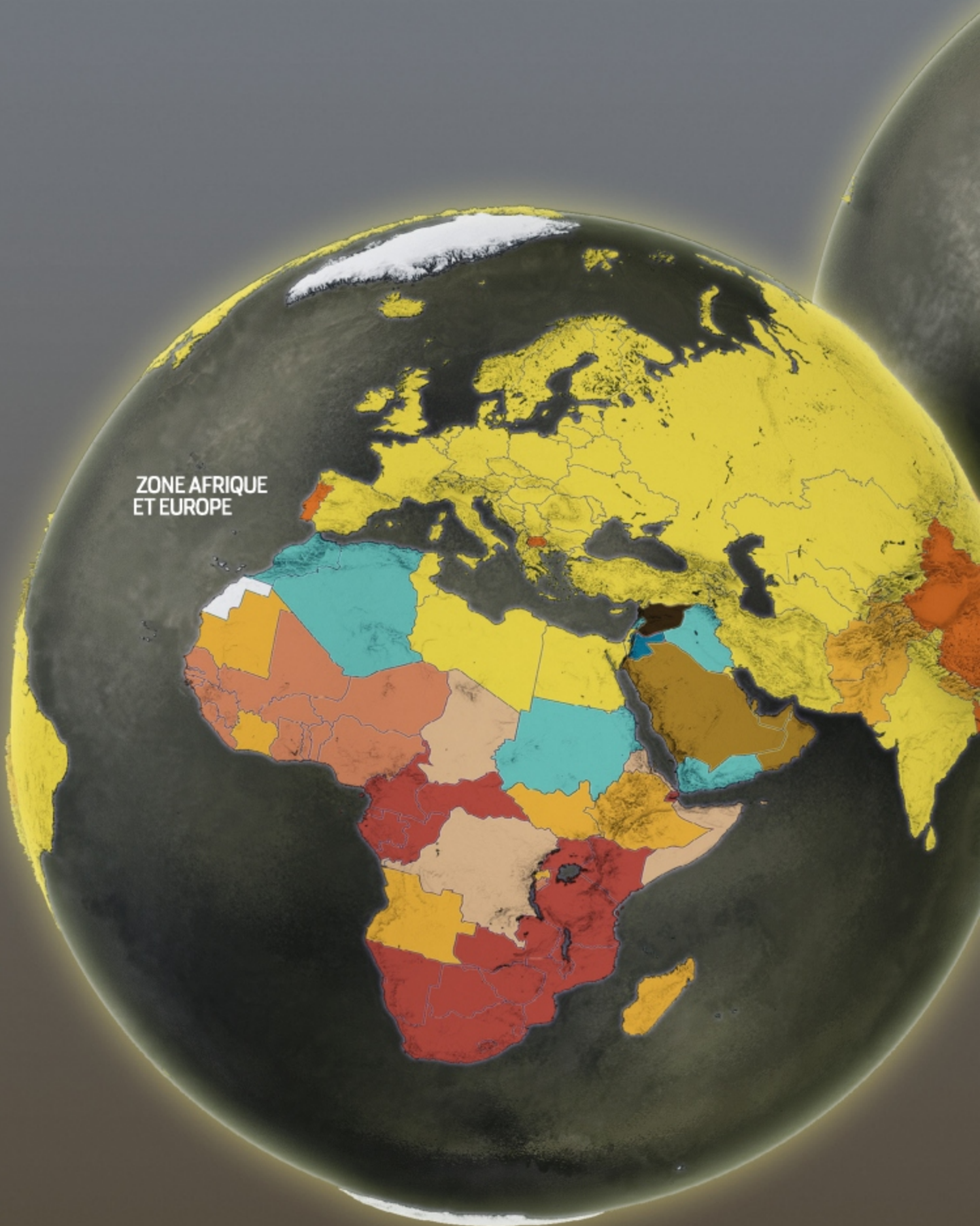
ÉPIDÉMIOLOGIE

LES MALADIES CARDIO-VASCULAIRES NE CONNAISSENT PLUS DE FRONTIÈRES

Mobilisant 700 chercheurs, c'est la plus grande analyse mondiale jamais réalisée des causes de décès. Premier constat, positif: entre 1990 et 2013, l'espérance de vie à la naissance a gagné 6 ans, passant de 65,3 à 71,5 ans. Un progrès surtout dû au recul de la mortalité infantile dans les pays en développement (forte baisse des diarrhées et de la rougeole) et, dans les pays riches, à la meilleure prise en charge des maladies cardio-vasculaires (infarctus, AVC). Il n'empêche: celles-ci occupent encore les premières places parmi les causes de décès.

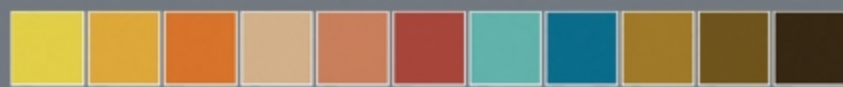
Si l'Afrique est encore très marquée par le paludisme et le sida, partout ailleurs la "transition épidémiologique" s'est poursuivie, comme l'explique François Alla (université de Lorraine): *"Dans un premier temps, une meilleure hygiène a fait chuter les maladies infectieuses, les progrès médicaux ont fait baisser l'impact des maladies cardio-vasculaires: la mortalité a baissé et l'espérance de vie s'est allongée. Mais dans un deuxième temps – et c'est l'étape en cours dans les pays riches –, la mortalité finit par remonter à cause des modes de vie."* Diabète, insuffisance rénale chronique et certains cancers grimpent aujourd'hui dans de nombreuses régions riches, mais aussi dans les pays en développement sous l'effet de la sédentarité, de la mauvaise alimentation, de l'alcool et du tabac.

F.G.

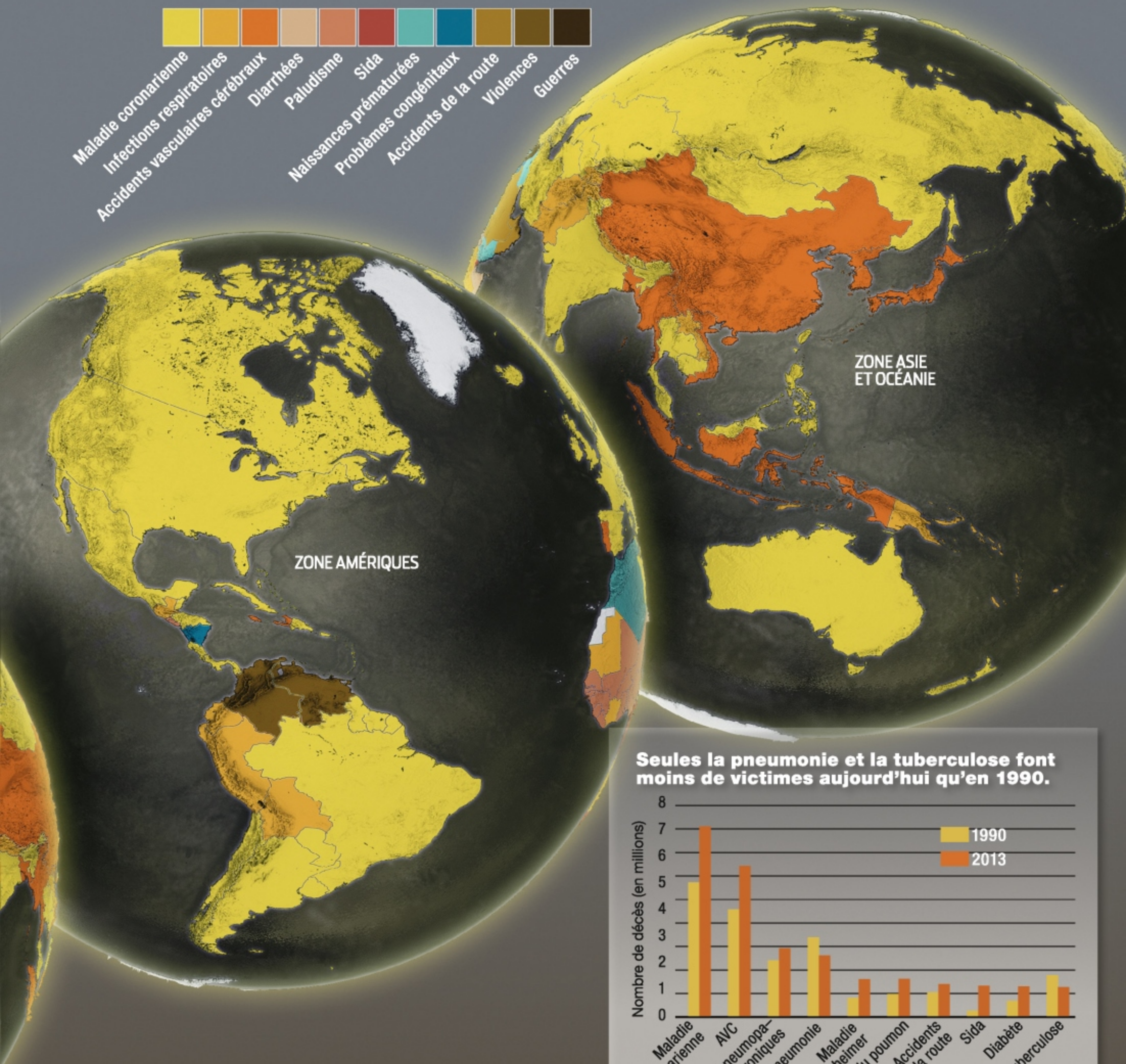


Voici la première cause de décès prématuré par pays

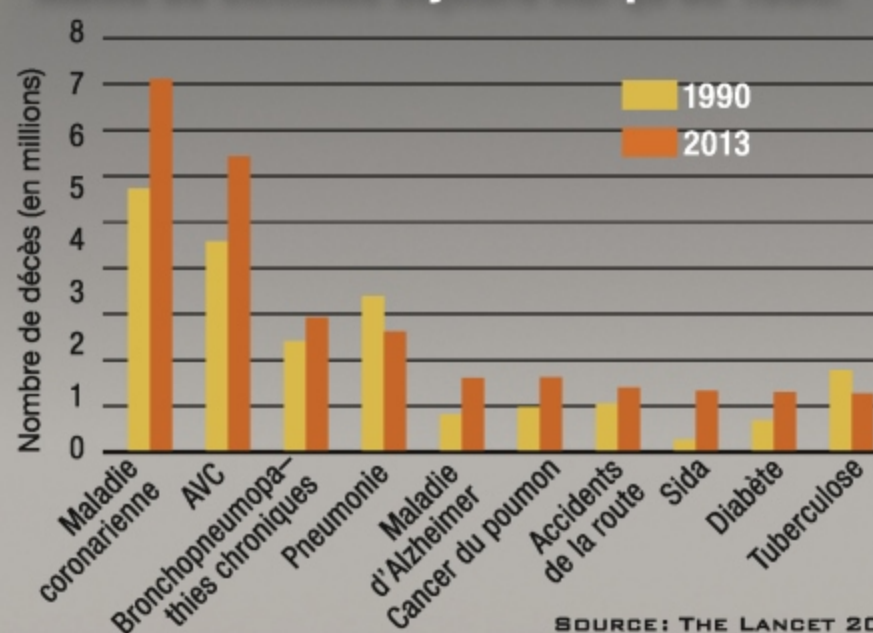
Ces données, en années de vie perdues par rapport à l'âge moyen de décès dans le pays, ne comptent donc pas les cancers, qui touchent les plus âgés.



Maladie coronarienne
Infections respiratoires
Accidents vasculaires cérébraux
Diarrhées
Paludisme
Sida
Naissances prématurées
Problèmes congénitaux
Accidents de la route
Violences
Guerres



Seules la pneumonie et la tuberculose font moins de victimes aujourd'hui qu'en 1990.



SOURCE: THE LANCET 2014

59,3

C'est l'âge moyen des personnes décédées en 2013. Il était de 46,7 ans en 1990.

-52%

La diminution de la mortalité infantile (à moins de 5 ans) entre 1990 et 2013.

1 395 800

Le nombre de décès dus aux accidents de la route en 2013. Soit + 32,4 % par rapport à 1990.



✓ Les perturbateurs endocriniens précipiteraient la ménopause (ici en rose, l'appareil reproducteur féminin).

ENDOCRINOLOGIE

DES "POLLUANTS" ACCÉLÉRERAIENT LA MÉNOPAUSE

Voilà les perturbateurs endocriniens accusés d'un nouveau mal. Certaines de ces substances qui contrarient le fonctionnement des hormones pourraient accélérer la perte naturelle de fertilité des femmes. Autrement dit, précipiter la ménopause. Pour arriver à cette conclusion, l'équipe d'Amber Cooper, à l'université du Colorado, a étudié le lien entre la présence, dans le sang de plus de 30 000 femmes, d'une centaine de produits chimiques différents, et l'âge d'entrée en ménopause. Résultat : pour quinze de ces produits (pesticides, phtalates...), un fort

taux sanguin était associé à une ménopause débutant en moyenne 1,9 à 3,8 ans plus tôt. Si cette statistique ne suffit pas à démontrer la responsabilité de ces produits, elle s'ajoute aux résultats de deux autres études allant dans le même sens, ainsi qu'à ceux d'une expérience sur des souris qui, exposées à des gaz d'échappement de diesels, voyaient leur réserve ovarienne diminuer. Si cet effet se confirme, cela signifierait que les pathologies liées à la ménopause (maladies cardiovasculaires, ostéoporose...) surviendraient aussi plus tôt. **E.A.**

PHARMACOLOGIE

Plus un placebo paraît cher, plus il est efficace !

Lorsque des patients reçoivent un traitement placebo présenté comme une substance active, celui-ci est d'autant plus efficace que son prix (supposé) est élevé. C'est le résultat troublant d'une expérience sur des patients parkinsoniens menée à Cincinnati (E.-U.). Divisés en deux groupes, ils ont tous reçu la même injection de solution saline ; mais le prix affiché était plus élevé pour les premiers... dont les symptômes se sont nettement plus améliorés. **R.I.**

CARDIOLOGIE

Un essai vise à traiter l'hypertension en opérant... le rein

Détruire les fibres nerveuses situées dans la paroi des artères rénales favorise la contraction de ces dernières, ce qui augmente la réabsorption des sels minéraux par le rein et, *in fine*, réduit l'hypertension. Ce principe encore expérimental, baptisé "dénervation rénale", a été étudié par Michel Azizi (hôpital Pitié-Salpêtrière, Paris) au cours d'un essai sur une centaine de patients. Tous souffraient d'une hypertension résistante aux médicaments. Par rapport aux patients n'ayant reçu qu'un traitement médicamenteux, certains de ceux qui ont en plus été opérés ont vu leur pression systolique baisser de 6 points supplémentaires. **C.H.**

✓ L'hypertension résistante aux médicaments (ici, tensiomètre) peut être vaincue par une opération.



CYRANO (*INTERROGATIF*) :

– Ah, non! Ma carte bloquée!

Le plafond est atteint, je ne puis payer!

N'existe-t-il rien de plus pratique,
de moins limité, pour régler ses achats
sans se casser le nez?

ROXANE (*SUR LE TON DU CONSEIL*) :



Visa Premier : un plafond de paiement supérieur à celui d'une carte classique.

Découvrez aussi sur visa.fr les 30 autres services Visa Premier.

Plus d'informations sur le site.

Être Premier aura toujours ses avantages.

VISA



△ Test, chez la souris, d'un ARNm "hybride" (en vert) dans la rétine (en rouge, les vaisseaux).

OPHTALMOLOGIE

UNE THÉRAPIE GÉNÉRIQUE ÉVITERAIT DES CAS DE CÉCITÉ

Dans 15 à 20 % des cas, la rétinite pigmentaire, une maladie génétique entraînant la perte progressive de la vision, est dite "autosomique dominante": une seule copie défectueuse du gène suffit à induire la maladie, et ce alors même que la deuxième copie du gène est saine. "Pour traiter ces maladies, il ne suffit donc pas d'apporter un gène sain, il faut aussi faire taire le gène malade", explique Alexis-Pierre Bemelmans, chercheur à l'Institut de la vision (Paris) et au CEA. Pour y parvenir, lui et son équipe ont mis au point une technique dite de "trans-épissage". Elle consiste à

agir non pas sur le gène lui-même mais sur l'ARN messager (ARNm), la molécule intermédiaire qui permet, à partir de l'ADN, d'obtenir une protéine. Les chercheurs ont réussi à fabriquer des ARNm "hybrides" qui lancent une production normale de rhodopsine, protéine défectueuse chez 25 à 30 % des patients. Cet ARNm "hybride" a permis, dans des cellules en culture mais aussi dans la rétine de souris, l'expression de la protéine réparée. De nombreux essais sur l'homme seront évidemment nécessaires avant de pouvoir valider cette approche thérapeutique. C.H.

EBOLA SURVIT 7 JOURS APRÈS LA MORT

Le virus Ebola, qui a fait plus de 9 000 victimes en Afrique de l'Ouest depuis l'année dernière, survit dans les cadavres sept jours après la mort. L'infection pourrait donc encore se transmettre lors de funérailles tardives. C.H.

GREFFE RÉUSSIE DU NERF AUDITIF

Une équipe internationale (étude pilotée par l'université de Californie du Sud) a pu rendre l'audition à quatre enfants nés sans nerf auditif, en leur greffant des implants directement sur le tronc cérébral. C.T.

UN NOUVEAU MÉCANISME ANTI-ALLERGIE

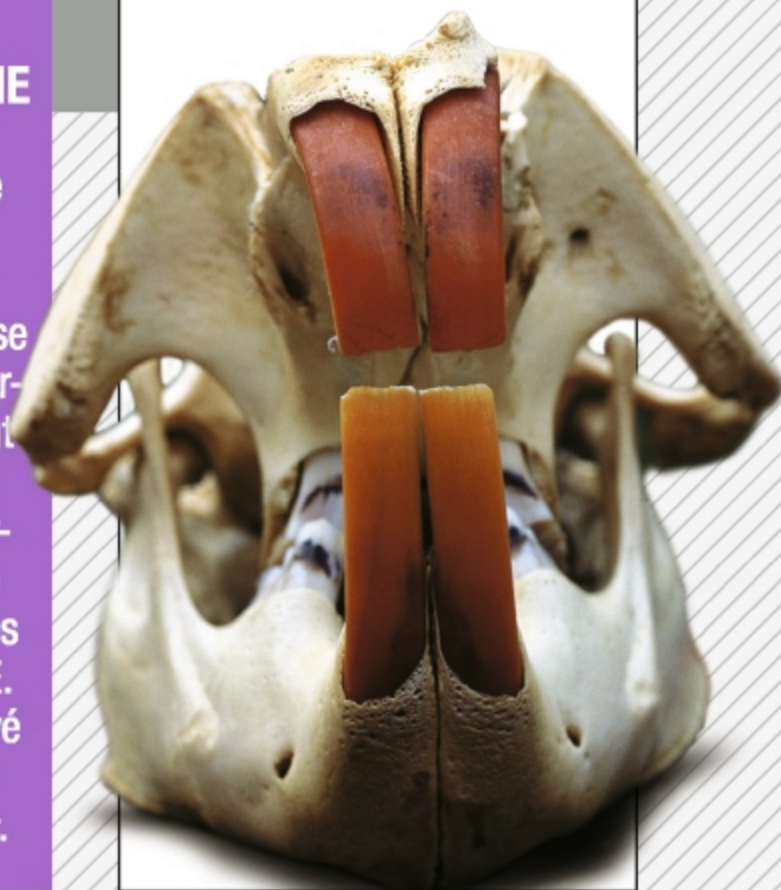
Des chercheurs de l'université de Limoges ont découvert qu'un organisme peut se protéger des allergies en favorisant l'autodestruction des cellules chargées de produire des anticorps très efficaces, les IgE. Un taux trop élevé d'IgE déclencherait l'allergie. C.T.

ODONTOLOGIE

Les dents du castor inspirent les dentistes

Les dents du castor sont bien moins sensibles que les nôtres aux attaques acides responsables des caries. L'équipe de Derk Joester, chercheur à la Northwestern University (Evanston, États-Unis) vient de montrer que cette résistance est due à la composition de leur émail: les interstices compris entre les nanofils d'hydroxyapatite qui composent l'émail de nos dents contiennent du magnésium alors que, chez le castor, ces interstices contiennent du fer. Une modification minérale que les chercheurs espèrent reproduire sur des dents humaines. C.H.

▽ L'émail des dents de castor est notamment composé de fer, qui préviendrait les caries.





^ Parler à un patient dans le coma aiderait le processus d'éveil.

NEUROLOGIE

LA PAROLE A BIEN UN EFFET SUR LE COMA

“Rendre visite à un proche dans le coma peut vraiment aider à sa guérison”, affirme Theresa Pape. Cette chercheuse en neurosciences à l’université Northwestern (Etats-Unis) est arrivée à cette conclusion en testant les effets de l’exposition de patients, inconscients depuis plus d’un mois (coma, état végétatif...), à des enregistrements de voix familiales, pendant dix minutes, quatre fois par jour.

Au bout de six semaines, les huit patients qui ont bénéficié de ce traitement présentaient une amélioration de leurs signes d’éveil (réactions physiques à des stimuli sensoriels) plus importante que les sept patients qui n’y avaient pas été exposés. Or *“l’amélioration de l’état d’éveil est une première étape cruciale dans le retour à la conscience complète”*, affirme la chercheuse. **E.A.**

Ça reste à prouver



Il se pourrait que nos bactéries nous trahissent !

C’est un fait connu mais toujours frappant : les 10 000 milliards de cellules de notre corps sont 10 fois moins nombreuses que les bactéries qui le colonisent... Heureusement, la coopération est généralement de mise avec ces résidents qui constituent notre microbiome. Mais parfois, la situation dégénère : quand nous sommes affaiblis, pneumonies et autres infections venues de l’intérieur apparaissent. Elle seraient dues à la multiplication de bactéries opportunistes facilitée par un système immunitaire moins efficace. Mais Viktor Müller, de l’Académie des sciences hongroise, a une autre hypothèse : les bactéries déjà présentes, sentant leur hôte changer, deviendraient plus virulentes. L’équilibre entre l’organisme et sa flore microbienne serait donc rompu par une mutinerie ! Certes, les microbes affaibliraient un peu plus leur hôte, mais amélioreraient aussi leur chance de transmission. Pour vérifier cette “trahison”, l’équipe hongroise va comparer, chez des individus jeunes et vieux, malades et sains, l’expression des facteurs de virulence de bactéries connues pour leur agressivité et chercher comment elles mesurent l’état de santé de leur hôte – son affaiblissement lançant le signal de l’attaque. **E.R.**

51 %

C’est le taux de survie des prématurés nés entre 22 et 26 semaines (une grossesse à terme en compte 38), contre 44,1 % en 1997. A ce stade de prématurité, le taux des naissances sans problème grave est même passé de 15,4 % à 26,3 %. La situation s’améliore aussi pour les enfants nés entre 27 et 31 semaines : leur taux de survie est passé de 87,7 % à 94,3 %. **E.A.**



TOYOTA

TOUJOURS
MIEUX
TOUJOURS
PLUS LOIN

SORTEZ-VOUS DE TOUTES LES SITUATIONS DÉLICATES



TOYOTA RAV4 DIESEL SURÉQUIPÉ

299 €/MOIS⁽¹⁾

ENTRETIEN INCLUS⁽²⁾

SANS CONDITION DE REPRISE
LOA* 37 MOIS. 1^{ER} LOYER DE 3 500 €, SUIVI
DE 36 LOYERS DE 299 €. MONTANT TOTAL DÛ EN
CAS D'ACQUISITION : 29 314 €.

COFFRE À OUVERTURE & FERMETURE ÉLECTRIQUES

CAMÉRA DE REcul

ACCÈS ET DÉMARRAGE SANS CLÉ

CLIMATISATION AUTOMATIQUE

SYSTÈME MULTIMÉDIA TOYOTA TOUCH 2

JANTES EN ALLIAGE 18" DIAMANTÉES

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

Consommations mixtes : de 4,5 à 7,3 (L/100 km). Émissions de CO₂ cycle mixte (g/km) : de 127 à 176 (C à E). Données homologuées CE.

(1) Exemple pour un Toyota RAV4 Life 124 D-4D 2WD neuf au prix exceptionnel de 25 290 €, remise déduite de 4 300 €. *Location avec Option d'Achat 37 mois, 1^{er} loyer de 3 500 €, suivi de 36 loyers de 299 €/mois hors assurances facultatives. Option d'achat : 15 050 € dans la limite de 37 mois & 45 000 km. Montant total dû en cas d'acquisition : 29 314 €. Assurance de personnes facultative à partir de 27,82 €/mois en sus de votre loyer, soit 1 029,34 € sur la durée totale du prêt. Offre réservée aux particuliers, valable jusqu'au 30/04/15 chez les distributeurs Toyota participants et portant sur le tarif en vigueur au jour de la souscription du contrat. En fin de contrat, restitution du véhicule dans votre concession avec paiement des frais de remise en état standard et des éventuels kilomètres excédentaires. Sous réserve d'acceptation par TOYOTA FRANCE FINANCEMENT, 36 bd de la République 92423 Vaucresson, RCS 412 653 180, n° ORIAS 07005419 consultable sur www.orient.fr

(2) L'entretien est inclus dans la limite de 3 ans & 45 000 km (au 1^{er} des 2 termes atteint).

MATÉRIAU

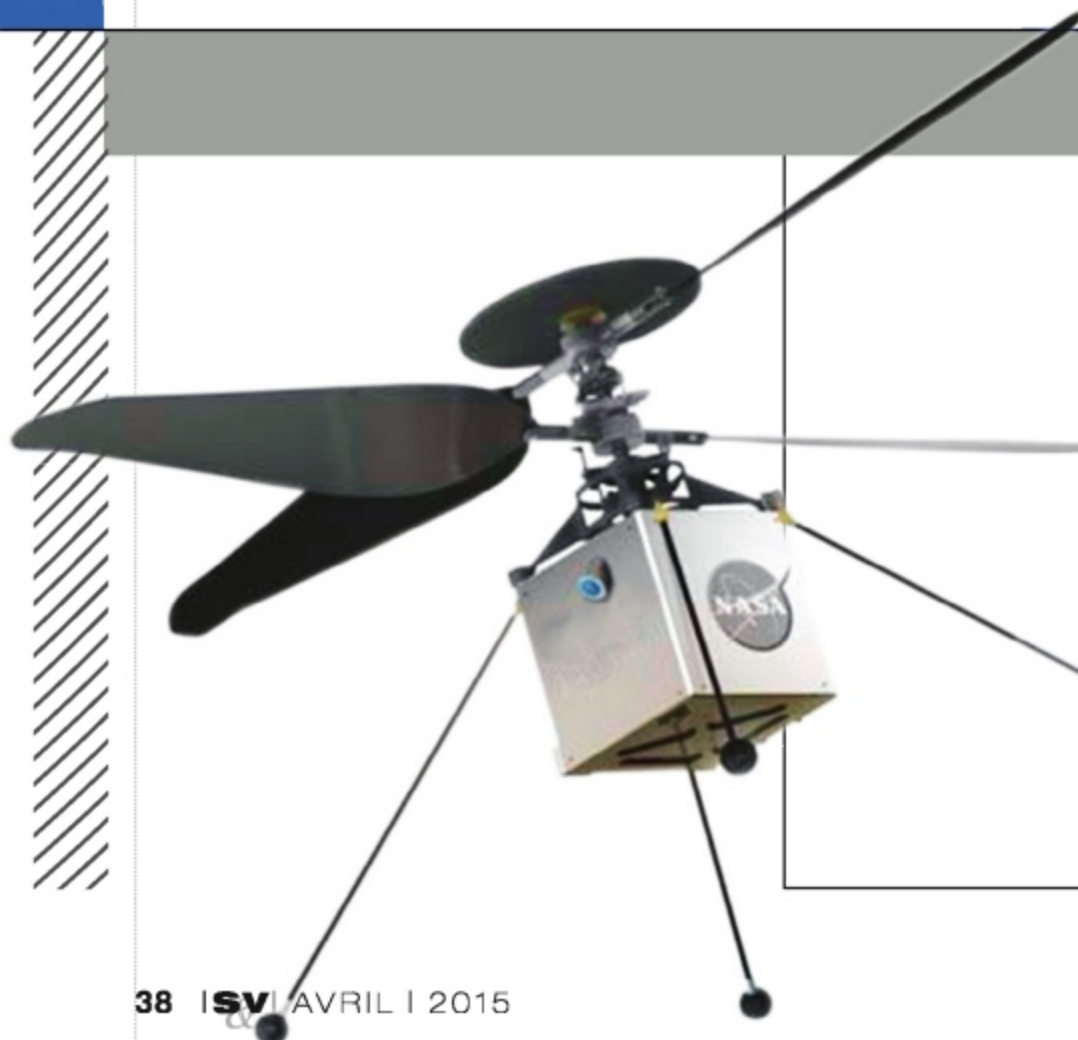
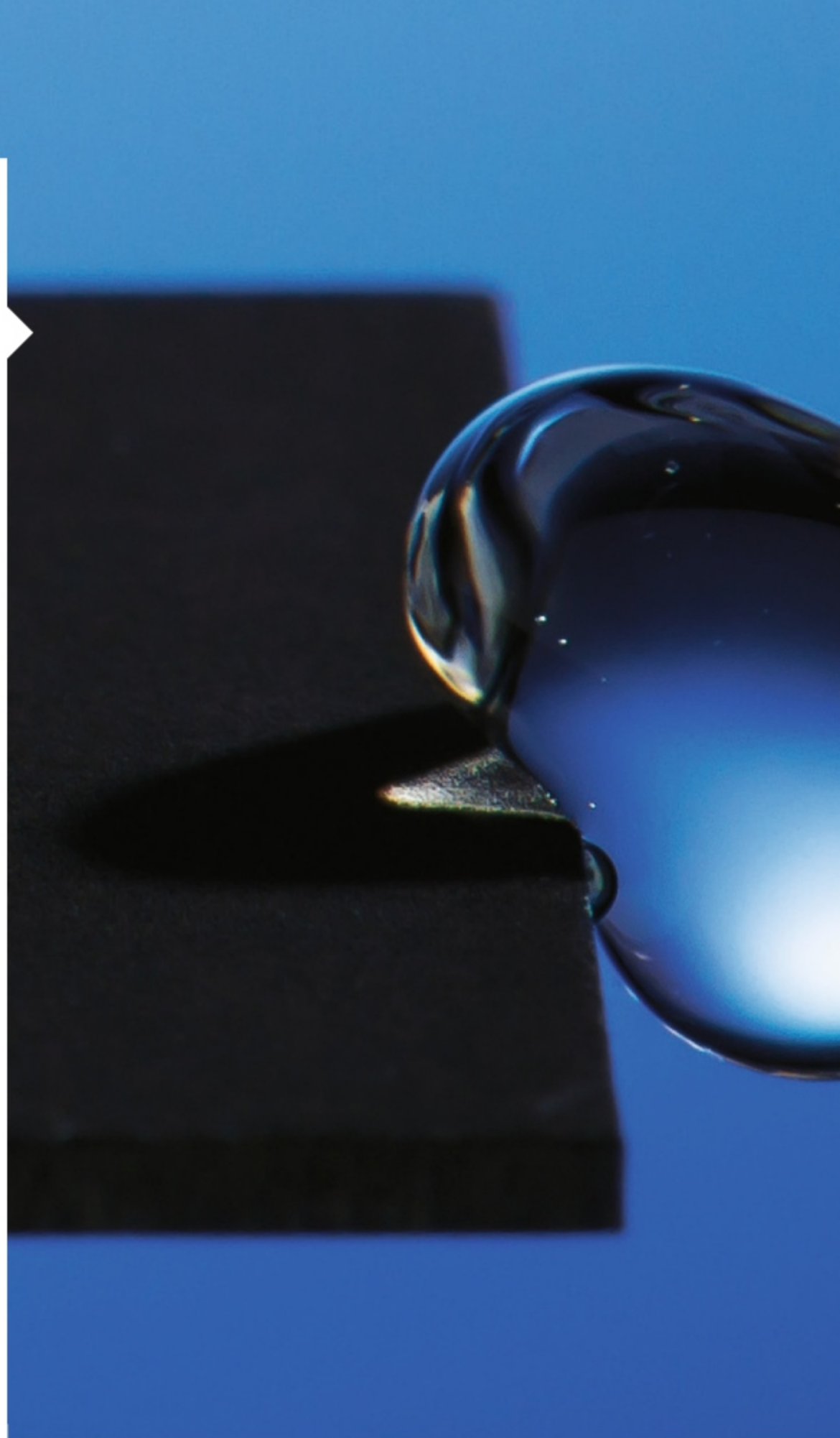
VOICI LE MATÉRIAU SUR LEQUEL L'EAU N'A AUCUNE PRISE

Des chercheurs menés par le professeur Chunlei Guo de l'université de Rochester (Etats-Unis) ont réussi à rendre une surface métallique ultra-hydrophobe. Pour y parvenir, l'équipe a utilisé un laser femtoseconde – capable d'atteindre un pic de puissance pendant 10^{-15} seconde.

Ce laser a servi à graver sur le métal des motifs à l'échelle micro voire nanométrique, soit un million de fois plus petits que le diamètre d'une goutte. Résultat, l'eau n'accroche pas : il suffit même d'incliner la surface de quelques degrés pour qu'elle roule littéralement (contre 70° pour le Téflon). Quelques gouttes suffisent ainsi à emporter d'éventuelles poussières, ce

qui fait de ce métal une surface autonettoyante. Surtout, comme la gravure est réalisée directement dans le métal, elle ne se dégrade pas au fil du temps, contrairement aux classiques revêtements hydrophobes.

Les applications envisagées sont nombreuses : éviter la corrosion du métal, y empêcher la formation de glace, réduire la friction de l'eau sur la coque des bateaux, fabriquer des collecteurs d'eau plus efficaces ou concevoir des latrines sur lesquelles rien n'adhère. Avant d'en arriver au stade industriel, la technique devra cependant être améliorée, car pour l'instant elle ne permet de fabriquer que... 5 cm^2 par heure de ce nouveau matériau ! **S.F.**



ROBOTIQUE

L'exploration martienne se dote d'un

Voici Mars Helicopter, un drone de 1 kg et 1,1 m d'envergure en prototypage à la Nasa. Il pourrait servir de guide au futur rover Mars 2020. Trois minutes de trajet par jour à l'avant du rover lui permettront de parcourir 500 m à 40 m d'altitude. "De quoi optimiser le choix de

sites à explorer ou d'échantillons à analyser et permettre un déplacement sécurisé et plus rapide du véhicule", précise Bob Balam, responsable technique du projet au Jet Propulsion Laboratory. Car chaque vol fournira des images plus précises que celles des sa-

RECYCLAGE AU SPERME

Des chercheurs de l'université de Tokyo ont montré que la laitance de saumon lyophilisée facilitait le recyclage des terres rares ! Une opération (broyage puis dissolution dans de l'acide) jusque-là très complexe. **L.Bo.**

LE CLAVIER BIOMÉTRIQUE

Chacun tape à sa façon sur un clavier ! Fort de ce constat, des chercheurs du Georgia Institute of Technology ont développé un clavier qui analyse le signal électrique produit par chaque frappe afin de reconnaître l'utilisateur. **E.T.-A.**

L'ÉLECTRODE QUI BOOSTE LES BATTERIES

Une équipe du Brookhaven National Laboratory a mis au point une électrode qui se structure toute seule : au contact d'ions, elle forme un réseau métallique permettant au courant de circuler en profondeur. De quoi augmenter la puissance des batteries. **M.F.**

ÉLECTRICITÉ

Un nano-revêtement permet d'exploser l'efficacité des lignes à haute tension

Une équipe de chercheurs suédois de l'université de technologie Chalmers vient de découvrir que le plastique isolant (polyéthylène) qui enrobe les câbles électriques à haute tension pouvait supporter des tensions nettement supérieures si on lui associait des fullerènes (C60), des nano-balles composées de 60 atomes de carbone. Leur fonction : capturer les électrons afin d'éviter qu'ils ne détruisent les liaisons chimiques du polyéthylène et ne finissent par le détériorer. A la clé : la possibilité d'augmenter la tension dans les lignes jusqu'à 26 % ! Un gain d'efficacité indispensable quand on sait que les sources d'électricité de demain (éoliennes offshore...) risquent d'être de plus en plus éloignées de leur utilisateur final. Pour y arriver, les chercheurs ont mélangé en laboratoire isolant et fullerènes avant de les soumettre à un champ électrique croissant jusqu'à ce que le plastique crépite. *"Notre objectif principal consiste à améliorer l'efficacité de la transmission électrique sans augmenter le diamètre des câbles"*, insiste Christian Müller, qui a participé aux travaux. Prochaine étape : tester le mélange à grande échelle sur des câbles complets. **E.T.-A.**

◀ Gravé à l'échelle nanométrique, ce métal est ultra-hydrophobe.

drone éclaireur

tellites et un champ de vision plus large que celui des rovers. Un panneau solaire délivrera l'énergie nécessaire pour chauffer le drone dans le froid martien et le stabiliser en vol dans l'atmosphère peu dense grâce à un rotor tournant à 2 400 tours par minute. **A.P.**

△ Grâce aux fullerènes qui composent leur gaine, la tension dans les lignes peut être augmentée de 26 %.

Exclusif

Révélations sur la 1^{re} liste des meilleurs médicaments

Des milliers de médicaments ne servent à rien

Le rappel des faits

Depuis 2011, des médecins travaillent sur une liste de médicaments "essentiels" pour soigner les Français. En effet, la Loi de santé, discutée **entre fin mars et mi-avril 2015**, devrait inclure un article selon lequel la Haute autorité de santé (HAS) devra "élaborer et valider une liste de médicaments à utiliser préférentiellement par les professionnels de santé".

Cent cinquante médicaments... deux cents, tout au plus.

Voilà le nombre nécessaire et suffisant pour traiter 95 % des maladies dont souffrent les Français.

La proposition est percutante. Elle émane d'un groupe de médecins internistes et généralistes dont *Science & Vie* a pu consulter en exclusivité le travail. Cette proposition peut même être jugée provocatrice dans un pays où plus de 5 000 médicaments sont disponibles – sous plus de

15 000 formes différentes! – et où la consommation en médicaments est de 40 % supérieure à celle observée dans les principaux pays voisins.

Pourtant, elle est extrêmement sérieuse. Et même en passe de se traduire dans la loi (voir Rappel des faits).

Pour la première fois, les agences sanitaires réunies seraient obligées – par la loi – de faire un tri dans tous les médicaments, entre ceux qui sont "essentiels" pour la bonne santé des Français... et les autres.

Le mot "essentiel" renvoie à un mouvement initié dans les années 70 par l'Organisation mondiale de la santé (OMS) pour faciliter l'accès aux soins dans les pays en voie de développement.

TROP DE SCANDALES...

Ici, rien de tout cela. La France est un pays riche, où la tendance est plutôt à "l'encombrement thérapeutique" (Igas, 2012). Aussi le concept de médicaments essentiels se traduit-il en une liste qui

151 MÉDICAMENTS SONT NÉCESSAIRES ET SUFFISANTS...

Science & Vie a eu accès à la première liste des "meilleurs" médicaments... réalisée par des médecins selon deux principes : rationalité et bonne pratique.

151 médicaments essentiels. Une étape dans une approche interniste et généraliste

... POUR SOIGNER 95% DES MALADIES DONT SOUFFRENT LES FRANÇAIS

Hypertension, diabète, rhumatismes... : 18 grandes familles de maladies ont été passées au crible.

pointe le "meilleur" et, inversement, remise l'inutile ou le dangereux. Alors, combien sont-ils, ces médicaments qui ne servent à rien : 3000, 2000 ? Impossible de le savoir avec précision. Sachant que ne sont pas concernés par le tri d'excellents traitements qui ne concernent qu'une petite frange de la population.

La liste permettra-t-elle d'en finir avec les scandales sanitaires à répétition ? Vioxx, Médiator, pilules de 3^e ou 4^e généra-

tion... A chaque fois, les données connues sur la dangerosité ou l'inutilité de ces traitements n'ont pas été prises en compte. Et des médicaments que rien ne destinait à une large prescription si ce n'est l'intérêt des laboratoires ont été distribués à grande échelle, éliminant des traitements plus anciens, souvent plus sûrs voire plus efficaces.

La liste des médicaments essentiels est-elle si complexe à réaliser ? Non. Mais

Introduction
La nécessité d'établir une liste de médicaments essentiels pour la France a été affirmée par un rapport commun IGFIGAS en juin 2012.

Méthodes
Dès juin 2011, 10 internistes membres de la SNFMI établissent leur propre liste très contrainte de 100 médicaments essentiels. Très vite des généralistes sont sollicités de la même manière, à Bobigny puis en province : 14 généralistes membres du CNGE établissent leur propre liste de 100.
La synthèse effectuée par les 10 internistes aboutit à une liste de 100 publiée (Rev Med Int 2013, 34 : 460-64). Celle effectuée par les généralistes parvient également à une liste de 100 molécules. C'est la fusion de ces deux listes qui est présentée ici (tableau I).

Résultats
Cette liste comporte 151 molécules : 49 sont communes aux internistes et aux généralistes, 51 spécifiques à chaque modèle.

Les généralistes ont d'emblée écarté de leurs listes les antibiotiques, antirétroviraux et antiparasitaires dont ils ne maîtrisent pas la prescription. Leur liste comporte plus de psychotropes, de médicaments pour la gastroentérologie, la dermatologie et l'allergie, l'asthme. Les internistes ont choisi plus d'antiparasitaires. Les choix sont partagés pour plus de 60% des molécules concernant la cardiologie et l'HTA, la rhumatologie et l'inflammation, le diabète et les antifongiques. Il y a très peu de « doublons ».
Telles qu'elles se présentent, les molécules de cette liste de 151 se retrouvent pour :

- 53 sur les 200 médicaments essentiels de M. RAPIN (1983)
- 105 sur les 381 molécules de l'AFSSAPS (en prévision de la grippe prévue fatale de 2008)
- 75 sur les 360 de la liste de l'OMS de 2001
- 52 sur les 192 molécules de la liste chinoise de 2009
- 75 sur les 184 de la liste suédoise (2013)
- 89 étaient génériques en mars 2013

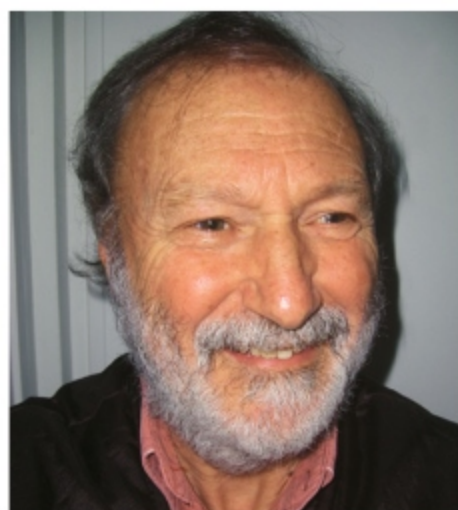
Conclusions
Le travail est en cours de validation par la méthode Delphi au sein de la SNFMI (104 volontaires) et pour la liste « généraliste » de 100 au sein du CNGE. Il est espéré que ces listes validées le soient au premier semestre 2014. Elles constitueront alors un apport « essentiel » pour la formation initiale (et continue) des médecins et à une meilleure prise en charge de la population française.

Les 151 médicaments	
Antibiotiques : 13	
Antirétroviraux : 4	
Antiparasitaires : 10	
Antipsychotiques : 4	
Antidépresseurs : 3	
Anticancéreux : 9	
Molécules à usage cardiovasculaire : 16	
Hypertenseurs : 5	
Antidiabétiques : 10	
Molécules à usage gastroentérologique et gynécologique : 12	
Anticancéreux : 5	
Molécules à usage neurologique : 4	
Molécules à usage psychiatrique : 12	
Molécules à usage gastroentérologique : 7	
Anticholinergiques : 3	
Anticonvulsifs : 6	
Anticancéreux : 10	
Diurétiques : 15	

LA VALIDATION DE LA LISTE EST EN COURS

Déjà il apparaît que certaines des grandes stars de nos ordonnances n'auront pas leur place dans la liste des médicaments essentiels.





MICHEL THOMAS
Médecin interniste à l'hôpital de Bobigny

Nous avons, à 24, fait une première sélection, basée sur la rationalité et la bonne pratique

→ elle nécessite un long travail pour parvenir à un consensus. Il a commencé en 2011, lorsqu'un premier groupe de 10 médecins, membres de la Société nationale française de médecine interne (SNFMI) s'est réuni autour du Pr Michel Thomas, interniste à la faculté de médecine de Bobigny. Parmi eux, le Pr Loïc Guillevin, président de la Commission de la transparence, instance de l'Agence du médicament chargée de rendre des avis sur les médicaments, ou le Pr Claire Le Jeune, corédactrice d'un des guides de référence sur le médicament (Guide Dalloz)...

Les 10 médecins internistes sont vite rejoints par 14 généralistes. Chacun va établir une sélection très contraignante de 100 mé-

dicaments leur *"paraissant essentiels pour traiter (en ville et/ou à l'hôpital) les pathologies observées chez l'adulte en France, en excluant les vaccins et les traitements spécifiques éventuels des maladies rares (atteignant moins de 5/10 000 habitants)"*. Tous les médicaments apparaissent par le nom des molécules actives qu'ils contiennent.

UNE ÉTAPE DÉCISIVE

Pour chaque pathologie, les médecins ont fait appel à la littérature scientifique et à leur propre expérience. *"Rationalité et bonne pratique sont donc les deux piliers de leurs choix, et il ne leur a pas été demandé de prendre en compte le prix des traitements"*, explique Michel Thomas.

Ces pionniers ont franchi une étape décisive en 2014: proposer la toute première "liste de 151 médicaments essentiels". Elle sert justement de base à un travail de validation plus large qui a lieu en ce moment même. Une centaine d'internistes, membres de la SNFMI, et une trentaine de membres du Collège national des généralistes enseignants y participent.

Déjà, c'est peu dire que des surprises apparaissent... Certaines stars des ordonnances ne semblent pas si essentielles que cela puisqu'elles ne figurent pas dans les premières versions de la liste! Et comme le montrent quelques-unes des dix maladies détaillées ici (voir encadrés), les scandales du passé n'ont pas toujours



Cholestérol

Des statines, oui, mais pas forcément celles qui sont les plus prescrites

Contre le cholestérol, les statines sont les stars des ordonnances: en France, quelque 6,4 millions de personnes s'en voient prescrire, avec près de 1 million de nouveaux patients chaque année. Le but de ces traitements n'est pas de corriger le taux de cholestérol dans le sang mais de diminuer le risque de décès prématurés et d'accidents cardiovasculaires majeurs. Or les experts s'accordent pour dénoncer le trop-plein de prescrip-

tions à des patients dont l'état de santé ne nécessite pas la prise de tels médicaments. Que dit la liste? Elle ne retient que deux statines, la simvastatine (Zocor ou autres) ou la pravastatine (Elisor ou autres), autorisées respectivement depuis 1991 et 1989. Pourtant, ce ne sont pas elles qui caracolent en tête des statines les plus remboursées dans notre pays. Exit par exemple les deux championnes: la rosuvastatine (Crestor) ou l'atorvastatine (Tahor ou

autres). Peut-être parce que si le Tahor (et autres) montre un effet statistiquement significatif sur les risques cardiovasculaires, ce n'est pas le cas sur la mortalité totale (source: *Prescrire*).

Restriction d'accès

Quant à la rosuvastatine (Crestor), les autorités de santé viennent de mettre en place, fin 2014, une restriction d'accès avec l'obligation d'un accord préalable avec la Sécurité sociale avant toute première prescription. En

cause? Son "caractère particulièrement coûteux" alors qu'elle n'apporte pas de bénéfices par rapport à la simvastatine (Zocor et autres) listée, elle, comme essentielle. A titre d'exemple, en 2012, les ventes du Crestor représentaient, au total, 30% des volumes de statines prescrits en France, contre seulement 3,9% au Royaume-Uni et... 0,5% en Allemagne!



Diabète

Les nouveaux médicaments ne sont pas convaincants

Contre le diabète de type II qui touche plus de 3 millions de Français, la liste ne retient en l'état que cinq molécules. Leur présence n'est pas une surprise, tant leur efficacité est depuis longtemps reconnue. Mais ce qui saute aux yeux, c'est l'absence de tous les médicaments antidiabétiques arrivés sur le marché dans les années 2000 et supposés innovants, comme les gliptines (Januvia, Xeluvia). Il faut reconnaître que le dossier sur les risques associés à l'utilisation des

gliptines est chargé (réactions d'hypersensibilité grave, infections urinaires, pancréatites), alors que leur efficacité n'est pas supérieure en termes de prévention des complications du diabète (accidents cardiovasculaires, insuffisances rénales) à la bonne vieille metformine, mise sur le marché en 1959.

L'exemple du Médiator

La France se distingue pourtant par sa forte consommation de ces médicaments (15 % de la prescription, vendus seuls

ou sous forme d'associations), deux fois supérieure à celle du Royaume-Uni ! Faut-il ici rappeler l'histoire du Médiator, dont jamais l'effet sur le diabète n'a été démontré et dont l'utilisation est à l'origine de maladies cardiaques ? Ou la mésaventure, plus récente encore, des glitazones (comme Actos), médicaments contre le diabète vendus à partir de 2002 et pour lesquels il aura fallu attendre 2011 pour que les autorités

Ils ne sont pas dans la liste

Gliptines
(Januvia, Xeluvia)...

Ils y sont

Metformine
Glibenclamide...

sanitaires se décident à les retirer du marché, en raison notamment d'une augmentation du risque de cancer de la vessie ?



Ils ne sont pas dans la liste

Rosuvastatine
(Crestor)
Atorvastatine
(Tahor ou autres)...

Ils y sont

Simvastatine
(Zocor ou autres)
Pravastatine
(Elisor ou autres)

Dépression

Certains antidépresseurs sont sur la sellette

Parmi les antidépresseurs, la liste retient des inhibiteurs sélectifs de la recapture de la sérotonine (ISRS) très classiques, comme la fluoxétine (Prozac ou autres), la sertraline (Zoloft ou autres), mais pas le citalopram (Sero-gram...) ni l'escitalopram (Seroplex...). Ces deux derniers font l'objet d'un signalement par l'Agence européenne de médicament pour leurs risques cardiaques plus importants que les autres

ISRS. Absente également, la duloxétine (Cymbalta) dont l'efficacité ne dépasse pas les autres ISRS mais qui fait l'objet d'un plan de gestion des risques également pour un surcroît d'effets indésirables et qui pourtant est toujours prescrite. Sachant que, en cas d'épisode dépressif léger à modéré, les autorités de santé ne recommandent pas de suivre un traitement médicamenteux... mais une psychothérapie.



Ils ne sont pas dans la liste

Citalopram
(Sero-gram ou autres)
Duloxétine
(Cymbalta)...

Ils y sont

Fluoxétine
(Prozac ou autres)
Sertraline
(Zoloft ou autres)...

Arthrose

Les plus populaires passent à la trappe

La plupart des 10 millions et quelques Français qui souffrent d'arthrose connaissent leurs noms. Pourtant, les médicaments à base de diacéréine (Art 50, Zondar), de glucosamine (Voltaflex ou autres), de chondroïtine (Chondrosulf ou autres) ou de piasclédine (à base d'insaponifiables de soja et avocat) brillent par leur absence dans la liste des médicaments essentiels. Pourquoi ? Parce que certains de ces "antiarthrosiques symptomatiques d'action lente" (AASAL) exposent à des effets indésirables non négli-

geables. Parce que, comme le souligne la Commission de transparence du médicament : *"leur efficacité en termes de réduction de la douleur et d'amélioration de la capacité fonctionnelle n'ayant pas été établie par rapport au placebo, elles n'ont pas leur place dans la prise en charge de l'arthrose de la hanche comme du genou"*. Et parce que, comme l'a noté la Haute autorité de santé, *"rien ne démontre"* que l'utilisation des AASAL limitent l'exposition des patients aux effets indésirables des

anti-inflammatoires non stéroïdiens (AINS) – un argument pourtant régulièrement avancé. Alors, comment ne pas s'étonner que la chondroïtine figure encore à la 6^e place des médicaments les plus remboursés en 2014 par les mutuelles (30 millions d'euros par la Mutualité Française).

La diacéréine, enfin

Mais l'histoire d'une substance pourrait souligner à elle seule la nécessité d'une liste de médicaments essentiels : la diacéréine. Autorisée depuis le début des années 90 et

toujours en vente, cette molécule a fait l'objet de nombreuses études et d'avis officiels très négatifs : non seulement le service médical de cette substance est "insuffisant", mais sa tolérance est très mauvaise – elle induit des diarrhées chez environ 30 % à 40 % des patients, allant parfois jusqu'à provoquer des hémorragies digestives. Or, contre toute logique, pendant de trop longues années, elle a occupé une bonne place parmi les 100 traitements les plus remboursés par la Sécurité sociale ! Aujourd'hui,



LARS L. GUSTAFFSON
Professeur de pharmacologie clinique (Karolinska Institut, Stockholm)

Depuis 2001, les laboratoires font pression pour inclure leurs produits

→ servi de leçon : des médicaments aux effets plus ou moins délétères continuent de se vendre...

Reste maintenant à passer à un protocole officiel. C'est ce que devrait permettre la loi. *"Une première liste officielle pourrait voir le jour dès 2016"*, estime Loïc Guillevin, dont la Commission de la transparence sera l'un des rouages principaux.

Optimiste ? Peut-être. Sauf que cette révolution des "médicaments essentiels", un pays l'a déjà testée avec succès : la Suède. *"Dans la région de Stockholm, nous avons établi dès 2000 une liste de médicaments essentiels, la 'liste sage', souligne le Pr Lars L. Gustaffson, instigateur du projet. Et depuis quinze*

ans, nous constatons que pour soigner la plupart de nos patients, 200 médicaments suffisent !"

Largement diffusée auprès des médecins et des patients, cette "liste sage" a bouleversé les pratiques. Détail important, elle n'est pas opposable : libre au prescripteur de choisir un traitement qui n'y figure pas. Mais selon les dernières estimations (2012), à Stockholm, près de 90 % des ordonnances sont conformes à la liste. Sachant que chaque année ces préconisations évoluent au gré de l'arrivée de nouvelles "vraies" innovations et de l'actualisation des données scientifiques.

Pourquoi, alors, ne pas transposer la sélection suédoise aux autres pays intéressés par la dé-

Hypertension

Pas tous les "sartans"

Contre l'hypertension, la liste retient des diurétiques hypervendus comme le furosémide (Lasilix ou autres) ou la spironolactone (Aldactone ou autres). Mais aussi des médicaments plus récents comme les "sartans", basés sur un antagoniste de l'angiotensine II, responsable de la contraction des artères. S'ils sont utiles pour certains patients, tous ne se valent pas. Ainsi, l'olmésartan (Alteis, Olmetec et autres) n'est pas sur la



Ils ne sont pas dans la liste

Diacéréine
(Art 50, Zondar)
Glucosamine
(Voltaflex ou autres)
Chondroïtine
(Chondrosulf ou autres)...

Ils y sont

Paracétamol
Ibuprofène
Naproxène...

même si le nombre des prescriptions a fortement diminué, elle n'a toujours pas disparu des armoires à pharmacie.

Infarctus, AVC...

Des petits nouveaux qui ne sont pas essentiels

Pour éviter la formation d'un caillot dans un vaisseau sanguin, ce qui peut avoir des conséquences potentiellement mortelles, les patients peuvent compter sur différents types d'anticoagulants. Aucun de ceux présentés comme les "nouveaux anticoagulants oraux" (Naco), arrivés sur le marché à partir de 2011, n'est pourtant présent dans la liste. D'abord promus comme plus simples d'utilisation, les dabigatran (Pradaxa), rivaroxaban (Xarelto) ou apixaban (Eliquis) ont

connu un succès commercial immédiat. Sauf que depuis, le vent a tourné. Au vu des nombreuses données désormais disponibles, l'amélioration du service médical rendu par rapport aux antivitamines K comme la warfarine est jugée nulle pour Pradaxa et Xarelto et mineure pour Eliquis. Trois médicaments qui, en outre, exposent à des risques d'hémorragie contre lesquels il n'y a pas d'antidotes, contrairement aux autres anticoagulants.



Ils ne sont pas dans la liste

Dabigatran
(Pradaxa)
Rivaroxaban
(Xarelto)
Apixaban
(Eliquis)...

Ils y sont

Antivitamines K
(warfarine),
Héparines...



Ils ne sont pas dans la liste

Olmésartan...

Ils y sont

Furosémide (Lasilix ou autres) - **Spironolactone** (Aldactone ou autres) - **Losartan** (Cozaar ou autres) - **Candésartan** (Atacand ou autres)...

liste. Sous surveillance de l'Agence américaine du médicament (FDA) et de la Caisse nationale d'assurance maladie, il est suspecté d'affecter l'intestin (entéropathies chroniques).

Troubles gastriques

Plutôt les originaux que leurs copies

Pourquoi la liste considère-t-elle l'oméprazole (Mopral ou autres) comme essentiel, mais pas l'ésoméprazole (Inexium) pour traiter les troubles gastriques (ulcère de l'estomac, inflammation de l'œsophage)? Parce que ce dernier, qui est pourtant l'un des médicaments les plus vendus en France, est un "me too" (une copie): le brevet de l'oméprazole étant arrivé à échéance, l'ésoméprazole, qui en est très proche, est arrivé opportunément sur le marché.

L'affaire est connue, l'Inspection générale des affaires sociales l'écrivait noir sur blanc dans un rapport en 2011: "Suite à l'arrivée sur le marché du 'me too' Inexium, les médecins ont, sous l'influence des visites médicales, reportés leur prescription de Mopral vers Inexium." Et cela a entraîné "des coûts supplémentaires (une boîte d'Inexium valant deux fois plus que celle contenant un générique du Mopral), sans aucune plus-value thérapeutique". Les Espagnoles consomment



Ils ne sont pas dans la liste

Esoméprazole
(Inexium)...

Ils y sont

Oméprazole
(Mopral ou autres)...

à 75 % de l'oméprazole alors qu'en 2011 la molécule ne représentait pas plus de 32 % dans notre pays.

Infections bactériennes

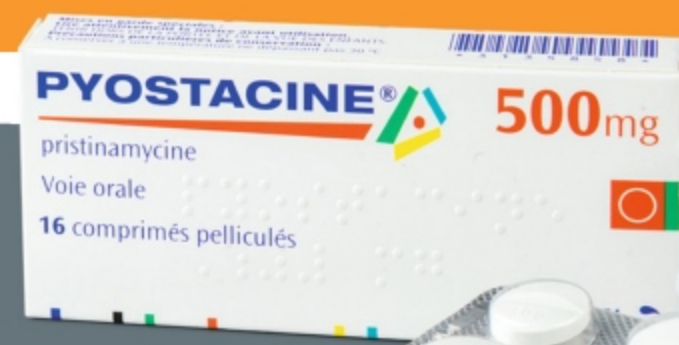
Le blockbuster se retrouve carrément blacklisté

La pristinamycine est l'un des médicaments les plus prescrits en France, sous le nom commercial de Pyostacine (19^e et 23^e places des spécialités sous prescription les plus vendues en quantité et en valeur) n'apparaîtra pas

dans la liste. L'absence d'un tel "blockbuster" commercialisé depuis les années 70 s'explique par des indications restreintes en 2012, faute d'efficacité démontrée dans certaines situations. De plus, elle expose à des

effets indésirables cutanés graves. A la place, les experts ont proposé et massivement validé la vancomycine, molécule moins ancienne mais plus généralement active sur des bactéries qui provoquent de nombreuses

infections complexes, les staphylocoques résistants à la méticilline. Seul défaut : la vancomycine existe en France uniquement sous forme d'injection et pas en comprimés ou sachet.



Anti-inflammatoires

La star déchue du podium

Classé à la 18^e place des produits les plus vendus en quantité, c'est le plus populaire des anti-inflammatoires non stéroïdiens (AINS). Présent sur la liste initiale, le diclofénac (Voltarene) n'y sera finalement pas. Depuis 2012, des études de suivi et une synthèse de plus de

600 essais cliniques ont montré une augmentation des effets indésirables cardiovasculaires (dont infarctus du myocarde, AVC), surtout à doses élevées (150 mg par jour) et en cas de prise sur une longue période. La fréquence de ces effets est voisine de

celle observée avec d'autres anti-inflammatoires, les coxibs, tels le célécoxib (Celebrex), l'étoricoxib (Arcoxia), le parécoxib (Dynastat), traitements qui n'apparaissent pas non plus dans la liste.



La fin de l'innovation ?

C'est une sentence souvent entendue. L'industrie pharmaceutique ne proposerait plus de réelles innovations. Sauf que l'avenir s'éclaircit. De véritables révolutions se préparent. Contre les cancers du sang, le diabète ou les allergies, par exemple, les médecins s'attendent à voir rapidement émerger des thérapies nouvelles. Auront-elles leur place dans une liste restreinte à 200 médicaments essentiels ? Oui, à coup sûr... si leur efficacité surpasse celle des traitements déjà disponibles. A l'inverse, les fausses innovations qui "détournent une partie des ressources des financeurs (assurance-maladie, complémentaires et patients) vers des traitements plus coûteux sans valeurs thérapeutiques ajoutées (...)" (lgas, 2011) seront écartées d'emblée.

→ marche ? "La sélection doit être réalisée par des experts qui travaillent dans le pays où elle sera utilisée. Simplement parce que cela doit venir de la base, pour que les médecins suivent les recommandations de collègues en qui ils ont confiance !"

Pourtant, la "liste sage" n'a pas fait l'unanimité au départ en Suède ! "Nous avons dû faire face à de nombreuses réticences, se souvient le médecin suédois. Plus d'un tiers de nos collègues estimaient qu'ils

choisissaient déjà les meilleurs médicaments... Et puis, finalement, le concept a été accepté par tous."

Quid des industriels ? "Depuis 2001, ils font pression pour y inclure des médicaments spécifiques, souligne encore Lars L. Gustaffson. Mais nous avons toujours suivi les principes scientifiques que nous nous sommes fixés."

Et en France, qu'en pensent les laboratoires ? Philippe Lamoureux, directeur général du Leem, l'instance représentative

Ils ne sont pas dans la liste

Pristinamycine
(Pyostacine
ou autres)...

Ils y sont

Vancomycine
Amoxicilline
(Clamoxyl
ou autres)
Ofloxacin
(Ofloset
ou autres)...

Ils ne sont pas dans la liste

Diclofénac (Volta-
rene ou autres)
Célécoxib (Celebrex)
Étoricoxib (Arcoxia)
Parécoxib
(Dynastat)...

Ils y sont

Ibuprofène...

Maladies neurologiques

Aucun médicament n'apparaît efficace contre l'Alzheimer...

Dans la liste des médicaments essentiels à visées neurologiques, se trouvent des traitements contre l'épilepsie ou la maladie de Parkinson... mais aucun contre la maladie d'Alzheimer qui, pourtant, touche près de 900 000 personnes en France.

Une absence pas si surprenante si l'on se réfère à l'avis très sévère du mensuel indépendant *Prescrire*, qui a réalisé une étude à partir des données de l'assurance-maladie. D'où il ressort que les quatre médicaments autorisés, mémantine (Ebixa), rivastigmine (Exelon), donépézil (Aricept), galantamine (Reminyl),

exposent tous à des effets indésirables d'une gravité disproportionnée par rapport à leur efficacité, qui s'avère minime et transitoire.

De plus, les risques d'interactions avec d'autres médicaments (traitements cardio-vasculaires, neurolep-

tiques...) chez des personnes âgées sont potentiellement très importants.

Ils y sont

Aucun

Ils ne sont pas dans la liste

Mémantine
(Ebixa)
Donépézil
(Aricept)...



de l'industrie pharmaceutique en France, juge que cette liste va "compliquer la situation".

LES AVIS, ÇA SUFFIT !

Pour lui, "il existe déjà assez de documents officiels comme les avis de la Commission de la transparence avec le Service médical rendu (SMR) et l'Amélioration du Service médical rendu (ASMR) de chaque médicament, ou le guide des bonnes pratiques de l'Agence nationale de sécurité du médi-

cament (ANSM), ou encore les recommandations de la Haute autorité de santé"... Suffisant, vraiment ? Peut-être pour les spécialistes. Et encore ! Le message a bien du mal à arriver jusqu'aux patients. Une seule liste pourrait mettre tout le monde d'accord...

Mais c'est surtout le statut de la liste qui soucie les industriels. "Son absence de valeur juridique pourrait nous poser problème", note Philippe Lamoureux. Ce qu'ils redoutent ? Ne pas pouvoir l'attaquer en jus-

tice s'ils sont en désaccord et que la liste reste "intouchable" comme aujourd'hui les avis de la Commission de transparence.

Le vote de la loi marquera l'entrée de la liste dans l'arène officielle ! Elle ne manquera pas d'y susciter des polémiques, avec en toile de fond l'épineuse question du trou de la Sécurité sociale. Mais une chose est sûre : les bases sont là et rien ne devrait empêcher un grand "big bang" de la pharmacopée française.

C. Tourbe, avec H. Rambert

Aller plus loin

Sur science-et-vie.com :

- Lien vers la "liste sage" suédoise et ses conséquences sur les prescriptions des médecins.
- Lien vers le rapport de l'Igas sur le médicament.
- Lien vers le programme du colloque de Bobigny : "Sous-médicalisation, surmédicalisation, surdiagnostics, surtraitements", les 17 et 18 avril 2015.

Les ados accros aux jeux vidéo Avec 4,3 milliards de dollars de chiffre d'affaires, Activision est leader sur le marché du jeu vidéo

gus et toxicomanes (OFDT).
■ Les garçons plus joueurs. Quel que soit leur âge, les garçons sont à chaque fois plus nombreux que les filles à passer du temps sur leur ordinateur ou leur console : 94 % de joueurs et 84 % de joueuses au collège, 92 % de joueurs et 78 % de joueuses au lycée.

et les jeux d'aventure (Assassin's Creed, Tomb Raider). En revanche, la pratique de jeux de gestion dans lesquels il s'agit de mener une mission comme gérer une entreprise, un commerce ou un hôpital (les Sims) est plus féminine. Les garçons semblent par ailleurs davantage attirés par les jeux pour adultes que l'on reconnaît au logo

capacités de jeu n'ont pas de délai de latence. Les joueurs de jeu vidéo ont une capacité de concentration accrue. Les joueurs de jeu vidéo ont une capacité de concentration accrue.

Sortie de nouveaux jeux multijoueurs Se créer un avatar modifie la personnalité des joueurs

Les aficionados des jeux de rôle en ligne massivement multijoueur (acronyme MMORPG en anglais) qui, cette année encore, ont fait l'objet de sorties dignes de *blockbusters* au cinéma, vivent en moyenne vingt heures par semaine dans leur monde virtuel. Et ces jeunes adultes qui passent l'équivalent de la moitié d'une semaine de travail à arpenter des contrées imaginaires sont aujourd'hui des millions.

Le rappel des faits

En novembre 2014, sortait *Warlords of Draenor*, la nouvelle édition de *World of Warcraft*, qui a passé le cap des 10 millions de joueurs ; ainsi que *Call of Duty - Advanced Warfare* : 6 millions de joueurs. A la fin 2014, le chiffre d'affaires du secteur des jeux vidéo était de 62 milliards d'euros (2,7 milliards en France), devant celui de la musique.

Leurs escapades dans la réalité virtuelle se font, le plus souvent, sous la forme d'un avatar, double numérique qui exterminera des ennemis, résoudra des énigmes, nouera des alliances...

UNE PREUVE EXPÉRIMENTALE

Ces dernières années, psychologues, anthropologues et sociologues ont multiplié les enquêtes sur le comportement des avatars dans les MMORPG. Soit en infiltrant ces mondes pour y effectuer mesures et observations, soit en interrogeant les joueurs. Leurs résultats sont clairs : la vie des avatars rejaillit bel et bien sur celle des joueurs dans le monde réel.

En 2014, Karolien Poels, spécialiste des jeux en ligne à l'université d'Anvers (Belgique), s'est penchée sur l'influence de *World of Warcraft* sur les perceptions, le langage et les rêves des joueurs. Sa conclusion : "Jouer de manière répétée et intensive peut influencer la manière de percevoir les objets, les sons et les personnes dans la vie de tous les jours.

Certains éléments du jeu peuvent également s'immiscer dans les conversations et les rêves."

Jeremy Bailenson (université Stanford, Etats-Unis) a, lui, montré que les avatars peuvent carrément modifier les comportements des joueurs. Il a conçu un monde virtuel "laboratoire" composé d'une pièce et d'un miroir. Après s'être vus attribuer un avatar plus ou moins grand et séduisant, les joueurs devaient se regarder pendant 90 secondes dans le miroir avant de rencontrer une autre personne qui entraînait dans le jeu. Quand les chercheurs ont ensuite confronté les joueurs dans le monde réel à une liste de partenaires potentiels, ceux qui avaient bénéficié

LE CHOIX DE L'AVATAR A DES EFFETS SUR LE COMPORTEMENT

Un joueur dont l'avatar est plus grand sera plus agressif dans ses négociations dans le monde réel : une influence appelée "effet Proteus".





Les avatars s'imprègnent aussi de la personnalité des joueurs

Le travestissement permis par les avatars garde, fréquemment, une trace de la personnalité des joueurs. *“Les joueuses incarnent le plus souvent des personnages orientés vers l'aide aux autres, les joueurs choisissent en général des personnages plus offensifs”*, relève Vincent Berry (université Paris 13 Nord). Deux chercheurs de l'université de York ont même montré qu'il était possible de retrouver certains traits de caractère des joueurs en analysant l'apparence de leurs avatars. Et les avatars de millions de joueurs dans le monde dissimulent un large éventail de personnalités : le jeu vidéo ne concerne pas uniquement les adolescents, qui représentent moins de 20 % des joueurs (la moyenne d'âge est d'environ 31 ans). Par ailleurs, 48 % des joueurs sont des joueuses.

L.C.

UN JEU PEUT MÊME CRÉER DE FAUX SOUVENIRS

Le cerveau est manipulé par la vie dans le jeu, car les connexions cérébrales se modifient selon les expériences vécues, qu'elles soient réelles ou virtuelles.

cié d'un avatar séduisant choisissaient plus souvent que les autres les personnes les plus attirantes. Et ceux dont les avatars étaient plus grands étaient plus agressifs au cours de négociations dans le monde physique.

Confiance en son charme ou en son autorité : les avatars laissent donc des traces dans la réalité. Cette transformation des comporte-

ments réels induite par les caractéristiques des avatars est appelée “effet Proteus”, du nom du dieu grec adepte de la métamorphose.

Autres exemples : si l'avatar a la capacité de voler, comme un superhéros, le joueur aura plus facilement tendance à aider les autres dans le monde réel après une séance de jeu. Le fait de présenter à de jeunes

adultes une version numérique vieillie d'eux-mêmes les poussera à épargner davantage, comme si la vision de ce “moi” futur rendait inconsciemment plus tangible l'avenir. Ou encore, des personnes ayant participé à l'abattage d'un arbre virtuel sont plus réceptives aux discours environnementaux et limitent machinalement leur utilisation de papier.

LE CERVEAU NE TRIE PAS

Chez des enfants, il est même possible de générer de faux souvenirs : un jeu simplifié montrant une représentation d'eux-mêmes en train de nager avec des cétacés suffit à leur faire croire, plus tard, avoir vraiment vécu cette expérience.

Pas de doute : une fois l'écran éteint, les mondes virtuels continuent donc d'influencer les joueurs. La plasticité cérébrale, c'est-à-dire les modifications des connexions cérébrales en fonction des expériences vécues, fonctionnerait aussi quand celles-ci sont vir-

tuelles. Une rencontre avec la représentation 3D d'un individu active peu ou prou les mêmes réseaux de neurones qu'un vrai face-à-face.

Façonné par des millénaires de confrontation avec le réel, le cerveau applique au virtuel le même traitement de l'information. Et se laisse mystifier par la vie dans le jeu.

Au risque de préférer les expériences virtuelles à la réalité ? Pas forcément. *“Les joueurs se connaissent et finissent par se rencontrer dans la vie*, explique, au contraire, Vincent Berry, à l'université Paris 13 Nord. *Pour ce qui est de la constitution de groupes d'amis, les jeux sont même une ressource importante.”*

Spécialiste des comportements chez Ubisoft, le psychologue Nick Yee a, lui, interrogé 115 joueurs sur leur partenaire : 60 % ont avoué qu'ils n'auraient jamais entamé de relation avec lui s'ils s'étaient d'abord rencontrés... en vrai.

Lionel Cavicchioli

plongée dans l'enfer de Guantanamo
Torture : la CIA a menti sur la gravité des sévices infligés
La sénatrice américaine Dianne Feinstein a présenté un rapport accablant sur les pratiques de la CIA après le 11-Septembre.
L'agence a eu recours à des techniques d'interrogatoire pires que pré-tendu. Les tortures...
Contrairement à ce qu'elle assurait...
coups, humiliations, privation de sommeil, station debout et musique assourdissante.

Rapport sur les méthodes d'interrogatoires de la CIA

La torture pousse à avouer n'importe quoi

Simulations de noyade, privation de sommeil pendant près de huit jours, isolement de longue durée...

Ce n'est là qu'un maigre échantillon des sévices physiques et psychologiques infligés par la CIA à au moins 39 captifs dans sa lutte antiterroriste post-11 septembre. Objectif avoué de l'agence américaine : provoquer chez

ces prisonniers "l'extrême faiblesse, la désorientation et l'effroi" – on parle d'état de "résignation acquise" – pour mieux leur arracher des informations utiles et possiblement vitales.

Un très mauvais calcul, au regard des connaissances actuelles en psychologie cognitive ou encore des témoignages recueillis au fil des conflits armés.

"De nombreuses preuves indirectes montrent l'inefficacité de la torture quand il s'agit d'obtenir des informations fiables", lance Pär-Anders Granhag, psychologue spécialiste des interrogatoires à l'université de Göteborg (Suède).

Car les conditions extrêmes de ces interrogatoires déclenchent un certain nombre de phénomènes psychologiques. "Ne voyant pas d'autre moyen de survivre à l'épreuve, l'individu va vouloir échapper à cette situation douloureuse en répétant ce que l'interrogateur désire entendre..."



DES PRATIQUES INSTITUTIONNALISÉES...

Les techniques appliquées visent à obtenir, par des sévices physiques ou psychiques, la "résignation acquise" de détenus, comme ici à Guantánamo.

même si ces informations sont fausses", éclaire Julia Shaw, psychologue criminologue à l'université du Bedfordshire (R.-U.). Une déviance constatée tout au long de l'histoire millénaire de la torture.

PERTES DE MÉMOIRE

D'autres perturbations cognitives entrent en ligne de compte. En particulier, les effets de la privation de sommeil sur la mémoire ont été largement démontrés. Par exemple, une étude publiée en 2004 par l'université de Yale avait établi, chez 509 soldats en stage de survie, la perte de mémoire visuelle suite à une privation de sommeil et de nourriture de 48 heures. Comme le relève Pär-Anders Granhag, "une personne privée de sommeil pendant plusieurs

jours aura toutes les difficultés à se remémorer quels complices assistaient, quatre ans auparavant, à une réunion spécifique".

D'autant plus que "divers travaux montrent que la privation de sommeil augmente la suggestibilité des personnes interrogées", souligne Allison Redlich, de l'université d'Albany (E.-U.). En effet : la mémoire ne consiste pas à retrouver un événement figé dans le passé mais à le reconstituer à partir de fragments pouvant être distordus. "Les personnes soumises aux conditions extrêmes d'un interrogatoire deviennent influençables et confuses, insiste Julia Shaw. Ces situations inhibent la mémoire et augmentent la production de faux souvenirs."

De toute évidence, les méthodes coercitives ne

Le rappel des faits

Le 9 décembre 2014, le sénat américain rend public son rapport sur les "techniques d'interrogatoire renforcées" de la CIA de 2002 à 2009. Y sont dénoncés des actes de torture, "inefficaces", qui "ont abouti régulièrement à des informations fabriquées". **Le 11 février 2015**, des eurodéputés réclament qu'une enquête vérifie si des États membres ont participé à ces procédures illégales.



... SANS RÉSULTATS

Les interrogatoires "musclés" inhibent la mémoire des individus et aboutissent le plus souvent à la "révélation" d'informations très peu fiables.

peuvent aboutir à des informations utilisables. "Le cas de Khalid Cheikh Mohamed [cerveau du 11 septembre 2001, ndlr], soumis à plus de 180 simulations de noyade, est souvent présenté comme un succès dans la traque de Ben Laden, alors qu'à y regarder de près il n'a fourni que des fausses pistes, rétablit Pär-Anders Granhag. Tous les grands maîtres de l'interrogatoire témoignent que les approches non-coercitives sont les plus efficaces. Ces approches sont non seulement respectueuses mais aussi tactiques."

En l'occurrence, les milieux du renseignement font de plus en plus appel aux sciences cognitives.

Vincent Nouyrigat



Un climatosceptique payé par un lobby

Non, le réchauffement n'est pas dû au Soleil

La révélation du mensonge du chercheur américain Willie Soon sur sa prétendue indépendance scientifique a scandalisé l'opinion publique américaine. Cela dit, ses arguments sont-ils fondés? A l'aune de ce que l'on sait aujourd'hui, le Soleil a-t-il un rôle dans le réchauffement de la planète?

Déjà, il faut savoir que tous les liens entre Soleil et climat sont loin d'être élucidés. Pascal Yiou, du Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement (LSCE, Saclay), souligne qu'ils font même l'objet d'une recherche très active, à laquelle d'ailleurs Willie Soon ne par-

ticipe pas... Mais sur quoi se fonde donc l'argumentation du chercheur américain? Il dit avoir trouvé des corrélations entre l'activité solaire et deux paramètres du climat (la température de l'Arctique et une partie de la circulation océanique).

LE CO₂ PLUS DÉTERMINANT

Or, même en supposant que ces corrélations – contestées par d'autres scientifiques – sont vraies, on ne peut pas en déduire, comme il l'écrivait dans un article en 2009: "Ceci invalide l'hypothèse que le CO₂ est une cause majeure du changement climatique." Car, comme le rappelle

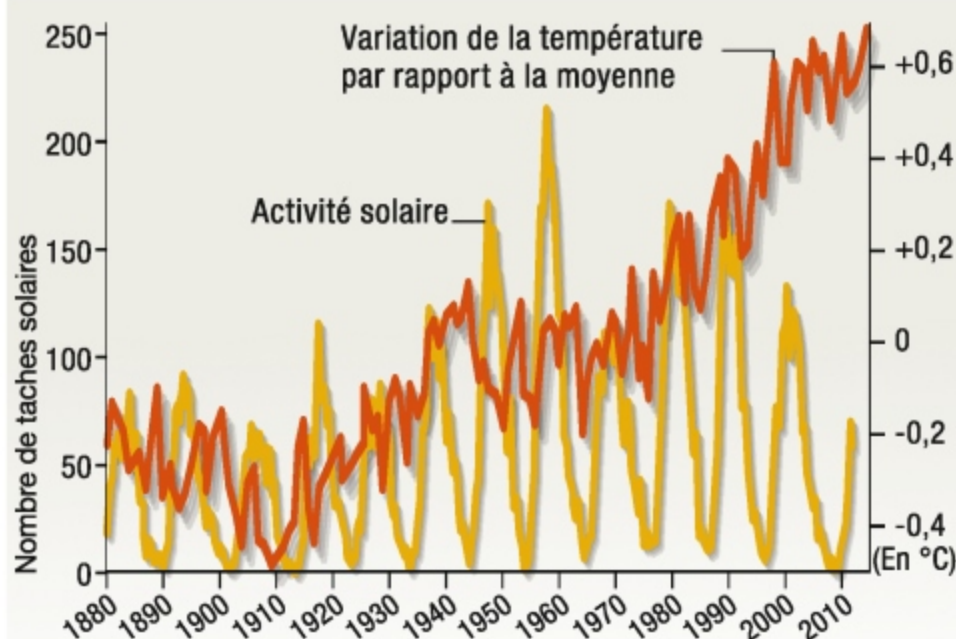
Valérie Masson-Delmotte, elle aussi au LSCE, "dans l'état des connaissances actuelles, il est estimé que l'activité solaire a joué un rôle dans le réchauffement du XX^e siècle, mais modeste – environ 10 fois moins important que le CO₂. Surtout, le Soleil ne peut pas expliquer à lui seul le réchauffement que connaît la planète depuis le milieu du XX^e siècle". Autrement dit, que le Soleil ait un impact sur la montée du thermomètre n'empêche en rien le CO₂ que nous envoyons dans l'atmosphère d'être devenu, depuis cinquante ans, le facteur dominant.

Yves Sciama

Le rappel des faits

Janvier 2015: Willie Soon, qui soutient que le Soleil induit le réchauffement climatique, finit ainsi un article: "Les auteurs déclarent qu'ils n'ont aucun conflit d'intérêt."

21 février: le *New York Times* révèle qu'il a reçu 1,2 million \$ d'industriels des énergies fossiles.



△ A partir de 1960, les deux courbes se dissocient nettement: le Soleil ne peut justifier à lui seul la hausse des températures.

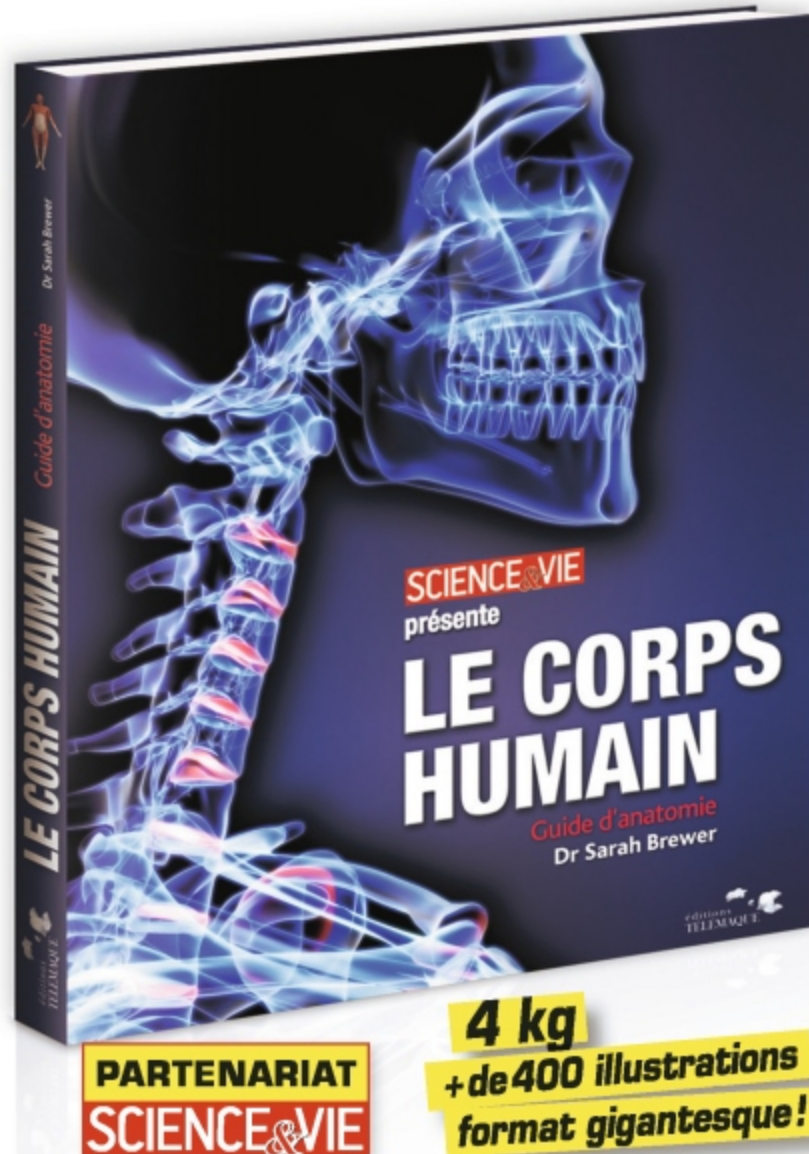
Prix public: 80€
76€
RÉDUCTION SPÉCIALE -5%
LIVRAISON RAPIDE COLISSIMO OFFERTE

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



PARTENARIAT
SCIENCE & VIE

4 kg
+ de 400 illustrations
format gigantesque !

100 % légal



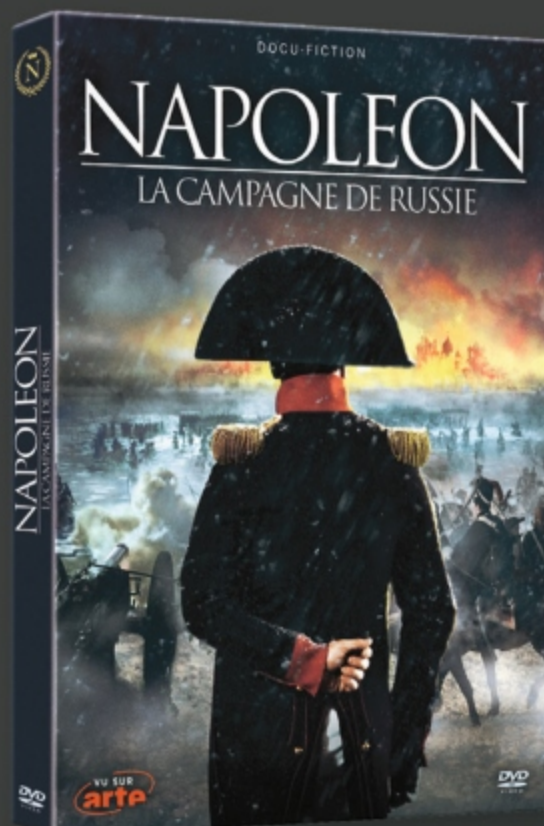
Spécial anti PV !

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.

Outil d'aide à la conduite Inforad v6 - 49,90 €

MODULE GPS : SIRF STAR III 20 CANAUX. ADAPTATEUR ALLUME-CIGARE USB. CÂBLE USB / MINI USB. TEMPS DE RÉACTUALISATION : 1 SECONDE. ALARME VOCALE ET VISUELLE. PASTILLE DE FIXATION. AUTONOMIE DE LA BATTERIE 7 H. DIM. 9,9 x 6,6 x 2,4 CM. POIDS : 94 G. MISE À JOUR GRATUITE. NORME NF. GARANTIE 2 ANS. ÉCO-PARTICIPATION INCLUSE.

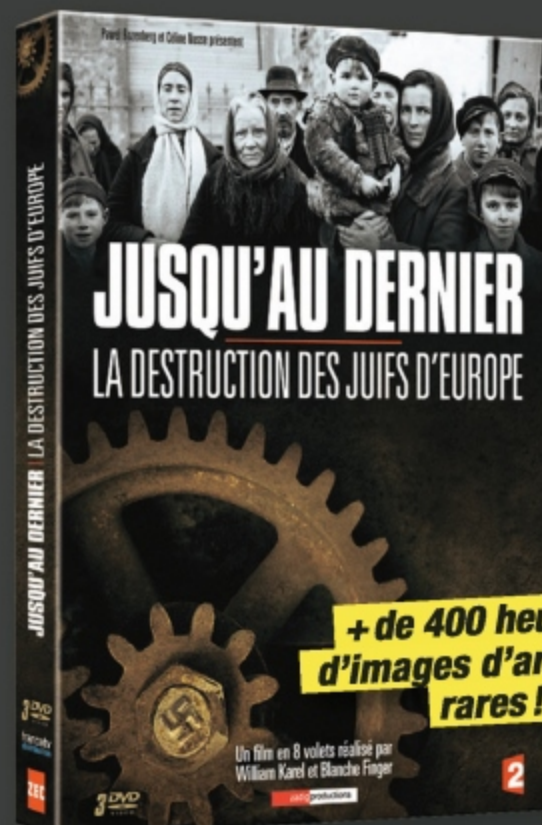
LA SÉLECTION DVD DE SCIENCE & VIE



Napoléon, la campagne de Russie 16,99 €

L'une des défaites militaires les plus mythiques de l'Histoire, reconstituée magistralement en 3D et complétée par des interviews d'historiens de renom.

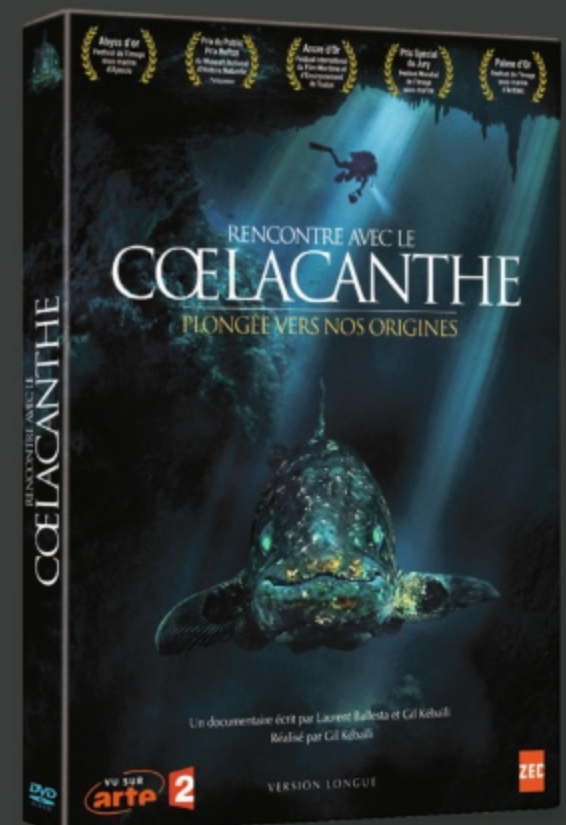
DVD COULEUR. 104 MIN. ZED.



Jusqu'au Dernier, la destruction des Juifs d'Europe 24,99 €

70 ans après la libération du camp d'Auschwitz, la série en 8 volets et 60 historiens se donnent pour mission d'expliquer comment et non pourquoi une telle horreur a eu les moyens d'exister.

3 DVD OU 3 BLU-RAY. NOIR ET BLANC / COULEUR.
DURÉE : 416 MIN. ZED.



Rencontre avec le coelacanth 12,99 €

Poisson préhistorique géant, légende pour les paléontologues, ses ancêtres évoluaient déjà dans les abysses des océans il y a 360 millions d'années.

DVD COULEUR. 90 MIN. ZED.

SIGNAUX ÉTRANGES, ASTRES ALIGNÉS...

ANOMALIES DANS L'UNIVERS

Elles sont au nombre de neuf. Neuf anomalies qui ne collent pas avec le modèle standard, la théorie qui décrit l'Univers. Neuf anomalies qui concernent aussi bien les étoiles que les planètes, l'émission de rayons X que les galaxies. Neuf anomalies indubitables car observées *de visu*. Neuf anomalies qui, paradoxalement, sont une fantastique aubaine ! Car loin d'embarrasser les cosmologistes, ces neuf anomalies pourraient les sauver... en leur révélant les failles du modèle standard. Or, celui-ci est miné de l'intérieur par deux énigmes : l'énergie noire et la matière noire. Ce dont la moindre anomalie pourrait justement rendre compte. La preuve par neuf ?

PAR BENOÎT REY
AVEC MATHILDE FONTEZ



ILLUSTR. : V.CHARRIER D'APRÈS M.DIAMOND, ROOM THE AGENCY, TOREHEGG, YYHOI/GETTY

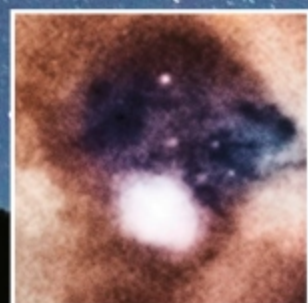
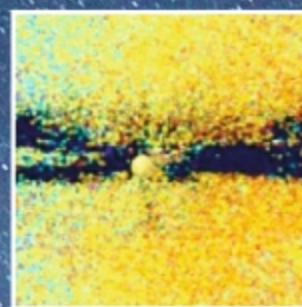
À LA
UNE

Les 9 anomalies qui pourraient élucider l'Univers

Les pulsars manquants
p. 59

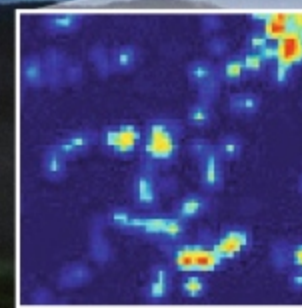


L'oscillation des géantes rouges
p. 61



Le rayon X émis par les poussières interstellaires
p. 60

La vitesse des galaxies
p. 62



Décidément, quelque chose cloche. Peut-être pas dans l'Univers, mais plutôt dans la théorie censée le décrire, du big bang à la naissance des planètes – ce qu'on appelle le modèle standard.

Ces derniers temps, les cosmologistes attendaient fébrilement les conclusions de l'analyse des données du télescope spatial *Planck*, qui a photographié avec la précision maximale la première lumière de l'Univers, émise 380 000 ans après sa naissance. Les résultats sont tombés en janvier dernier. "*La précision du modèle standard*

est incroyable, réagissait Hervé Dole, membre de la collaboration *Planck*, à la veille de leur publication. *Toutes ses prédictions sont exactement vérifiées.*"

C'est là tout le problème. En forme de paradoxe insoluble.

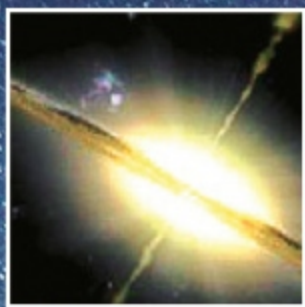
Car ce modèle standard qui vient d'être confirmé avec une précision éclatante... est bancal.

C'est sûr, certains parmi vous connaissent l'affaire par cœur. Voilà des années qu'elle rythme nos pages. Oui, il s'agit encore et toujours de ce problème – doux euphémisme – de matière et d'énergie noires.

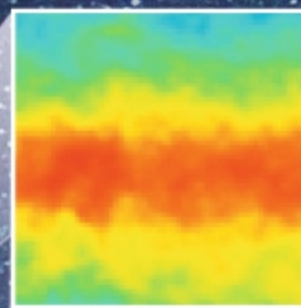
Nous le racontions en 1986, en 1990, en 1998, en 2004, en 2011... Depuis qu'ils ont découvert, dans les années 1980, la vitesse trop élevée des étoiles dans les galaxies, les astronomes sont contraints de postuler l'existence d'une matière invisible, censée être omniprésente dans notre Univers. Et depuis qu'ils ont mesuré l'accélération de l'expansion de ce dernier, ils s'obligent à penser qu'une forme d'énergie inconnue remplit l'espace.

Matière et énergie noires, donc. Deux entités que personne n'a jamais vues et dont on ne sait rien, mais qui comptent

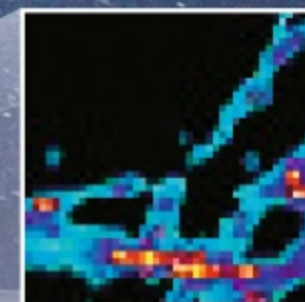
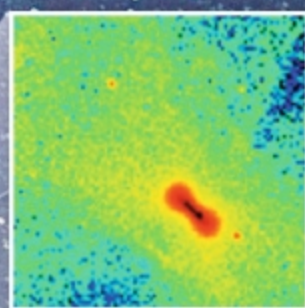
Les galaxies plates
p. 63



Les ondes radio émises par les étoiles à neutrons
p. 66



L'alignement des galaxies naines
p. 64



L'intensité du rayonnement de fond
p. 67

Les gros amas galactiques
p. 65



pour 95 % de la densité de l'énergie de l'Univers ! Si bien qu'elles sont devenues indispensables au modèle standard : les cosmologistes parlent désormais de modèle Lambda CDM, la lettre grecque lambda représentant l'énergie noire et CDM étant l'acronyme anglais de "matière noire froide".

Et voilà comment la théorie de l'Univers, qui ne reposait que sur deux piliers fondateurs des plus solides – la relativité générale d'Einstein, qui décrit la façon dont l'espace et le temps plient sous l'effet de la gravité, et le modèle standard de la physique

Matière noire et énergie noire : elles détiennent la clé du modèle standard

■ La matière noire a été imaginée dans les années 1980 après l'observation par Fritz Zwicky et Vera Rubin que les galaxies tournaient trop vite. Pour l'expliquer, il a fallu postuler une nouvelle particule massive, très petite, qui se déplace lentement par rapport à la vitesse de la lumière et qui n'interagit pas, ou très peu, par interaction faible.

■ L'énergie noire a été ajoutée après qu'en 1998, Adam Riess, Saul Perlmutter et Brian Schmidt ont mesuré que l'Univers accélère son expansion. Dans le modèle standard, les théoriciens décrivent l'énergie noire comme un fluide totalement homogène, de densité constante et de pression négative, ayant donc un effet répulsif.

des particules, qui détaille le bestiaire de la matière –, a été rafistolée. Et comment deux anomalies ont déséquilibré la plus rodée des machineries.

Tout le paradoxe vient de là : le plus grand triomphe du modèle standard est vécu comme un échec. L'Univers vient d'être validé par le plus précis des télescopes, et il n'en devient que plus inaccessible. Les deux substances avec lesquelles les astronomes ont badigeonné leur théorie sont aujourd'hui encore un peu plus impalpables.

Et maintenant ? Les astronomes n'ont d'autre choix que de relever la tête vers les étoiles, à la recherche du plus petit indice. N'importe quoi, pourvu que ce soit inattendu. Et de ressortir des affaires non résolues, pour y traquer la présence de ces deux noires entités – ou même des signes indiquant un moyen de s'en passer.

Une stratégie payante ! Car des trucs qui clochent, il y en a dans le ciel. Et ils sont même légion !

ÉTOILES DISPARUES

Par exemple, la mystérieuse disparition d'étoiles mortes. On devrait en voir des milliers, tout près, au cœur de notre galaxie. Or, les télescopes n'en distinguent qu'une seule ! La matière noire aurait-elle détruit les autres ?

Et ces amas de galaxies énormes, formés alors que l'Univers commençait tout juste à se structurer, ont-ils été rassemblés par l'énergie noire ?

Et cette lumière ultraviolette baignant le cosmos, qui ne provient pourtant d'aucune étoile ? Ces géantes rouges qui oscillent trop fort ? Ces mouvements galactiques trop rapides ? Ces galaxies plates ? Ces galaxies satellites alignées en rang d'oignons ? Ces bouffées d'ondes radio et de rayons X ?

Ces bizarreries cosmiques sont aujourd'hui les seuls indices que l'Univers a pu laisser pour permettre à l'homme de percer ses ultimes secrets.

Certaines pistes ne mèneront à rien. Mais l'une d'entre elles cache peut-être la brèche qui, au final, conduira tout droit à la vérité. Laquelle ? Neuf sont actuellement en lice.



PULSARS

Au lieu de pulluler, ils brillent

Etrange affaire que celle des pulsars manquants. Au centre de la Voie lactée, où ils sont censés fourmiller, on n'en trouve pas la moindre trace. Il n'y a qu'à la périphérie de notre galaxie que les astronomes en ont observé quelques milliers.

Des pulsars ? Au commencement, il s'agit d'étoiles géantes qui, trop vieilles pour supporter leur propre poids, ont explosé en supernovae, laissant derrière elles des étoiles à neutrons minuscules – 20 km de diamètre – mais contenant entre 1,4 et 3,2 fois la masse du Soleil.

Leur densité record les protège des ravages du temps, qu'elles traversent comme des pierres funéraires, témoignant qu'un jour, une étoile a vécu là.

Certaines tournent très vite sur elles-mêmes : ce sont les fameux pulsars. Lesquels balaient l'espace de rayons X comme des phares dans la nuit, visibles à des milliers d'années-lumière de distance.

Un seul signal détecté

Le cœur de la Voie lactée grouille d'étoiles massives. On pensait donc que le lancement, dans les années 2000, de télescopes spatiaux à rayons X exhumerait un cimetière de centaines de pulsars. Mais non, rien. Pas une seule détection dans un rayon de 80 années-lumière autour du centre galactique.

Au vrai, la couche de poussières, de gaz et d'étoiles au cœur de notre galaxie semble si opaque que même

les rayons X ne parviennent pas à la percer. Du moins, c'est ce qu'ont conclu les astronomes au début des années 2010, résignés à l'idée que le cimetière de pulsars resterait plongé dans le brouillard.

C'était avant que le télescope spatial *Nustar* découvre, en mai 2013, un signal X d'une période de 3,76 secondes à moins de 0,3 année-lumière du centre de la galaxie. Un pulsar !

Baptisé SGR J1745-29, celui-ci concentre aussitôt l'attention des astronomes :



par leur absence au centre de notre galaxie

s'ils peuvent le voir si nettement, pourquoi ne voient-ils pas tous les autres ?

"C'est là que le problème des pulsars manquants est devenu particulièrement excitant, raconte Tim Linden, de l'université de Chicago. Car ce pulsar nous a permis de mesurer l'effet de brouillage du gaz au centre de la galaxie. Or, il est plus faible qu'on le pensait."

Conclusion : si l'on ne voit aucun autre pulsar au cœur de la Voie lactée, ce n'est pas parce qu'ils

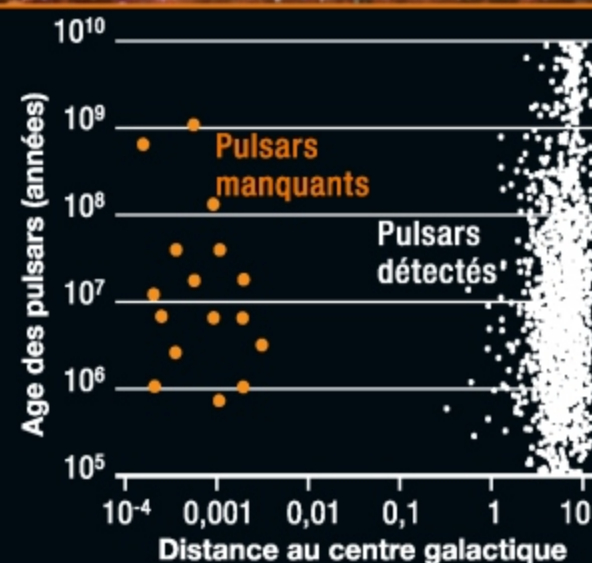
sont cachés... c'est parce qu'il n'y en a pas !

Différentes hypothèses tentent de l'expliquer : les étoiles massives auraient pu exploser de manière non symétrique, expulsant leurs restes à la périphérie de la galaxie ; ou bien un trou noir invisible aurait pu nettoyer le centre de ses jeunes pulsars...

Des trous noirs ?

Mais Tim Linden reste sceptique. En avril 2014, il évoque le sujet avec son collègue Joseph Bramante,

16 pulsars manquent à l'appel
Les télescopes détectent une foule de pulsars en périphérie de la Voie lactée. Ils devraient être capables d'en déceler 16 près du centre, mais n'en repèrent aucun.



SOURCE : BRAMANTE & AL. 2014

à l'université Notre-Dame (Indiana). Qui lui suggère une tout autre explication : et si les pulsars avaient accumulé de la matière noire et, surchargés, avaient eux-mêmes explosé en trous noirs, devenant invisibles ?

Car les trous noirs ne "pulsent" pas : ils sont souvent indétectables à une si

grande distance. Ce qui impliquerait que la matière noire existe, qu'elle peut s'accumuler sur la matière baryonique (ou "ordinaire" : la nôtre), qu'elle n'est pas sa propre antiparticule (sinon elle s'annihilerait à son propre contact)... et bien d'autres contraintes qui renseigneraient sur sa nature.



POUSSIÈRES INTERSTELLAIRES

Elles émettent un mystérieux rayon X

Tout a commencé par une observation de routine. Esra Bulbul, chercheuse à Harvard, étudiait la composition atomique d'un panel de 73 amas de galaxies à partir de leur spectre lumineux, enregistré par *XMM-Newton*, le télescope spatial à rayons X de l'Agence spatiale européenne. Rien à signaler... si ce n'est un étrange excès d'intensité à l'énergie de 3550 électrons-volts (eV). En général, un tel pic correspond à l'émission de photons par des atomes, et signe la présence d'un élément chimique précis. Oui, sauf que celui-ci ne

semble correspondre à aucun élément connu...

L'astronome et son équipe plongent dans les données du satellite *Chandra* de la Nasa et retrouvent le même pic, jusque-là passé inaperçu. Aucun doute, ils ont levé un lièvre. Ils publient leurs résultats en février 2014, suivis une semaine plus tard par l'équipe d'Alexey Boyarsky, de l'université de Leyde (Pays-Bas), qui confirme l'existence du pic dans l'amas de Persée, et annonce l'avoir aussi trouvé dans la galaxie d'Andromède.

Depuis, c'est la ruée. Une centaine d'articles ont été publiés, qui

proposent chacun leur interprétation de ce pic mystérieux.

Réponse en 2016

Pourquoi une telle effervescence? Parce que cette anomalie pourrait signer la désintégration spontanée de neutrinos stériles, des particules élémentaires dont l'existence est suggérée depuis une quinzaine d'années mais que personne n'a encore détectées.

Autre piste: elle pourrait trahir l'excitation des particules de matière noire.

Yann Mambrini, du Laboratoire de physique théorique d'Orsay, opte pour une troisième

option: le signal à 3,5 keV serait dû à l'annihilation de particules de matière noire suite à des collisions dans les amas de galaxies. *"Elles produiraient des particules de même nature que le boson de Higgs, qui se désintégreraient chacune en deux photons dont l'énergie correspondrait au pic mesuré"*, précise-t-il.

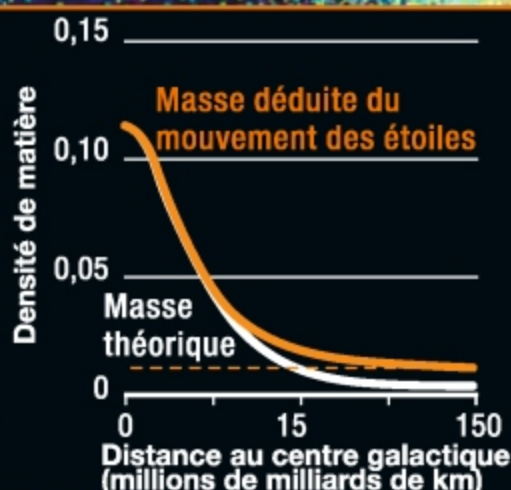
Pour l'heure, impossible de départager ces hypothèses, d'autant qu'il y en a bien d'autres. Les astronomes devront attendre les données du télescope à rayons X japonais *Astro-H*. Ce ne sera pas long: il ciblera l'amas de Persée en 2016.



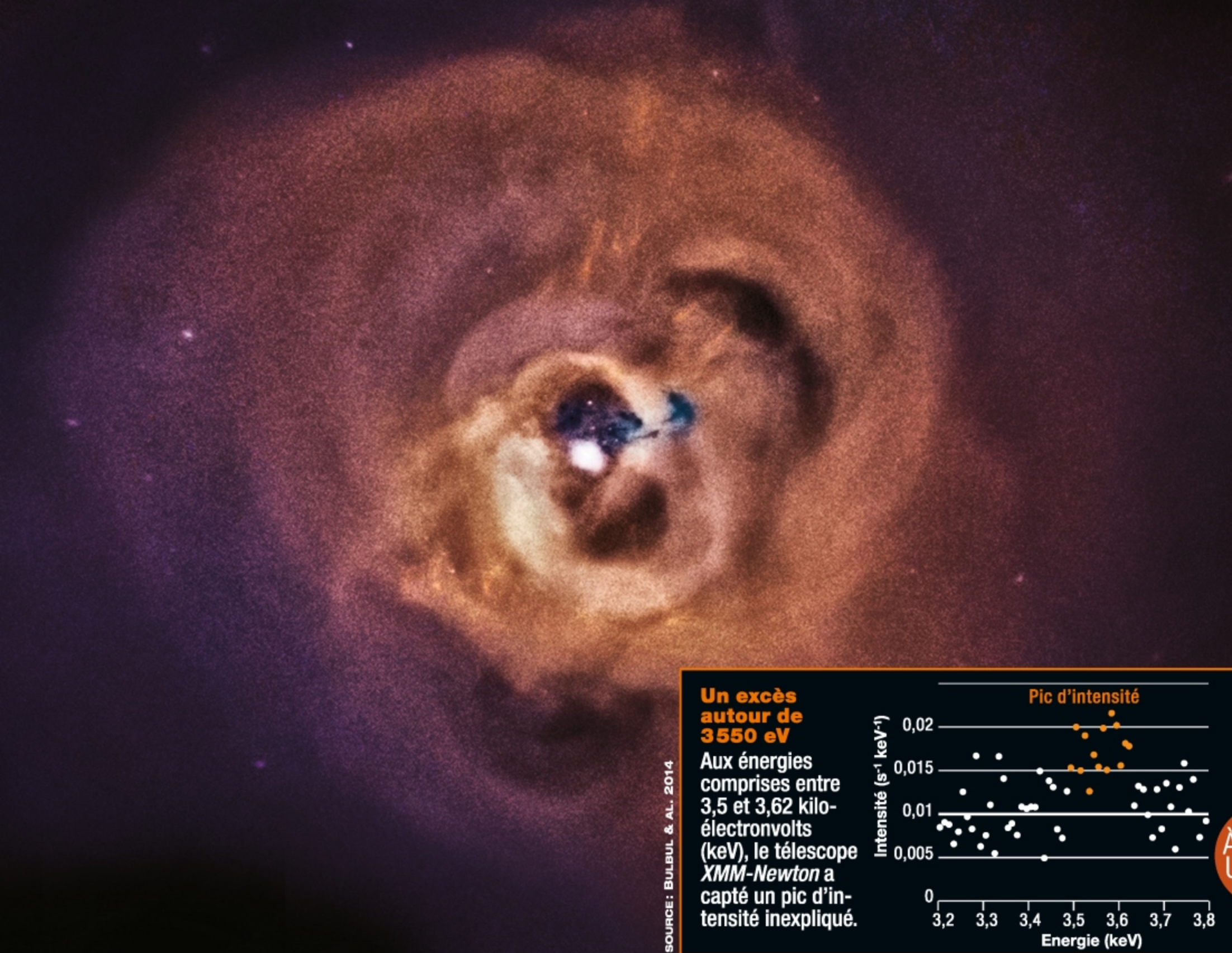
GÉANTES

Elles oscillent

Un halo 2 fois trop dense
4 600 étoiles bougent comme s'il y avait deux fois plus de masse que prévu dans le halo de matière noire qui entoure la Voie lactée.



"C'est une étude que nous avons entamée il y a dix ans et qui n'avait jusqu'ici posé aucun problème", se souvient Olivier Bienaymé, de l'Observatoire astronomique de Strasbourg. Elle consistait à mesurer la vitesse verticale des étoiles de notre région de la Voie lactée. Car les étoiles qui tournent ensemble autour du trou noir central n'ont pas une trajectoire plane. Comme les chevaux de



SOURCE: BULBUL & AL. 2014

À LA UNE

ROUGES

beaucoup trop dans la Voie lactée

RAVE - CHANDRA X-RAY OBSERVATORY CENTER - M. KONTENTE

bois d'un manège, elles montent et descendent de part et d'autre du disque galactique, qui fait plutôt office de roue voilée.

Une étrange amplitude

Une première fournée de 500 étoiles n'avait rien donné de spécial. Mais quand les chercheurs étudient un échantillon plus fourni de 4 600 géantes rouges, c'est le choc : les étoiles les plus éloignées

du plan galactique oscillent avec une amplitude deux fois trop grande !

Les premières mesures effectuées sur les 500 étoiles s'accordaient avec les modèles cosmologiques : la Voie lactée était vue comme enroulée dans un halo de matière noire d'une densité de 5 milliardièmes de gramme par km^3 ... Mais il en faudrait deux fois plus pour expliquer les données issues de l'échantillon élargi !

Dès lors, deux possibilités. Soit le halo de matière noire ne s'organise pas comme prévu : il pourrait être aplati aux pôles, ce qui concentrerait la matière noire près du disque, ou bien renforcé à l'équateur, formant une sorte de bouée. Resterait alors à expliquer la formation de ces structures.

Soit ce halo n'existe pas et les lois de la gravitation sont à revoir. Une théorie de la dynamique newtonienne

modifiée, connue sous l'acronyme anglais Mond, semble ainsi prédire la bonne vitesse verticale pour les étoiles de l'échantillon.

"Le satellite Gaia, lancé en 2013, est en train de mesurer les distances et vitesses précises d'un grand nombre d'étoiles dans un rayon de 12 000 années-lumière autour de nous, précise Olivier Bienaymé. Nous devrions en savoir plus d'ici dix-huit mois."

4

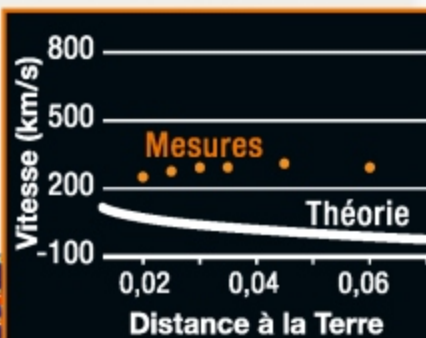
GALAXIES

Elles se déplacent bien trop vite

Leur vitesse devrait approcher les 350 000 km/h. Or, les mesures des télescopes indiquent entre 900 000 et 1 400 000 km/h ! Richard Watkins et son équipe de l'université Willamette (Etats-Unis) ont compilé les données de toutes les campagnes d'observations afin de calculer la vitesse moyenne des galaxies. Et alors qu'on pensait qu'elles ralentissent à mesure que l'échelle augmente, les chercheurs ont découvert qu'au contraire, elles semblent maintenir un rythme effréné. *"Si, comme le prévoit le modèle standard, l'Univers est homogène et isotrope [ses propriétés sont les mêmes dans toutes les directions], la vitesse moyenne des galaxies devrait tendre vers zéro à grande échelle"*, précise Richard Watkins.

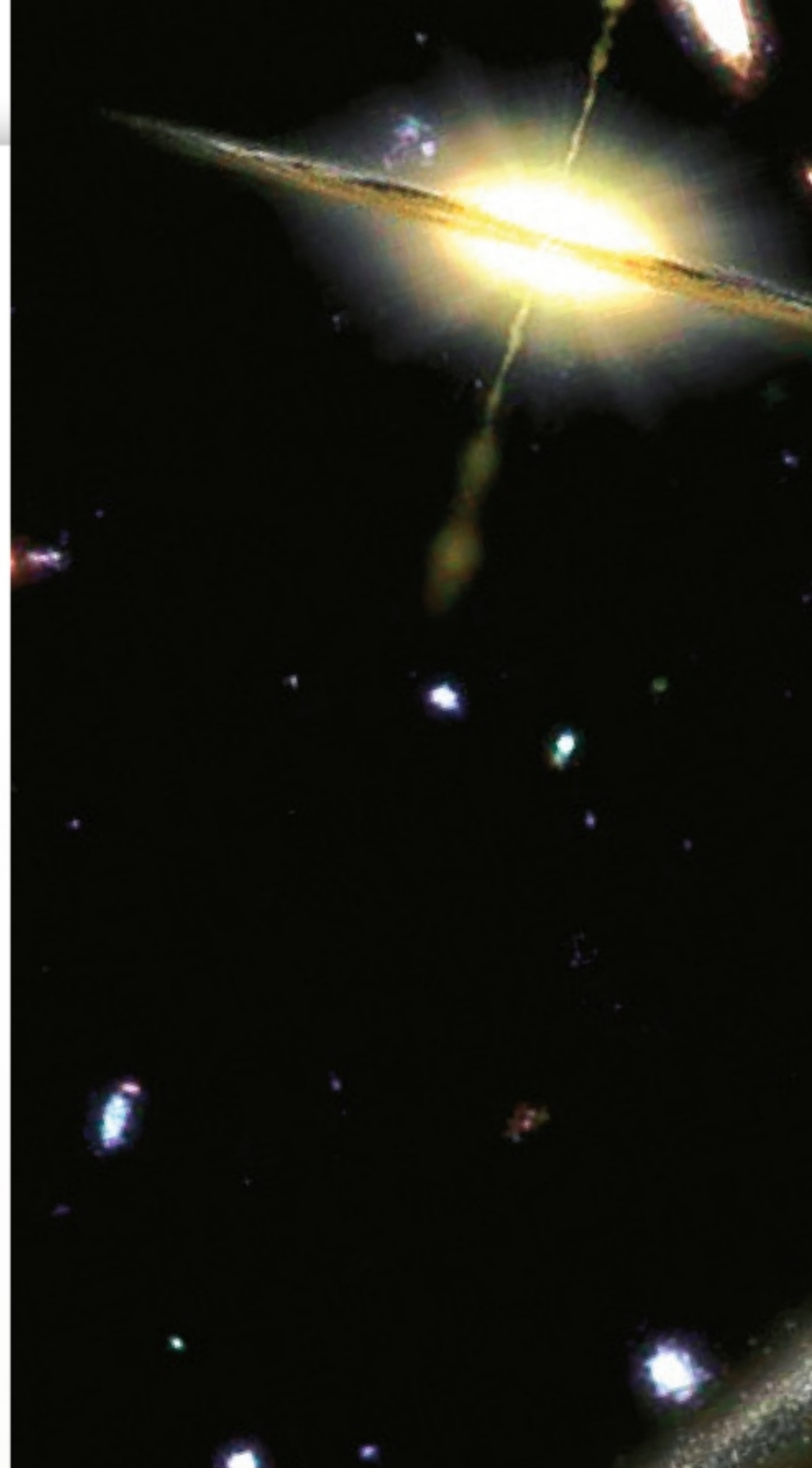
L'anomalie avait été découverte en 2008 : les astrophysiciens trouvaient alors 1 500 000 km/h. Dans la foulée, une dizaine d'études basées sur des observations différentes donnaient des résultats contradictoires, certaines confirmant l'anomalie, d'autres concluant à des erreurs.

Aujourd'hui, le débat est tranché : *"Il y a bien un problème"*, affirme Mike Hudson, membre de l'équipe. Et les théoriciens affûtent leurs crayons, car cette vitesse à grande échelle est directement liée à l'énergie noire qui accélère l'expansion de l'Univers. **M.F.**



Une vitesse 2 à 3 fois trop élevée
Elle oscille entre 200 et 300 km/s ; la théorie prédit qu'elle ne devrait pas dépasser les 100 km/s.

SOURCE : COLIN & AL. 2011



5

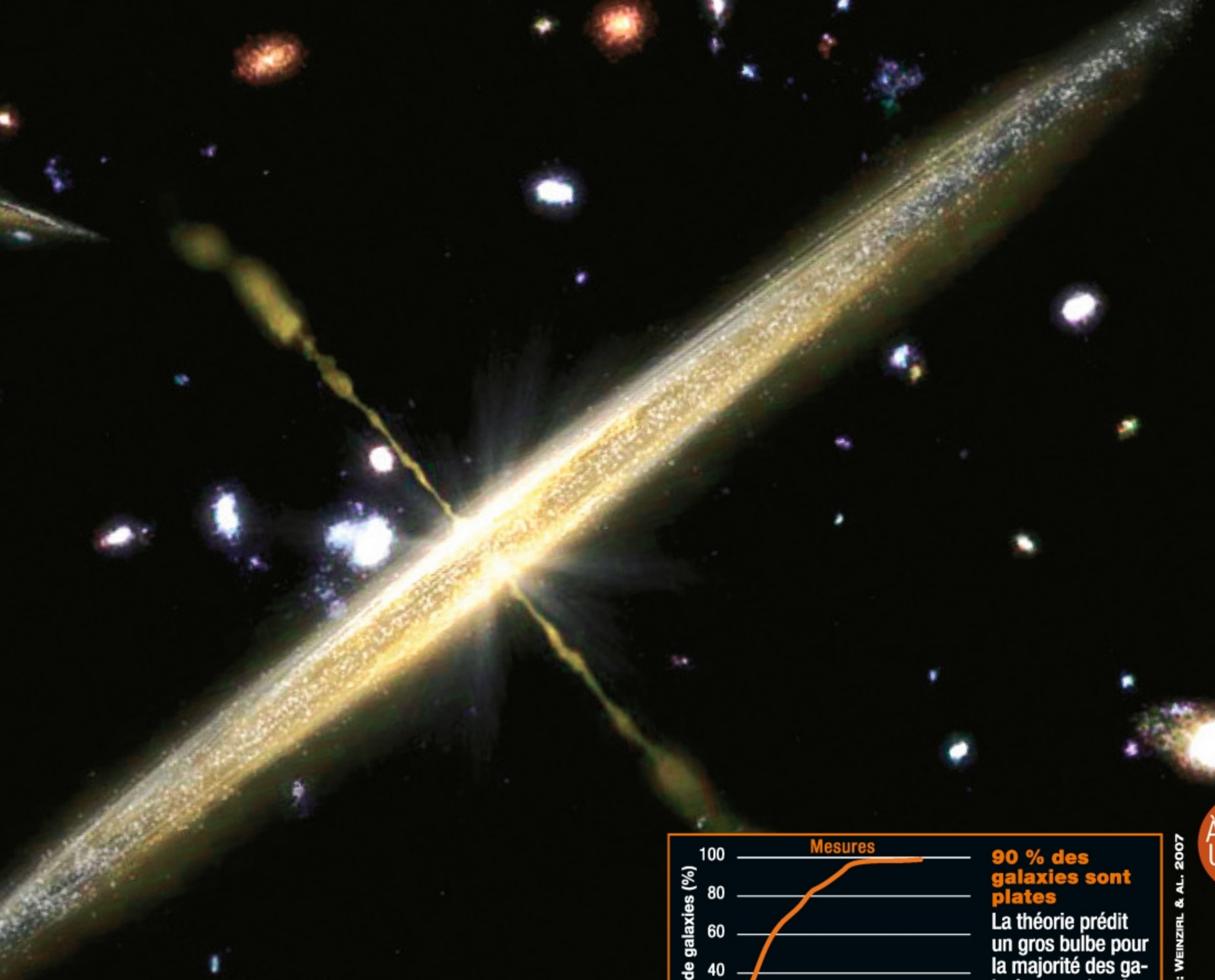
CENTRES GAL

La plupart n'ont

Normalement, les galaxies devraient ressembler à un œuf sur le plat, avec un bulbe central proéminent au milieu et un disque galactique plat autour. Le modèle standard prévoit en effet qu'elles se forment par fusions successives de galaxies plus petites. Et qu'à chaque fusion, le bulbe augmente en proportion... Les simulations les plus précises montrent

même que le halo de matière noire invisible qui entoure les galaxies les précipite les unes sur les autres, en s'entremêlant dès qu'elles se frôlent d'un peu trop près.

Au fil de ces fusions, les galaxies actuelles devraient toutes arborer un bulbe imposant... *"Or, les deux tiers n'en ont pas du tout !"*, relève Françoise Combes, de l'Observatoire de Paris.



ACTIQUES

pas un bulbe imposant

Cette anomalie a été pointée en 2002, lorsque les données en proche infrarouge se sont accumulées. On a alors pu faire des statistiques sur des milliers de galaxies et isoler les bulbes.

Les premières galaxies de l'Univers, qui commencent à être observées dans le champ profond du télescope *Hubble* depuis 1995, prennent carrément la forme d'amas d'étoiles

sans cœur organisés en trois ou quatre blocs bien distincts.

Et sans halo ?

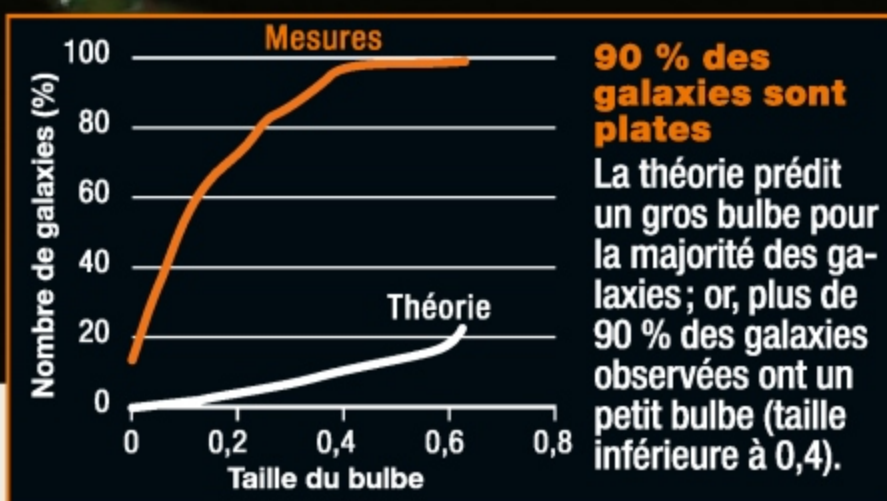
Depuis ces découvertes, les astronomes tentent de corriger leur modèle en révisant la masse des galaxies ou la température du gaz, en affinant les paramètres de la matière noire...

Françoise Combes propose quant à elle une

alternative radicale : considérer le problème dans le cadre de la théorie Mond, cette théorie de la dynamique newtonienne modifiée dans laquelle la matière noire n'existe pas. "S'il n'y a pas de halo, la friction qui ralentit les galaxies lorsqu'elles se frôlent est beaucoup moins importante, explique l'astronome. Elles finissent tout de même par fusionner, mais après s'être

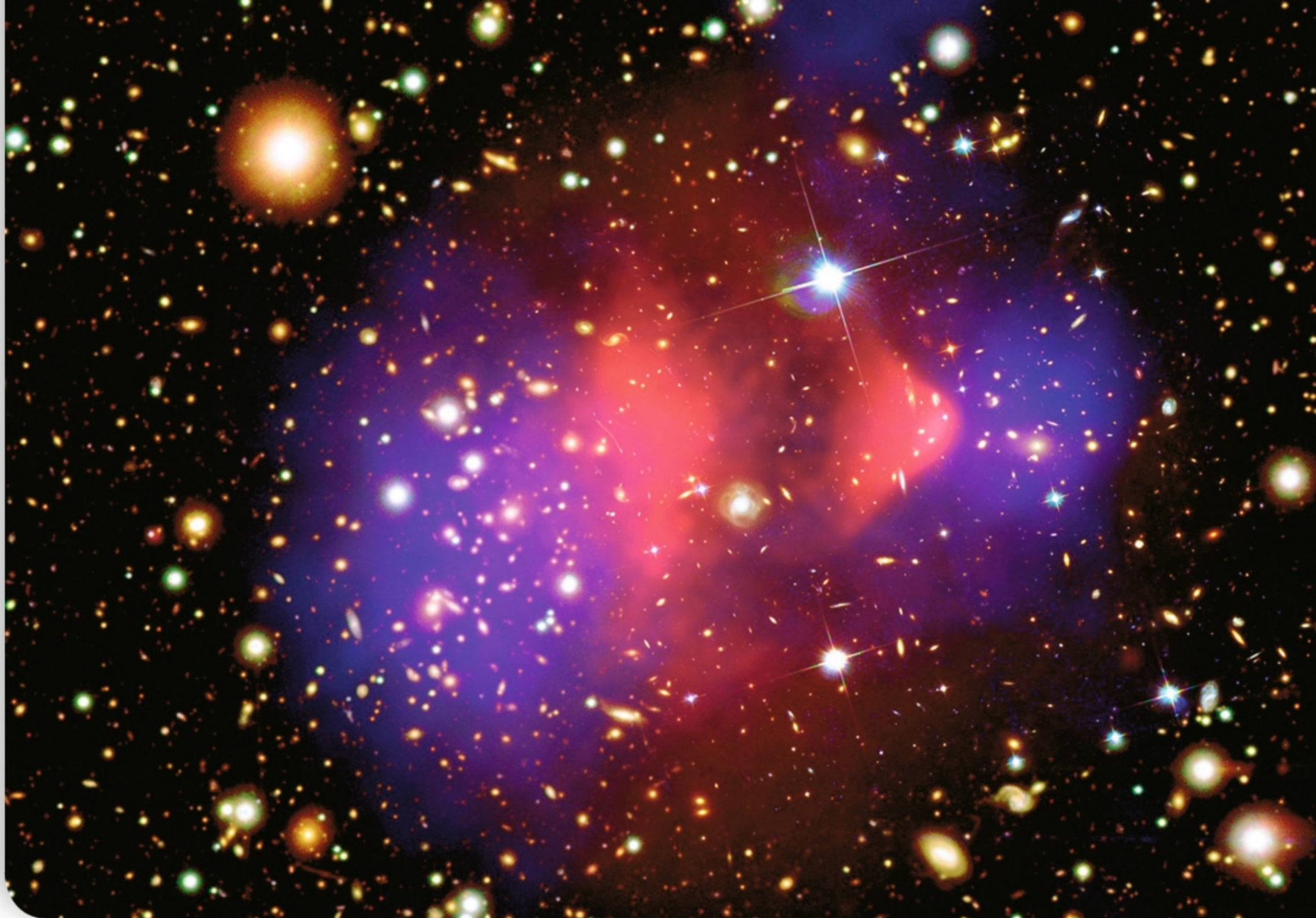
tournées autour cinq à dix fois. Cela allonge considérablement le temps de la fusion, et réduit d'autant l'occurrence de ces événements dans le passé."

Les simulations s'améliorent. Bientôt, elles permettront de traiter le gaz de façon encore plus réaliste, de préciser le taux de fusion des galaxies et de dire si celles-ci sont nues ou enroulées dans un halo de matière noire.



SOURCE : WEINZIRL & AL. 2007

À LA UNE



GALAXIES NAINES

Elles sont bizarrement alignées

La Voie lactée devrait être entourée d'une nuée sphérique de centaines, voire de milliers de petites galaxies satellites. Problème : on n'en observe que 25, toutes étroitement confinées dans un plan d'environ 70 000 années-lumière de largeur.

Une anomalie soupçonnée dès 1976 par Donald Lynden-Bell (Cambridge), alors qu'on ne connaissait qu'une dizaine de ces galaxies naines, et confirmée par la suite.

Pis, en janvier 2013, l'équipe de Rodrigo

Ibata, de l'Observatoire de Strasbourg, découvre que notre galaxie n'est pas la seule à présenter cette bizarrerie. En jetant un œil à notre voisine Andromède et à ses 27 galaxies satellites, les astronomes découvrent que quinze d'entre elles occupent pareillement un plan de 40 000 années-lumière d'épaisseur.

En 2014, observant un échantillon de 380 galaxies, ils trouvent, chez 22 d'entre elles, deux galaxies satellites placées symétriquement

par rapport au centre galactique. Et dans 20 cas, leurs vitesses sont opposées – comme si elles tournaient dans un même plan. C'est trop pour être dû au hasard...

La gravitation à revoir

Comment expliquer cet étrange alignement ? Ces naines pourraient être des morceaux de la galaxie centrale qui auraient été éjectés et continueraient de tourner autour de la galaxie mère dans un plan, un peu à la manière des systèmes

planétaires. *"Mais dans ce cas, elles devraient manquer de matière noire, précise le chercheur. Or, elles en contiennent énormément."*

Autre hypothèse : l'alignement pourrait être commandé par les filaments, ces gigantesques fleuves de matière noire qui tissent l'Univers, charriant les galaxies et leurs satellites. *"Sauf que le plan orbital des galaxies est épais de quelques dizaines de milliers d'années-lumière... et les filaments de dizaines*



AMAS GALACTIQUES

Certains ont une taille démesurée

Il y a d'abord eu la découverte du Bullet Cluster en 2002. Puis celle de MACS J0025.4-1222 en 2008. Puis d'El Gordo et AS1063 en 2012. "On en compte

aujourd'hui une vingtaine", précise Vincent Bouillot, astrophysicien à l'université du Cap (Afrique du Sud).

Une vingtaine de paires d'amas étranges, trop gros et trop anciens. Car le modèle standard prédit que les amas de galaxies se forment lentement : ils sont censés s'agréger petit à petit, fusion de galaxies après fusion de galaxies. Or, le Bullet Cluster, situé à 3,8 milliards d'années-lumière, est composé de deux amas tombant

l'un sur l'autre, et pesant respectivement 10^{14} et 10^{15} fois la masse du Soleil. El Gordo pèse lui aussi 10^{15} fois la masse du Soleil, et s'est formé il y a plus de 5,7 milliards d'années.

"L'existence de couples d'amas de cette taille est très improbable à ce stade de l'évolution de l'Univers", précise Vincent Bouillot. D'autant que les astronomes trouvent que ces couples tombent beaucoup trop vite l'un sur l'autre. "Le Bullet Cluster

tombe à 3000 km/s. On attendrait plutôt 1000 à 2000 km/s, précise le chercheur. Cette vitesse élevée signifie que les deux amas qui composent le Bullet sont nés tout près l'un de l'autre, plus près que ne l'autorise le modèle standard."

Des astrophysiciens ont déjà commencé à comparer ces données avec les prédictions de modèles cosmologiques alternatifs : elles pourraient vouloir dire que le pouvoir de l'énergie noire varie dans le temps. **M.F.**

2 amas improbables

Le Bullet Cluster et l'amas El Gordo ont une masse bien trop élevée (ci-dessous, plus c'est gris, plus on s'éloigne du modèle standard).



SOURCE : BOUILLOT & AL. 2014

de millions", objecte Benoît Famaey (Observatoire de Strasbourg).

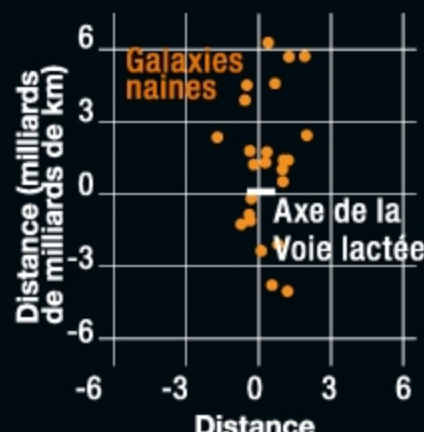
Plusieurs chercheurs considèrent plutôt que ces alignements prouvent qu'il n'y a pas de matière noire, mais une gravitation différente de celle formulée par Newton, suivant la théorie Mond. "Cette théorie a de nombreuses failles, mais elle fonctionne particulièrement bien à l'échelle des galaxies", souligne le chercheur.

Avec ses collègues, il a lancé une campagne

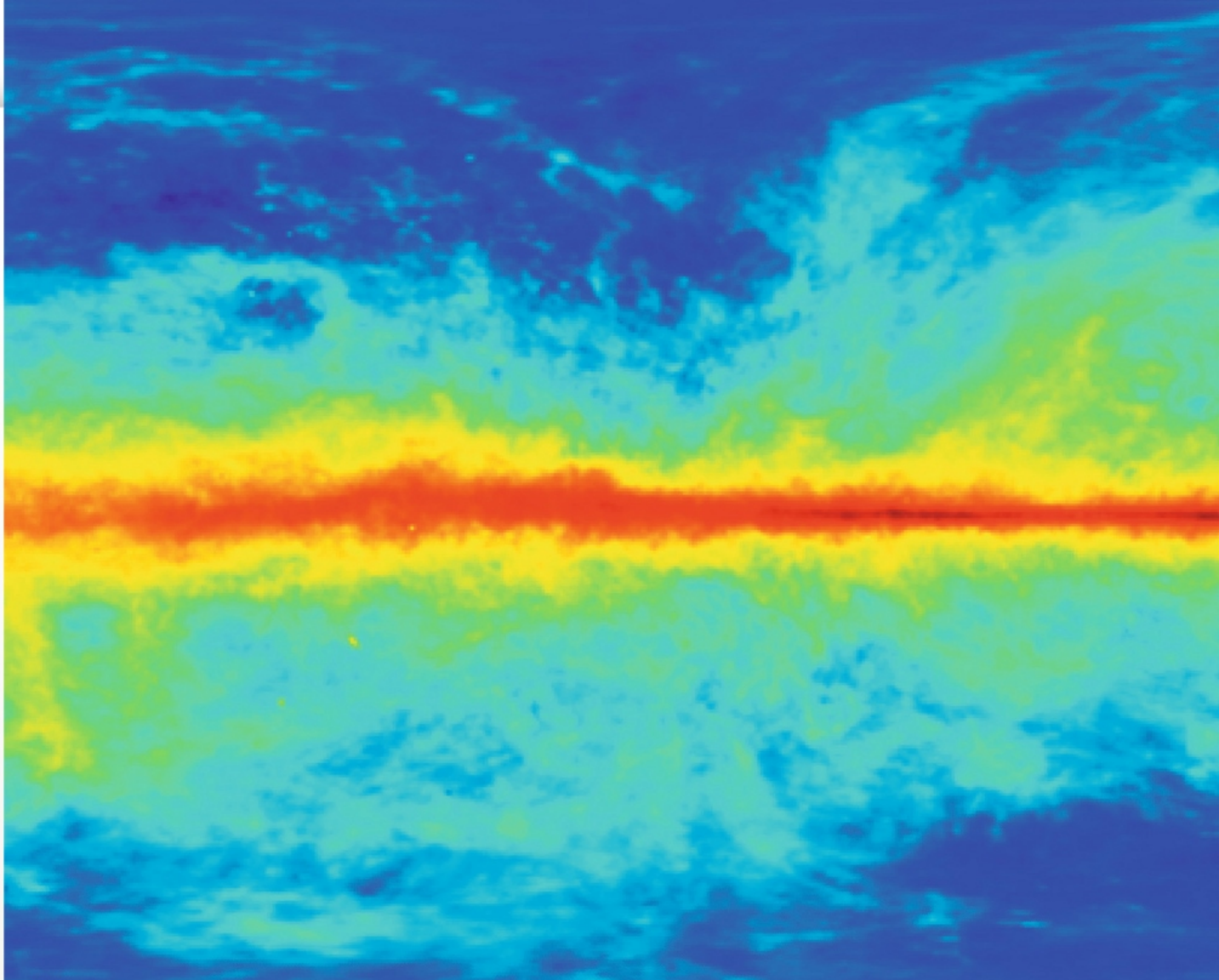
d'observations au Very Large Telescope (Chili) pour doubler l'échantillon de galaxies. Les résultats, attendus d'ici un à deux ans, seront pour le modèle standard une pierre ou une brèche supplémentaire.

25 galaxies naines dans un même plan

Au lieu de s'organiser en nuée autour de la Voie lactée, ses 25 galaxies satellites s'alignent dans le même plan.



SOURCE : KROUPA & AL. 2010



ÉTOILES À NEUTRONS

Elles émettent d'étranges bouffées d'ondes radio

Le signal n'a duré que cinq millisecondes et a déjà donné lieu à huit ans de travaux... et ce n'est que le début! *"En 2007, nous cherchions dans les Nuages de Magellan des traces de pulsars, quand nous avons repéré ce signal très lumineux",* se souvient Duncan Lorimer, de l'université de Virginie-Occidentale. Un pulsar est une étoile à neutrons qui tourne très vite sur elle-même et émet des ondes radio de façon périodique. *"Nous nous attendions à retrouver le*

signal dans les secondes suivantes, mais après des dizaines d'heures il n'y avait toujours rien."

Ce n'était donc pas un pulsar. Mais alors quoi? Une erreur? Non: quatre ans plus tard, un autre signal est détecté. Puis quatre autres en 2013.

Depuis, les hypothèses se sont multipliées. Une évaporation de trou noir? Non plus: pour qu'on le détecte d'aussi loin, son énergie intrinsèque devrait être bien trop élevée. Une fusion d'étoiles à neutrons? Elle donnerait

naissance à une étoile trop lourde, qui s'effondrerait en trou noir dix à cent secondes après sa formation, provoquant une seconde explosion d'énergie qui n'apparaît pas dans les données.

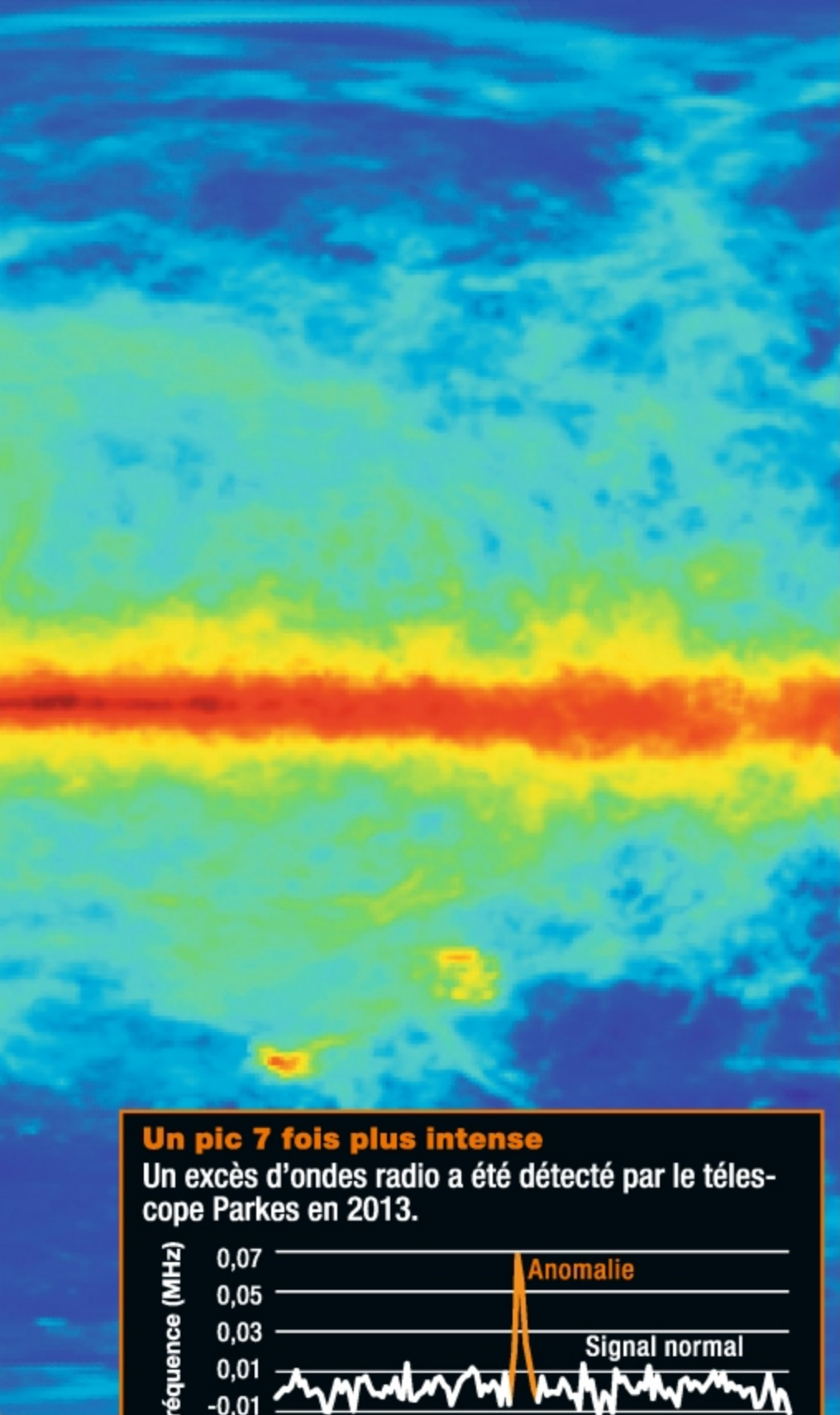
Blitzar ou pulsar?

En revanche, comme le signal ressemble à celui d'un pulsar, il y a de fortes chances pour qu'une étoile à neutrons soit impliquée. Les astronomes évoquent donc un blitzar, une étoile à neutrons hypothétique, dont

la rotation serait telle que la force centrifuge suffirait à empêcher son effondrement en trou noir.

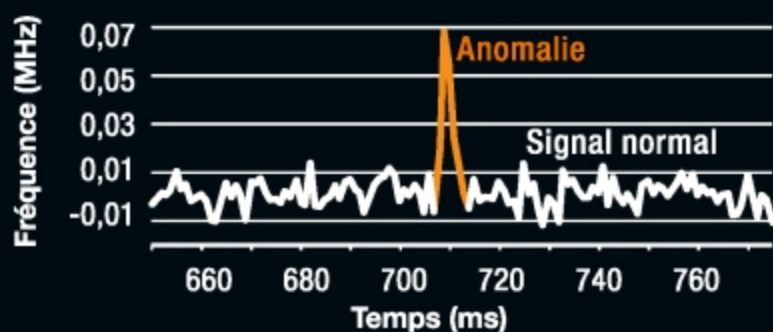
Autre piste: un pulsar tellement magnétisé qu'un tremblement de sa croûte externe pourrait provoquer de gigantesques flambées radio.

En décembre dernier, Jim Fuller, du Caltech, a proposé une idée plus exotique: le signal serait dû à l'effondrement dramatique d'une étoile à neutrons en trou noir au centre d'une galaxie, à cause d'un excès de



Un pic 7 fois plus intense

Un excès d'ondes radio a été détecté par le télescope Parkes en 2013.



SOURCE : PETTROFF & AL., 2014

matière noire. "Cela générerait une énergie du bon ordre de grandeur, à une fréquence compatible avec les sursauts radio observés", argumente le chercheur.

Une piste plausible selon Emily Petroff (université de technologie Swinburne, Australie), bien qu'elle la juge moins convaincante que celle du pulsar magnétisé.

Pour trancher, la spécialiste attend de nouvelles détectations: "Les futurs radiotélescopes, comme le Square

Kilometre Array en Australie, devraient déceler un signal par jour."

De son côté, Jim Fuller estime que si le Very Long Baseline Array (Etats-Unis) parvient à surprendre un sursaut, on devrait pouvoir établir de quelle partie précise de la galaxie il provient, et ainsi dévoiler le mécanisme d'origine.

En attendant, les étranges sursauts continuent de rythmer les débats. Le dernier a été détecté en janvier. Le onzième en huit ans.

GSFC/NASA - CARNEGIE SCIENCE - M. KONTENTE

9 NUAGES DE GAZ

Ils sont beaucoup trop brillants

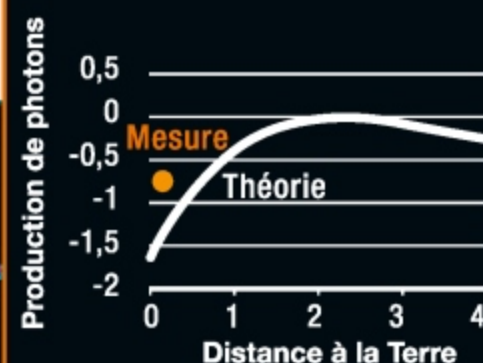
Chercher la source d'une lumière éblouissante et ne repérer qu'une ampoule basse consommation: voilà ce qu'ont ressenti Juna Kollmeier et son équipe de la Carnegie Institution (Etats-Unis) il y a un an.

En mesurant le taux d'ionisation des nuages d'hydrogène qui flottent entre les galaxies, ils ont quantifié le fond ultraviolet, une lumière qui baigne l'Univers... Et ils ont trouvé un signal bien trop puissant. En faisant la somme de tous les quasars, ces trous noirs qui aspirent les étoiles et le gaz alentour, crachant des rayons UV en quantité faramineuse, les chercheurs trouvent en effet qu'ils sont cinq fois trop peu nombreux pour expliquer le fond ultraviolet... Une source inconnue produirait les quatre cinquièmes des photons UV de l'Univers!

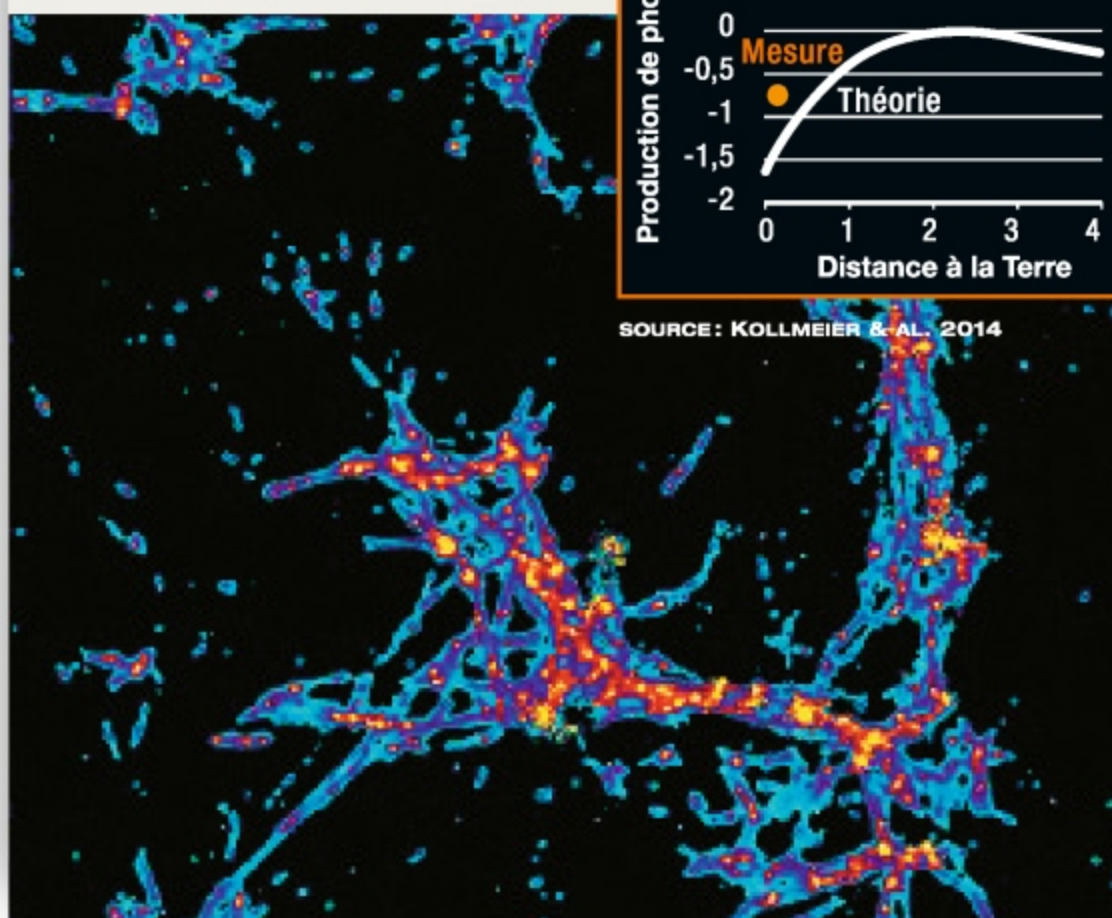
Quelle source? Il pourrait s'agir de jeunes étoiles selon Raghunathan Srianand, spécialiste du sujet à l'université de Pune, en Inde: "C'est un phénomène qu'on connaît mal. Il pourrait remplir deux ou trois cinquièmes de l'écart mesuré..."

Même si c'était le cas, la moitié de la lumière mesurée resterait inexplicée. Juna Kollmeier soupçonne alors la matière noire: "De nombreux modèles prédisent que des collisions ou des désintégrations de particules de matière noire émettraient des UV." Avec son équipe, elle s'attache à en préciser le mécanisme. De quoi peut-être décrire enfin la matière noire.

50 % de photons d'origine inconnue
Le rayonnement de fond mesuré est 2 fois trop intense.



SOURCE : KOLLMEIER & AL., 2014



À LA UNE

A LA RECHERCHE DU MEILLEUR DES MONDES

Mais dans quel Univers vivons-nous? Celui décrit – imparfaitement – par le modèle standard? Ou l'un des nombreux autres mondes imaginés par les cosmologistes? Les 9 anomalies vont peut-être permettre de trancher.

Démasquer le réel au milieu des mirages, enfin. Voilà l'objectif.

Pulsars manquants, bouffées de rayons X, galaxies alignées... Toutes ces anomalies ont beau donner le tournis, elles ne sont pas là pour emmêler les esprits mais, au contraire, pour permettre d'y voir plus clair, en dévoilant les chimères cosmiques, ces trompeuses images du monde que les cosmologistes ne peuvent pour l'instant écarter, faute de faits tangibles.

Car les scientifiques chargés d'édifier une vision cohérente du grand Tout ont la tête pleine d'Univers différents.

Au centre de leur attention, il y a bien sûr le modèle standard, théorie de référence depuis quinze ans. Dans sa perspective, notre cosmos peut être vu comme un gigantesque cube virtuel gouverné par quelques équations, que les superordinateurs font tourner afin de simuler l'évolution de l'Univers depuis le big bang.

C'est dans ce cube que nous sommes censés vivre. Sauf que les visions du monde qu'il propose souffrent de zones obscures. D'abord parce que ce cube cosmique, d'après ses propres équations, postule qu'il doit être rempli en grande partie de matière et d'énergie noires... que nul n'est jusqu'ici parvenu à détecter. Ensuite parce qu'en comparant ce cube avec les observations du ciel, voici que neuf

anomalies sont apparues, comme autant de failles dans ce modèle.

On comprend mieux que, à côté de ce cube central, les spécialistes se soient mis à imaginer d'autres cubes cosmiques, non standard ceux-là. Et en la matière, les propositions foisonnent, depuis des Univers emplis de réseaux de fils plus ou moins nébuleux peuplés de globes plus ou moins brillants, jusqu'à ceux truffés de nouvelles particules, qui pourraient constituer la mystérieuse matière noire. D'autres encore sont affublés de formes exotiques d'énergie singeant l'énergie noire, ou bien dotés d'une gravitation modifiée...

UNE VISION COHÉRENTE DU COSMOS

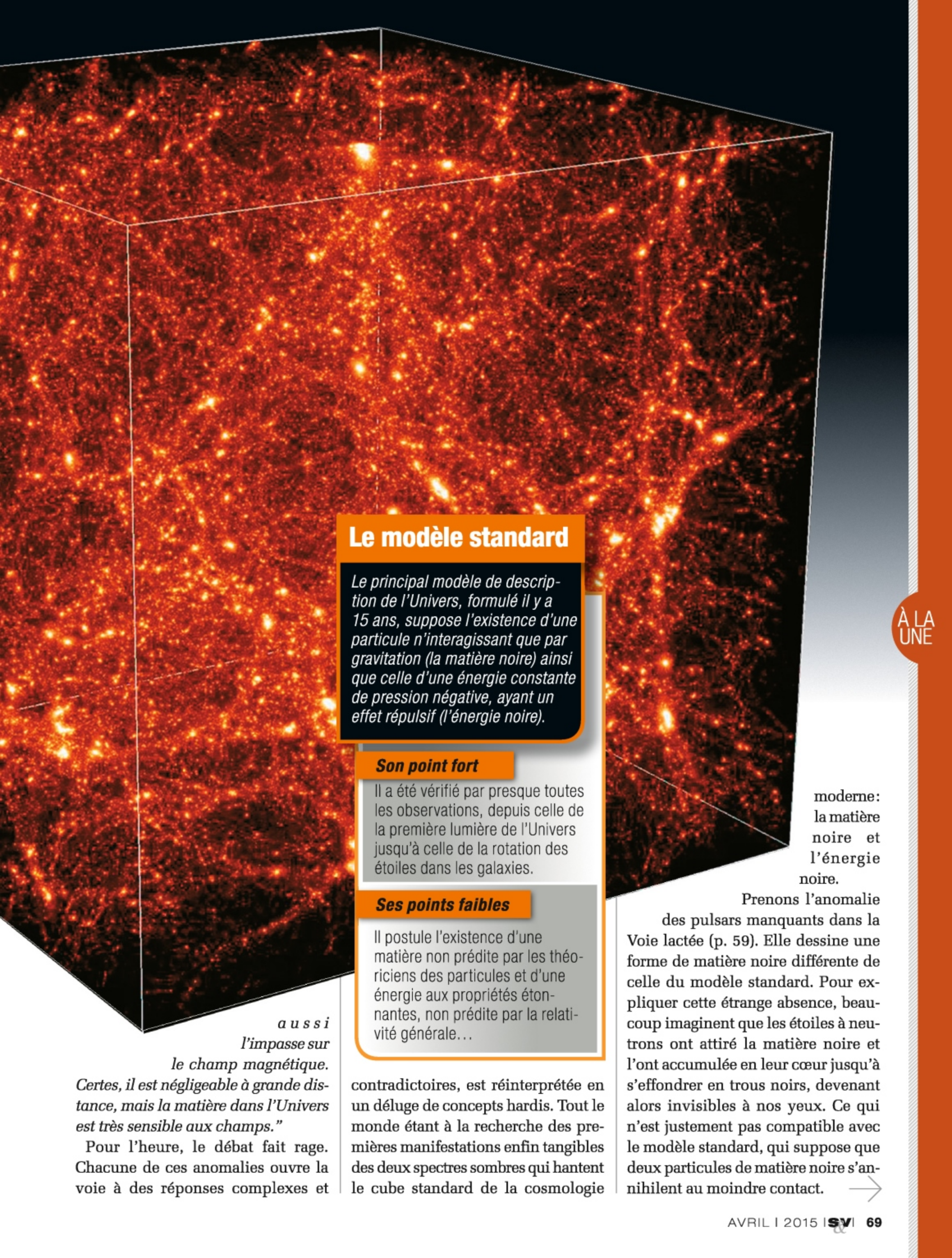
Au final, chacun de ces modèles alternatifs raconte sa propre histoire du monde, chaque fois subtilement différente. Un embrouillamini théorique qui dessine une foule de possibles. Or, parmi tous ces cubes, un seul est le nôtre. Mais lequel?

Les neuf anomalies repérées sont précisément là pour mettre les cosmologistes sur la piste: il s'agit de voir si l'un ou l'autre des cubes fondés sur des modèles alternatifs les intègre et les résout, offrant dès lors une vision cohérente de l'Univers, là où ces phénomènes aberrants semblent contredire le modèle standard.

Bien sûr, il est possible que ces bizarreries soient simplement la conséquence inattendue d'un phénomène... classique. Parmi les neuf, c'est sûr, certaines tomberont, expliquées par quelque processus astrophysique méconnu ou sujet à des approximations.

"La puissance de calcul des ordinateurs est encore limitée, et les équations mal définies, regrette Jean-Marc Bonnet-Bidaud, astrophysicien au CEA. La grande majorité des simulations sont finalement très simplistes. Elles ne prennent en compte que la gravitation, en laissant de côté d'autres effets tels que ceux de turbulence ou de chauffage des gaz, ou l'influence des supernovae. Elles font

IAP/CNRS



Le modèle standard

Le principal modèle de description de l'Univers, formulé il y a 15 ans, suppose l'existence d'une particule n'interagissant que par gravitation (la matière noire) ainsi que celle d'une énergie constante de pression négative, ayant un effet répulsif (l'énergie noire).

Son point fort

Il a été vérifié par presque toutes les observations, depuis celle de la première lumière de l'Univers jusqu'à celle de la rotation des étoiles dans les galaxies.

Ses points faibles

Il postule l'existence d'une matière non prédite par les théoriciens des particules et d'une énergie aux propriétés étonnantes, non prédite par la relativité générale...

*aussi
l'impasse sur
le champ magnétique.*

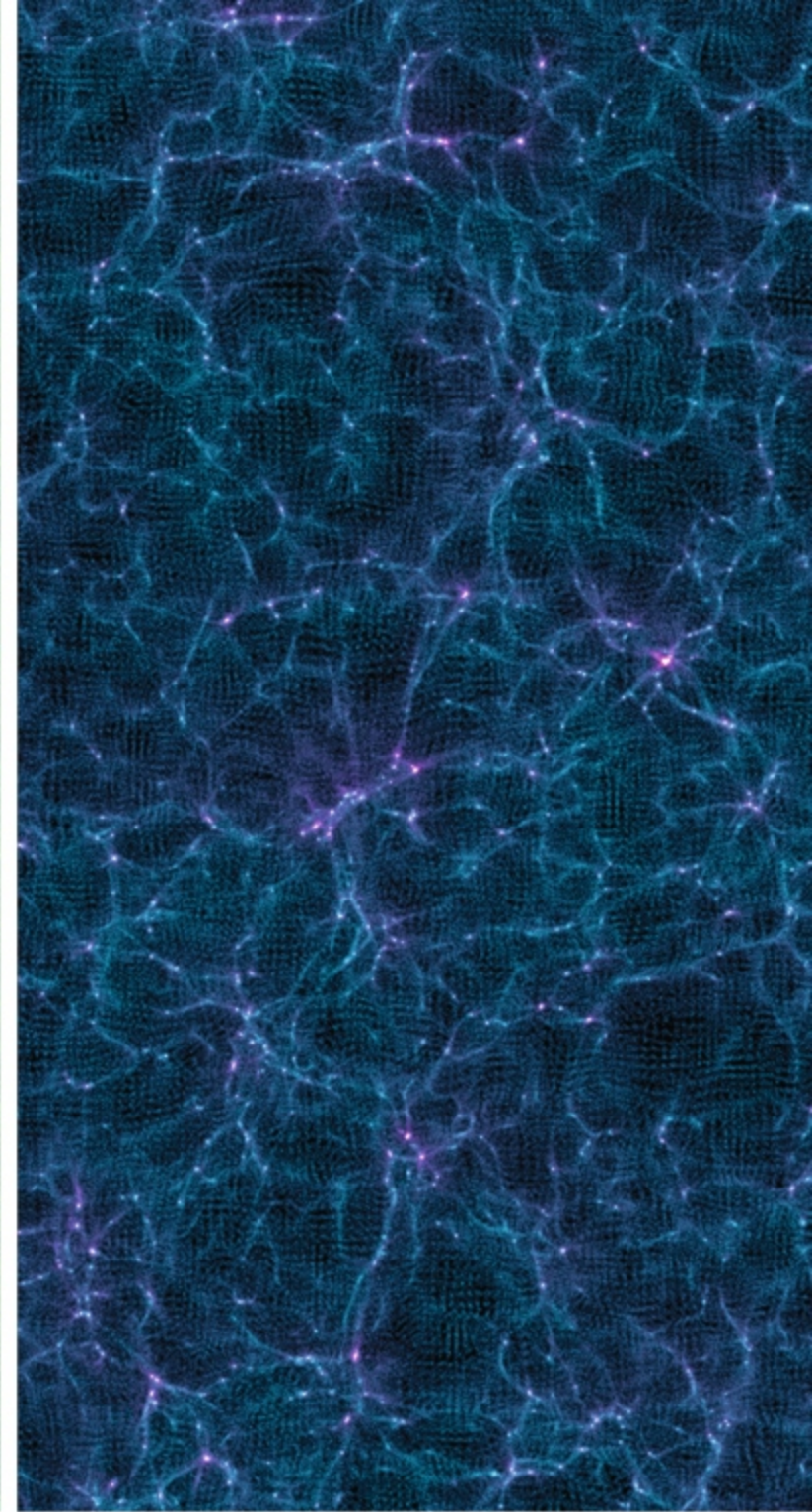
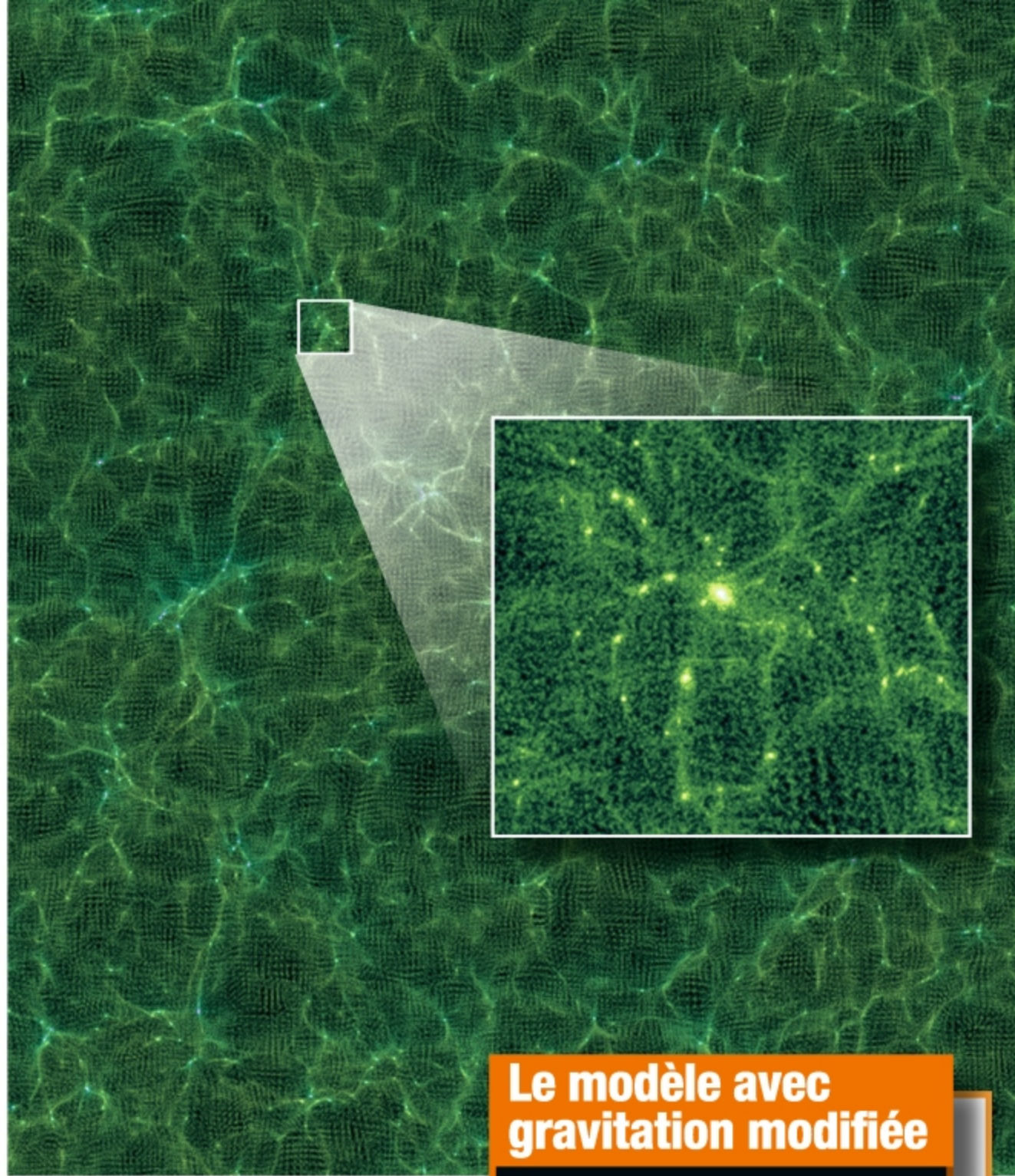
Certes, il est négligeable à grande distance, mais la matière dans l'Univers est très sensible aux champs."

Pour l'heure, le débat fait rage. Chacune de ces anomalies ouvre la voie à des réponses complexes et

contradictoires, est réinterprétée en un déluge de concepts hardis. Tout le monde étant à la recherche des premières manifestations enfin tangibles des deux spectres sombres qui hantent le cube standard de la cosmologie

moderne:
la matière
noire et
l'énergie
noire.

Prenons l'anomalie des pulsars manquants dans la Voie lactée (p. 59). Elle dessine une forme de matière noire différente de celle du modèle standard. Pour expliquer cette étrange absence, beaucoup imaginent que les étoiles à neutrons ont attiré la matière noire et l'ont accumulée en leur cœur jusqu'à s'effondrer en trous noirs, devenant alors invisibles à nos yeux. Ce qui n'est justement pas compatible avec le modèle standard, qui suppose que deux particules de matière noire s'annihilent au moindre contact. →



Le modèle avec gravitation modifiée

Dans cet Univers, il n'y a ni matière noire ni énergie noire, mais les lois de la gravitation sont un peu différentes de celles posées par Einstein.

Son point fort

Il résout d'un coup les problèmes de l'énergie et de la matière noires – puisque ni l'une ni l'autre ne sont plus postulées.

Ses points faibles

Sa complexité formelle heurte les théoriciens, tandis qu'il explique mal certaines observations, notamment la première lumière de l'Univers.

Pour certains, elle serait le signe que la particule de matière noire est en réalité un nouveau genre de neutrino, qui s'ajouterait aux trois connus dans le bestiaire standard des particules : un neutrino dit "stérile".

Les rayons X détectés en 2014 ont en effet pile la bonne énergie pour être

nés de la désintégration de cette particule imaginée il y a vingt ans pour résoudre les problèmes propres à la physique des particules (voir *S&V* n° 1137, p. 52).

Ce qui marche à condition que cette particule soit instable, ait une durée de vie excessivement longue et se désintègre en moyenne au bout de... 100 milliards de fois l'âge de l'Univers.

Yann Mambrini, du Laboratoire de physique théorique d'Orsay, n'y croit pas. Selon lui, il est plus probable que les rayons X soient le résultat de la désintégration d'une sorte de boson de Higgs léger, né de la collision entre particules de matière noire standard.

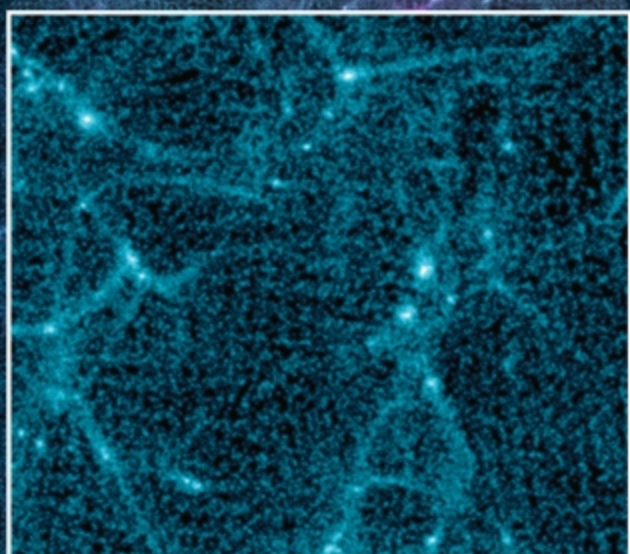
A moins que ce ne soit le signe d'une excitation de la matière noire, à la manière des éléments radioactifs : la transition de l'état excité à l'état stable pourrait produire la raie mystérieuse. "Il y a des douzaines d'hypothèses qu'il est pour l'heure impossible de départager!", conclut Alexey Boyarsky, de l'université de Leyde (Pays-Bas).

IMAGES DEUS - M. PARENT

→ "Pour qu'elle puisse s'accumuler au centre d'une étoile à neutrons, il est nécessaire que la matière noire ne s'annihile pas avec elle-même", souligne Tim Linden, de l'université de Chicago. Ce qui, en passant, implique l'existence d'une antiparticule de matière noire, laquelle, à l'instar de l'antimatière classique, "ne doit pas flotter en grande quantité dans l'Univers".

Cette forme de matière noire non standard est à même d'expliquer une autre anomalie, celle des bouffées d'ondes radio (voir p. 66). "L'idée m'a frappé lorsque je suis tombé sur l'article de Bramante et Linden", raconte Jim Fuller, de Caltech (Etats-Unis). Depuis, le physicien a fait ses calculs. L'intensité du signal, sa fréquence, sa durée sont compatibles : "L'implosion des étoiles à neutrons pourrait être à l'origine des sursauts radio."

Seulement, d'autres anomalies font plutôt penser à d'autres types de matière noire. Notamment celle des rayons X (voir p. 60).



Le modèle avec quintessence

Dans cet Univers, l'énergie noire n'est pas une constante, mais un fluide dont le pouvoir répulsif varie au cours du temps.

Son point fort

Il donne une valeur d'énergie noire cohérente au moment du big bang.

Ses points faibles

Aucune observation ne l'étaye pour l'instant, et le problème de la matière noire reste entier.

Les options sont tout aussi ouvertes pour l'anomalie de lumière ultraviolette (voir p. 67). Selon sa découvreuse Juna Kollmeier, de la Carnegie Institution (Etats-Unis), elle serait, là aussi, le signe de la décomposition de particules de matière noire. Soit par annihilation entre elles, soit par désintégration naturelle. Les hypothèses sont en cours d'analyse...

Pour compliquer la situation, trois autres anomalies plaident carrément



HÉLÈNE COURTOIS

"Des télescopes plus puissants arrivent"

astrophysicienne à l'Institut de physique nucléaire de Lyon

Science & Vie : Nos télescopes sont-ils assez puissants pour aller au-delà du modèle standard ?

Hélène Courtois : Clairement, non. On est arrivé au point où les instruments ne peuvent plus répondre à nos questions. La communauté astrophysique se retrouve aujourd'hui dans une impasse technologique : les simulations touchent à leurs limites, une foule de modèles théoriques ont été élaborés... Et nous sommes bloqués par la puissance et la résolution de nos instruments.

S&V : Pourtant, le satellite *Planck* vient de fournir l'image la plus précise de la première lumière de l'Univers...

H.C. : Oui, ces mesures ont confirmé le modèle standard. C'est une grande découverte pour nous, qui va nous permettre de faire le tri entre la masse des différentes versions qui existent... Mais pour aller plus loin, il nous faut de nouveaux outils.

S&V : Ces outils sont-ils prévus ?

H.C. : Ils sont même sur le point d'arriver ! Le Square Kilometre Array (SKA) va commencer à observer cette année. C'est un radiotélescope dont les antennes sont dispersées sur plusieurs continents : Australie, Afrique du Sud et Pays-Bas. Et vers 2020, le télescope spatial *Euclid* sera lancé. On va voir l'Univers comme on ne l'a jamais vu ! Aujourd'hui, on ne peut observer qu'un seul superamas, le nôtre. Avec le SKA, on va en voir 200, et avec *Euclid*, 35 000 – 10 % du volume de l'Univers observable ! On va enfin avoir des statistiques fiables à grande échelle. Et comme la matière et l'énergie noires sont les composantes qui influencent le plus la formation des structures à grande échelle... Je n'ai pas de boule de cristal, mais je dirais qu'on va comprendre la matière noire en premier, avec le SKA. Puis l'énergie noire, avec *Euclid*.

Propos recueillis par M.F.

À LA UNE

pour un Univers dépourvu de matière noire. Et plus particulièrement pour une théorie mise au point au début des années 1980, alors que la mystérieuse substance venait tout juste d'être sortie du chapeau. Nommée Mond – l'acronyme anglais pour la théorie de la dynamique newtonienne modifiée –, elle remet en cause un fondement de la théorie de Newton, puis de celle d'Einstein: ici, la gravitation n'est plus proportionnelle à l'accélération, mais varie selon l'échelle. Ce qui permet de ne plus faire appel à la matière noire.

Ainsi, l'énigme des bulbes galactiques (voir p. 63) n'en serait plus une. Si les galaxies n'affichent pas l'imposant cœur d'étoiles attendu en leur centre, ce serait parce qu'elles ne s'enroulent pas dans un halo de matière noire censé précipiter leur fusion.

Les galaxies laisseraient au contraire derrière elles de longs bras de marée, comme des éclaboussures d'étoiles: des galaxies naines qui s'alignent naturellement. Et voilà qui résoudrait l'anomalie des galaxies satellites alignées (voir p. 64).

Quant à l'oscillation des étoiles dans la Voie lactée (voir p. 61), *"c'est exactement ce que prédit Mond"*, pointe Olivier Bienaymé, de l'Observatoire de Strasbourg. *Mais ce n'est guère étonnant: cette théorie a été créée pour expliquer des vitesses anormales d'étoiles dans la Voie lactée*.

D'AUTRES DÉBATS SE PRÉPARENT

Gravitation modifiée, boson de Higgs léger, neutrinos stériles, antimatière noire... Les anomalies pointent dans toutes les directions.

Et cela se confirme encore un peu plus pour celles qui concernent les grandes structures. Car les grandes échelles sont le domaine de l'énergie noire... *"Or, pour celle-ci, on manque de théorie"*, explique Jean-Michel Alimi, de l'Observatoire de Paris. *Il est très difficile ne serait-ce que de construire des modèles.*

L'anomalie des amas de galaxies (voir p. 65)? Cette découverte d'amas énormes à une époque où, selon le

Et si la réponse ne tombait pas du ciel...

Et si, pour décrire l'Univers, il fallait se fier à un anneau de 27 km de circonférence enfoui 100 m sous terre, à la frontière franco-suisse? Le LHC a refroidi ses aimants. Il rallume ses accélérateurs. Il va enfin pouvoir propulser ses protons à la vitesse maximale pour sonder les limites du modèle standard de la physique des particules. Objectif: détecter de nouvelles particules ou des phénomènes exotiques qui orientent les physiciens vers de nouvelles lois, à même de pallier les incohérences du modèle standard. Et surtout, ouvrir une piste pour réconcilier la relativité générale et la physique quantique, faire le lien entre espace-temps et particules... De quoi sortir par la même occasion le modèle standard de la cosmologie de l'ornière. **M.F.**

modèle standard, l'Univers ne pouvait être peuplé que de petites structures, va dans le sens de ceux qui voient dans l'énergie noire la manifestation d'une cinquième interaction fondamentale, appelée "quintessence". Elle serait le signe que l'énergie noire n'est pas une propriété intrinsèque de l'Univers, comme le dit le modèle standard, mais une substance qui emplit l'espace.

Mais, en l'état, elle peut aussi être interprétée comme le signe... qu'il n'y a pas d'énergie noire, validant une version cosmologique de Mond que les spécialistes distinguent en l'appelant "gravitation étendue".

Quant à l'anomalie de la vitesse des galaxies (voir p. 62), *"les mesures ne sont pas assez précises pour être interprétées"*, explique Guilhem Lavaux, à l'Institut d'astrophysique de Paris. *Nous venons seulement d'établir de façon certaine que cette mesure permettra de contraindre les propriétés de l'énergie noire*. Débat à venir, donc.

D'autres débats, en plus de ceux-là, se concoctent déjà. Les spécialistes de l'énergie noire concentrent leurs efforts sur l'observation des vides, ces zones moins denses en matière délimitées par les filaments de galaxies. Leur taille, leur dynamique sont prédites précisément par le modèle standard...

"Surtout, ces vides sont bien plus faciles à observer que la vitesse des galaxies", précise Guilhem Lavaux.

De quoi peut-être faire émerger une nouvelle anomalie, peut-être décisive. L'analyse des données est en cours...

Avec les nouveaux télescopes qui arrivent, parions que d'autres bizarreries cristalliseront les débats (lire l'interview p. 71). Jusqu'à ce que la lumière jaillisse enfin d'un des cubes cosmiques? Les cosmologistes ne rêvent que de ça!

"La découverte commence avec la conscience d'une anomalie, c'est-à-dire l'impression que la nature, d'une manière ou d'une autre, contredit les résultats attendus dans le cadre du paradigme qui gouverne la science normale", écrivait en 1962 l'historien des sciences Thomas Kuhn dans son célèbre essai *La Structure des révolutions scientifiques*.

D'où viendra la révolution? D'une des neuf anomalies déjà repérées? D'une dixième? A moins que nous ne restions encore longtemps dans l'impasse de notre modèle standard.

En attendant, les experts s'accordent au moins sur un point: cela fait quinze ans que nous sommes coincés dans un cube beaucoup trop sombre, et il serait temps que la révolution commence.

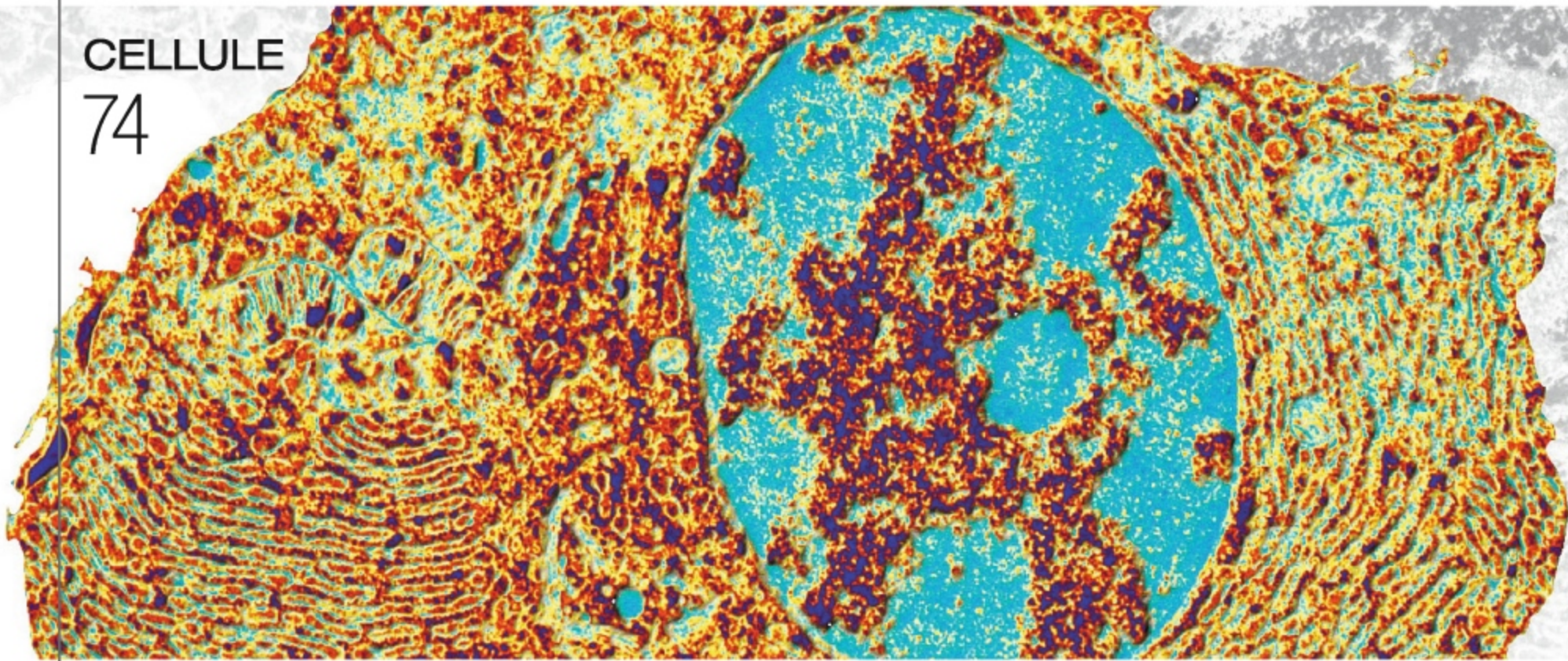
A lire: les publications scientifiques des 9 anomalies; la saga de la matière et de l'énergie noires dans S&V. A voir: les simulations de l'Univers.

EN SAVOIR PLUS

science-et-vie.com

& Science découvertes

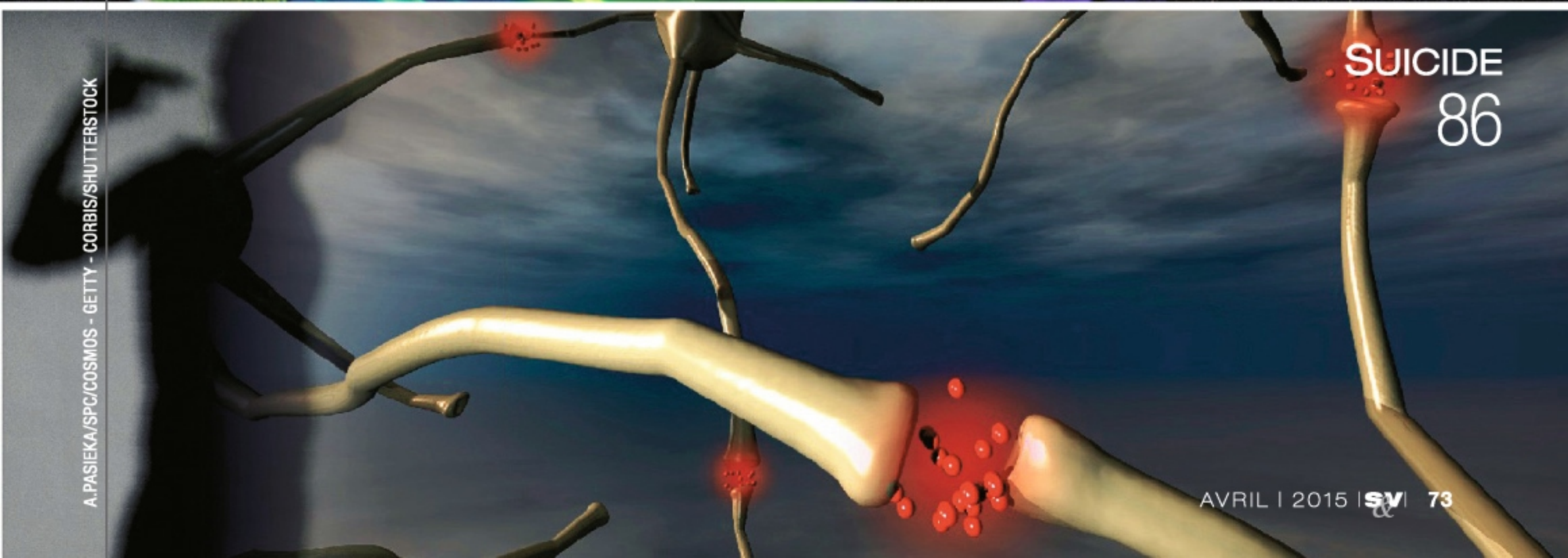
CELLULE
74



CHAOS
CLIMATIQUE
78



SUICIDE
86



Cellules eucaryotes

L'hypothèse que personne n'attendait

Comment sont apparues les cellules à noyau ? Jusqu'ici l'idée prévalait qu'une cellule avait grossi puis créé son noyau. Mais des zones d'ombre subsistaient... Avant qu'un nouveau scénario ne renverse toute l'histoire. Lumineux.

Par **Emilie Rauscher**

C'est un peu l'histoire de l'œuf et de la poule : qui était là en premier ? Le noyau ou la cellule ?

A priori, la chronologie ne laisserait aucun doute. Au commencement étaient des cellules sans noyau (procaryotes). Puis, parmi ces cellules primordiales qui peuplaient notre planète à l'aube de la vie, il y a 2 milliards voire 3 milliards d'années, certaines audacieuses ont tenté... autre chose. De simples, celles-ci se sont engagées sur un nouveau chemin évolutif.

Après la sobre perfection des premières, elles ont ouvert

l'ère de la subtile complexité des cellules à noyau (eucaryotes), dont nous descendons aujourd'hui en droite ligne.

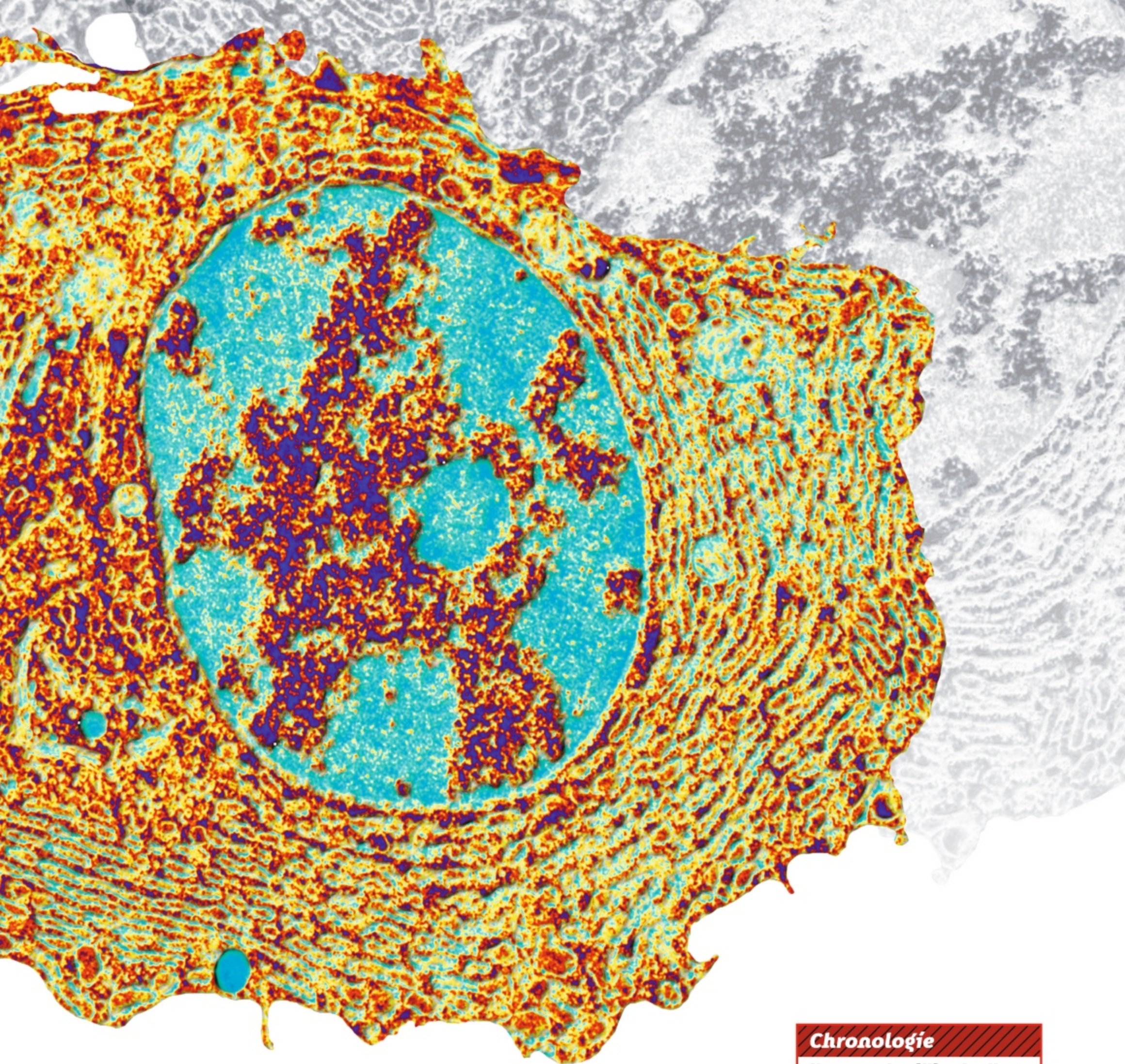
Non qu'il y ait eu remplacement : les procaryotes sont encore là – ce sont les bactéries, les archées, qui pullulent toujours. Mais les eucaryotes allaient inventer la pluricellularité, le sexe. Et rendre possible le moindre brin d'herbe, les dinosaures, et même la tartine beurrée du matin.

L'apparition de ces cellules d'un nouveau type a été la plus grande révolution qu'ait connue la vie... Or, on ne sait rien d'elle. Ni quand ni comment ni avec qui elle s'est faite.

Ce qu'on sait, c'est que les procaryotes ne sont qu'un sac où se mêlent ADN, protéines et machineries cellulaires destinées à perpétuer tout cela.

Quand la structure des eucaryotes est, elle, 10 à 100 fois plus grande et dûment compartimentée, avec ce fameux noyau central dans lequel s'insère l'ADN, tandis qu'autour se déploient un vaste entrelacs de membranes lié à la production de protéines, des mitochondries pour générer l'énergie, l'appareil de Golgi pour réguler le transport interne, etc.

Procaryotes, eucaryotes... Depuis qu'ils ont découvert cette



dichotomie fondamentale, il y a près d'un siècle, la question taraude les scientifiques... Comment est-on passé de l'un à l'autre? Comment est apparu le noyau dans les cellules?

Poser ainsi la question, c'était déjà suggérer la réponse... De fait, tous les scénarios élaborés jusqu'ici sont basés sur la même trame: "l'œuf" s'est formé après la "poule". En l'occurrence: une cellule, sans doute une archée, aurait grossi en

dilatant sa membrane externe, puis, à la fin de cette transformation, aurait projeté des replis vers ses entrailles afin de former en son centre le noyau et les complexes jeux de membranes qui l'entourent – les mitochondries étant d'anciennes bactéries avalées par leur hôte. Cela semblait logique.

Problème: on ne connaît pour l'heure aucun procaryote capable d'un tel trafic de membrane... Et il est difficile

^ Nos cellules sont composées d'un noyau et d'un entre-lacs de membranes dont les biologistes cherchent depuis près d'un siècle l'origine.

Chronologie

Il y a 4,56 milliards d'années : formation de la Terre.

3,8 milliards d'années : apparition des premières cellules simples, sans noyau, les procaryotes.

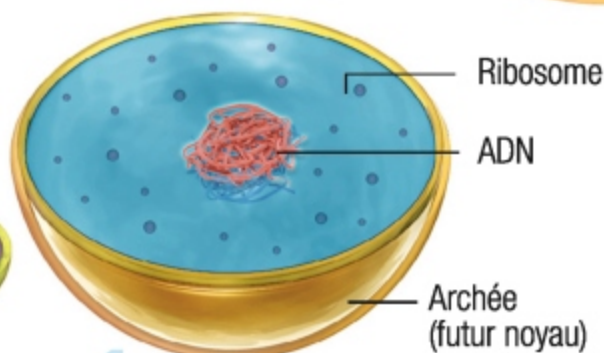
Entre 2,7 et 1,8 milliards d'années : apparition des premières cellules avec noyau, les eucaryotes.

1,6 milliard d'années : premiers organismes pluricellulaires (algues).

635 millions d'années : premiers animaux.

Au commencement serait le noyau, puis viendrait la cellule

Selon le scénario de David Baum, une cellule primordiale constituerait dès le début du processus le noyau, et c'est lui qui commanderait le développement d'un nouveau corps autour de lui.



1 Le futur noyau rencontre une bactérie

Des cellules procaryotes, c'est-à-dire sans noyau, une archée et des bactéries, vivent côte à côte.

d'expliquer comment s'est mise en place l'organisation intracellulaire labyrinthique que l'on observe aujourd'hui.

Or, voici qu'un biologiste vient renverser toute l'histoire. Spécialiste de l'évolution à l'université du Wisconsin (Etats-Unis), David Baum affirme aujourd'hui que "l'œuf" est apparu avant "la poule".

Selon lui, la cellule initiale – celle qui fit le grand saut pour devenir eucaryote – aurait, dès le début du processus, constitué le noyau, et c'est ce dernier qui aurait "pilote" le développement d'un nouveau corps autour de lui (voir infographie).

Ce scénario, présenté pour la première fois il y a quelques mois, a l'avantage d'expliquer, via un unique processus, l'origine si mystérieuse

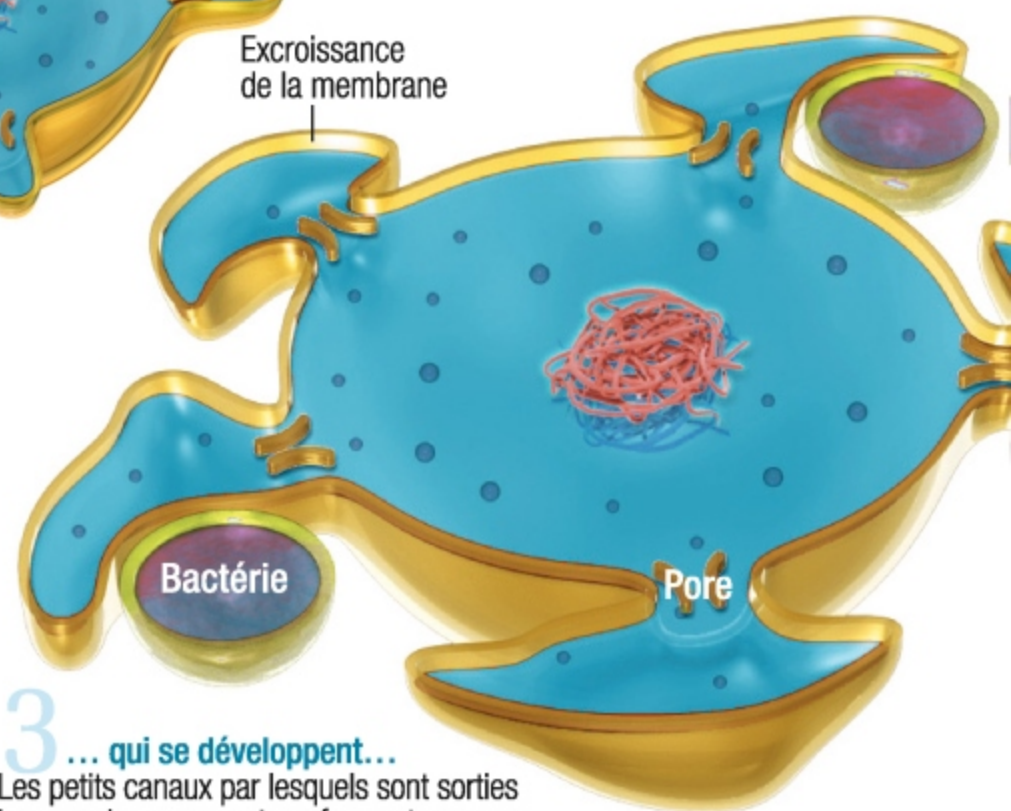
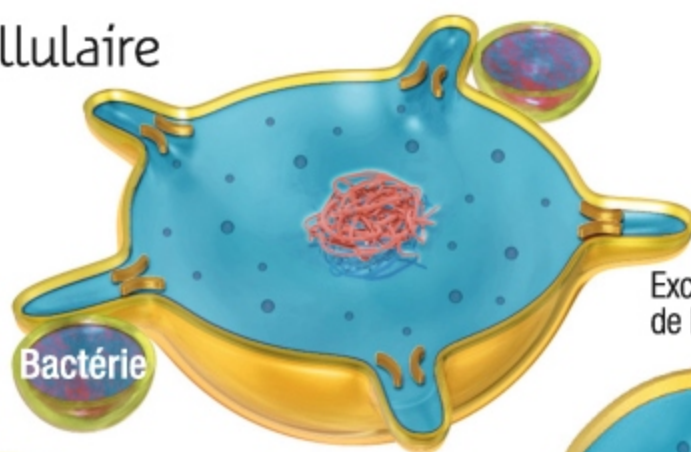
des enchevêtrements de membranes internes: ces derniers seraient les témoins de la naissance des eucaryotes. Qu'un scénario élucide ce qui restait jusqu'ici inexplicable plaide évidemment en sa faveur.

UN SCÉNARIO PRIS AU SÉRIEUX

Peut-être fallait-il la naïveté d'un étudiant pour imaginer quelque chose d'aussi iconoclaste et novateur? "J'ai eu cette intuition en 1984, alors que j'étudiais à Oxford, se rappelle David Baum. Mais je n'avais rien pour l'étayer... alors je suis retourné à mes travaux en écologie tropicale. Et ce n'est qu'en 2012, quand j'ai commencé à m'intéresser à l'origine de la

2 Ils établissent une symbiose à travers des excroissances...

Leurs interactions étant bénéfiques, le futur noyau augmente sa surface de contact avec les bactéries grâce à des excroissances.



3 ... qui se développent...

Les petits canaux par lesquels sont sorties les excroissances se transforment en pores permettant la communication entre le noyau qui se dessine et les excroissances.

vie, que j'ai décidé d'approfondir cette vieille idée." Il échange avec des collègues, puis avec son cousin Buzz Baum, biologiste cellulaire à l'University College of London.

Dès que les deux biologistes commencent à assembler leurs connaissances, tout s'emballe... "Les détails se sont mis en place naturellement, s'enthousiasme David Baum. Et quand nous avons réalisé que notre hypothèse expliquait certains mystères de l'organisation des cellules, ce fut pour moi comme la découverte soudaine que, oui, tout ceci pouvait être vrai."

Si, dans la communauté scientifique, tout le monde n'est pas forcément d'accord avec ce modèle, on s'entend pour souligner son audacieuse simplicité et l'intérêt des réflexions qu'elle suscite sur la dynamique des cellules, le vieillissement, l'apparition des cancers...

"C'est une approche vraiment originale qui m'a permis de faire évoluer mes propres idées sur le sujet", souligne Etienne Joly, biologiste à l'Institut de

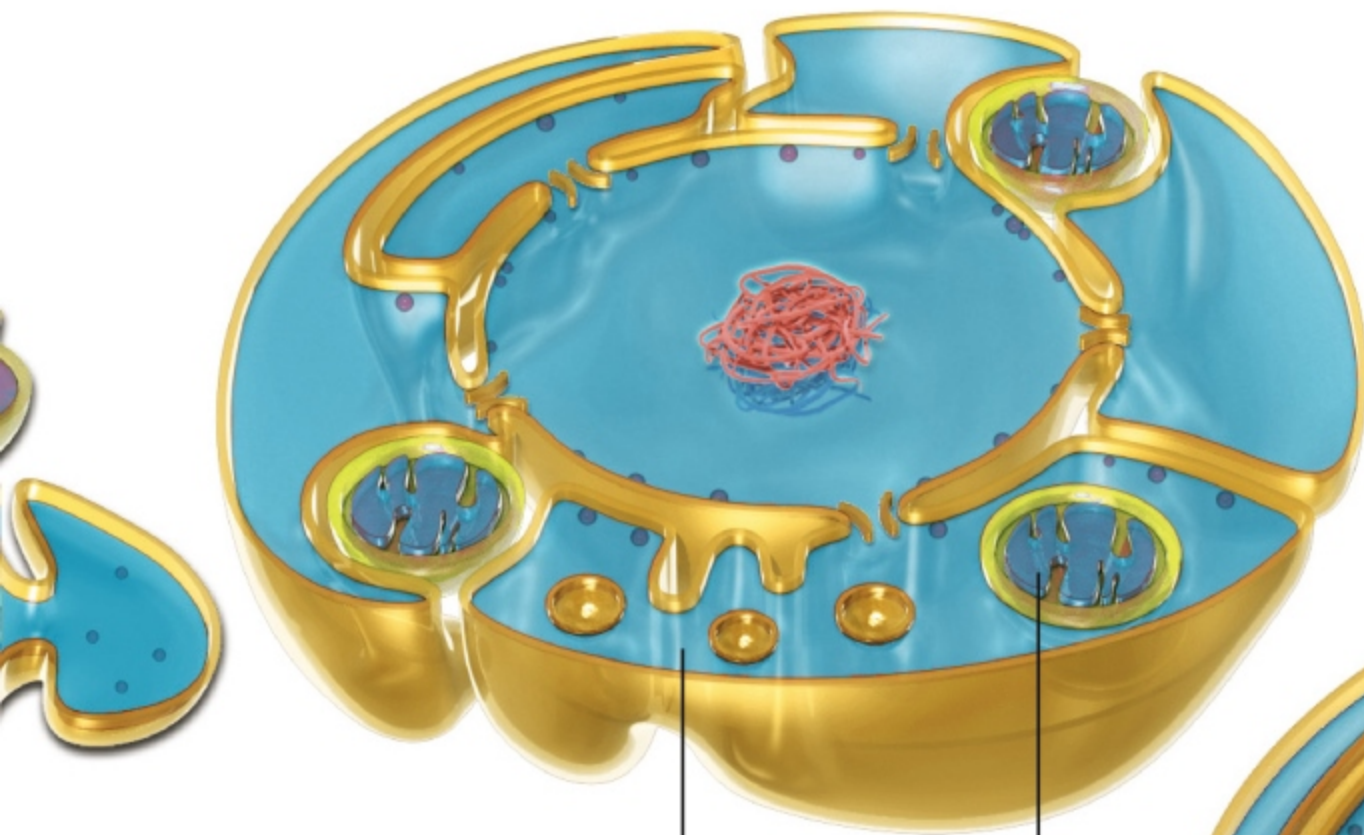
B. BOURGEOIS - DR



DAVID BAUM

Spécialiste de l'évolution, université du Wisconsin (Etats-Unis)

Quand j'ai réalisé que mon scénario résolvait certains mystères, ce fut la révélation que oui, ça pouvait être vrai!



4 ... puis fusionnent...

Les excroissances (futur cytoplasme) prennent les bactéries symbiotiques dans leur réseau de membranes et fusionnent : ces bactéries deviendront des mitochondries.

pharmacologie et de biologie structurale (CNRS), à Toulouse. Qui souligne néanmoins un point moins convaincant de l'étude, lié au rôle des mitochondries. Mais discuter le scénario, c'est déjà le prendre au sérieux.

David Baum conduit actuellement une série d'analyses génétiques pour tester justement ses idées sur ce point. Quant à son cousin, il s'est lancé dans des expériences chez des eucaryotes et des archées. Tous deux ont une série de prédictions qu'ils voudraient tester pour que le mystère de la naissance de nos cellules soit enfin résolu. Et que le débat soit tranché : au début "l'œuf" ; et ensuite "la poule".

A consulter : la publication des chercheurs (en anglais) et leur conférence sur le sujet.
A voir : des dossiers sur la cellule et les hypothèses sur son origine.

Excroissance
(futur cytoplasme)

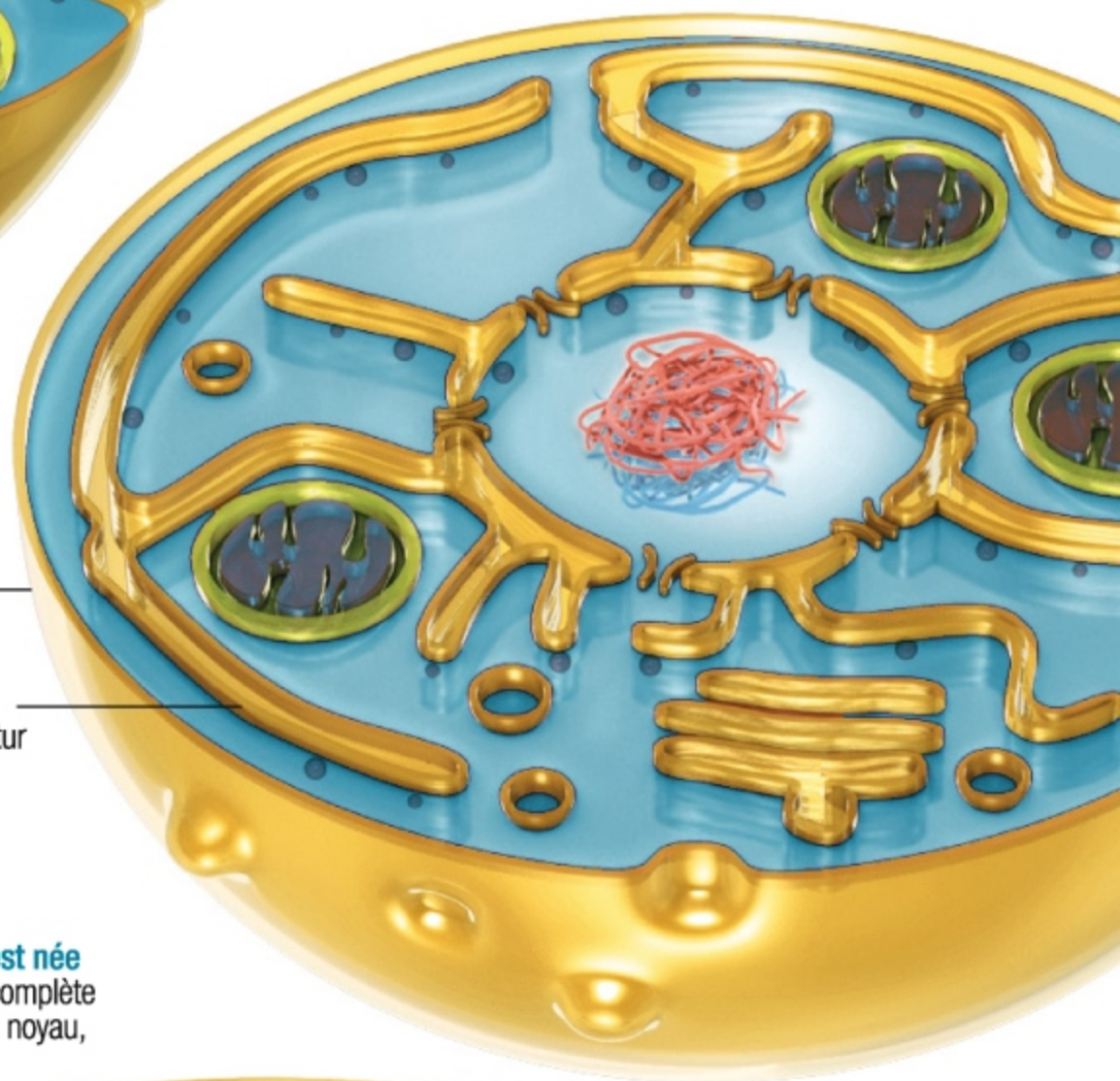
Bactérie (future
mitochondrie)

Membrane
externe

Membranes des
excroissances (futur
réticulum)

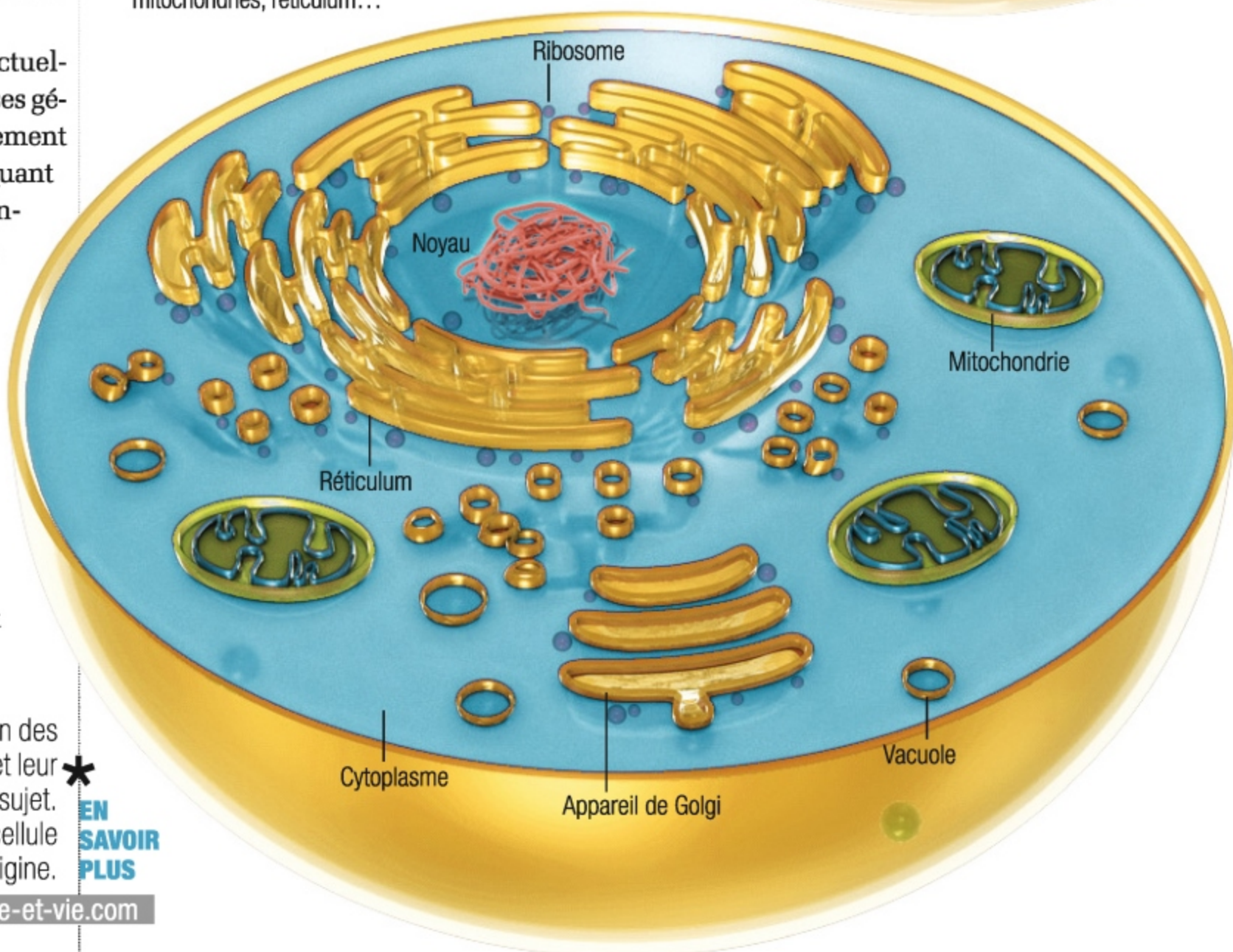
5 ... provoquant la formation d'une membrane externe

A l'extérieur, une nouvelle membrane se forme. A l'intérieur, l'organisme se complexifie autour du noyau : les membranes forment un rudiment de réticulum (réseau interne nécessaire à la synthèse des protéines).



6 Une cellule eucaryote est née

La cellule eucaryote est complète avec toute sa structure interne : noyau, mitochondries, réticulum...



Ribosome

Noyau

Mitochondrie

Réticulum

Cytoplasme

Appareil de Golgi

Vacuole



Contexte

Après trente ans de simulation du climat de la Terre, les climatologues disposent aujourd'hui de modèles assez robustes et précis pour pouvoir faire des prévisions locales, en zoomant sur de petites régions. Avec, à la clé, la découverte de connexions inattendues entre des points éloignés du globe.

GETTY - G. CIRADE

**Les effets surprenants
de l'homme sur le climat**

QUEL CHAOS!

C'est un phénomène aussi fascinant qu'inattendu : des activités humaines – telles que déforestation ou pollution – transforment le climat... à des milliers de kilomètres de l'endroit où elles ont lieu ! Tout juste découvertes, ces “téléconnexions” climatiques s'annoncent comme une nouvelle frontière de la climatologie. En voici trois exemples spectaculaires, mis en évidence grâce à des simulations toujours plus précises et puissantes. Trois cas d'école qui montrent que tout est lié sur notre petite planète. Et chaotique.

Par **Yves Sciama**

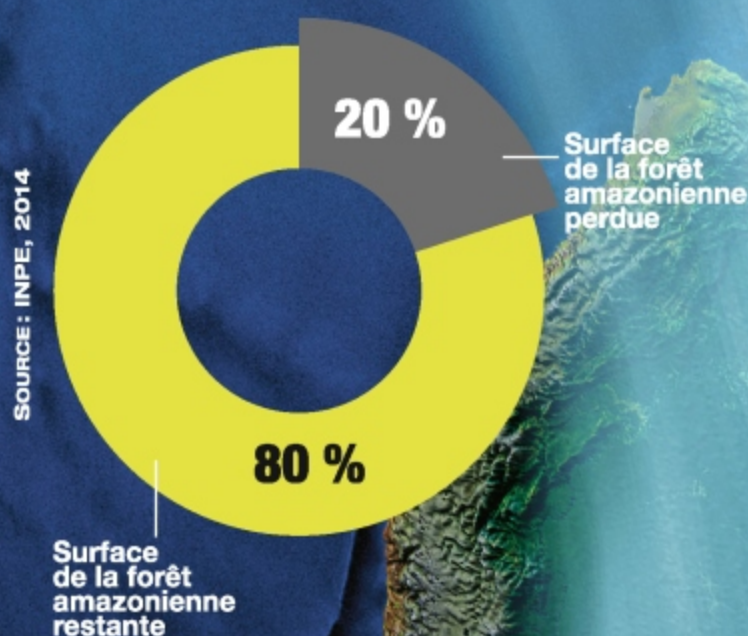
Quand la déforestation en Amazonie provoque une sécheresse en Californie

Et si l'actuelle sécheresse californienne était due à la déforestation en Amazonie, 8 000 km au sud ? L'hypothèse demande à être confirmée, mais des chercheurs de Princeton, qui ont utilisé un modèle climatique dernier cri pour simuler les effets d'une déforestation amazonienne radicale, ont constaté un net assèchement du nord-ouest des Etats-Unis : 20 % de précipitations en moins, et 50 % de réduction des neiges.

1

20 % de la forêt amazonienne ont disparu...

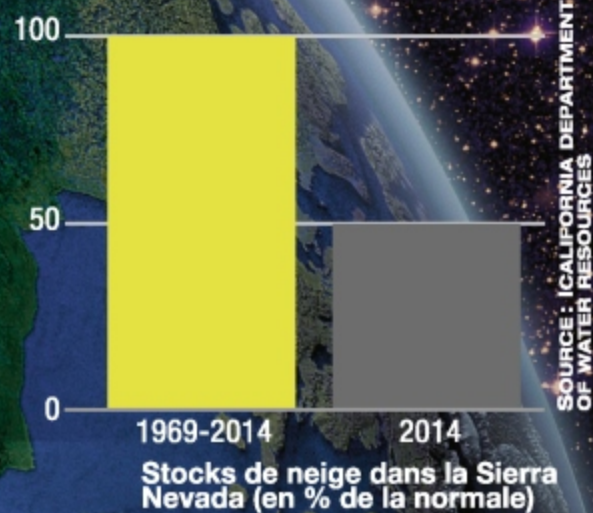
La déforestation en Amazonie, difficile à mesurer précisément, aurait d'ores et déjà emporté environ 20 % du plus grand massif forestier de la planète, qui couvre quelque 550 millions d'hectares. Ce pourcentage pourrait atteindre les 40 % en 2050. Les choix politiques seront importants : ainsi, le Brésil, qui avait adopté des lois protectrices efficaces depuis quelques années, semble les remettre en cause.



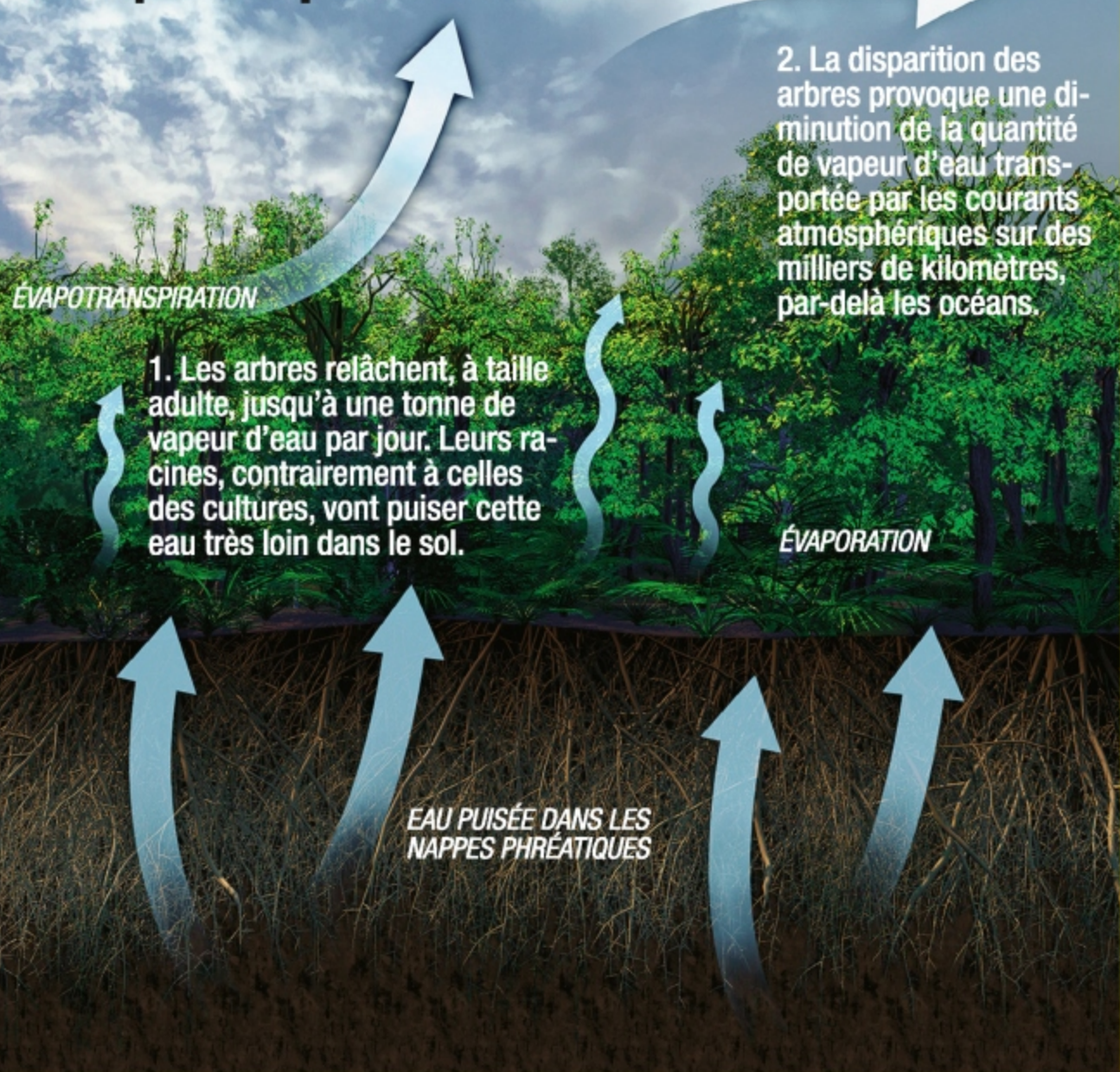
2

... provoquant un déficit d'eau dans le sud des Etats-Unis

A l'entrée de cet hiver, et au terme de trois années de sécheresse, la Californie présentait, selon la Nasa, un déficit pluviométrique record de 40 milliards de tonnes d'eau. Quant au volume d'eau stocké sous forme de neige sur la Sierra Nevada, il aurait diminué de moitié. De quoi mettre en péril l'auto-suffisance alimentaire des Etats-Unis, qui produisent dans cette région la majorité de leurs fruits et légumes.



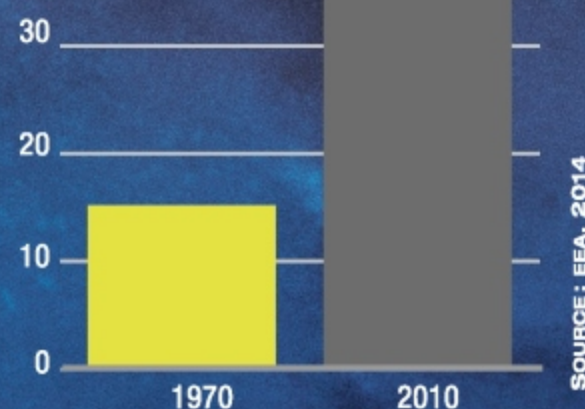
Moins d'arbres signifie moins de vapeur d'eau transportée par les vents



1 En Asie, la pollution aux particules est devenue telle...

L'extraordinaire développement de l'Asie durant ces dernières décennies a été alimenté par la combustion du charbon, souvent dans des centrales de basse qualité. Il en a résulté une énorme production de particules de suies, de métaux et de sulfures, captées par les flux dominants et emportées sur le Pacifique. Désormais, cette pollution est en baisse pour la Chine, mais elle accélère en Inde et dans les autres pays.

Emissions d'aérosols en Asie
(en millions de tonnes)

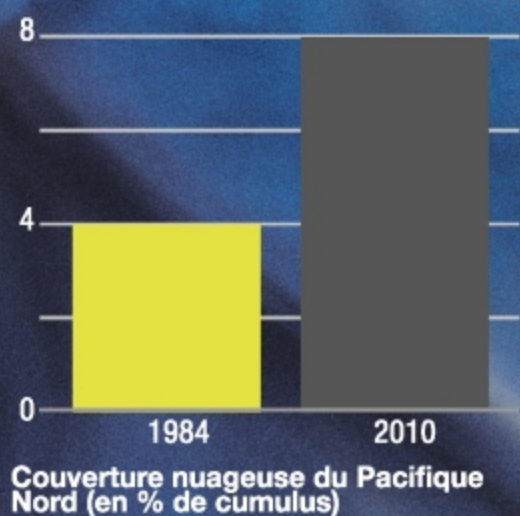


Quand la pollution asiatique alimente des dépressions dans le Pacifique

C'est un véritable panache de particules diverses que projettent depuis trente ans dans l'atmosphère la Chine, l'Inde et le reste de l'Asie, les ateliers du monde. Des chercheurs de la Nasa ont fait tourner leur modèle et observé que ces particules alimentaient les tempêtes du Pacifique Nord qui, dopées, sont devenues 10 % plus hautes, plus puissantes et pluvieuses.

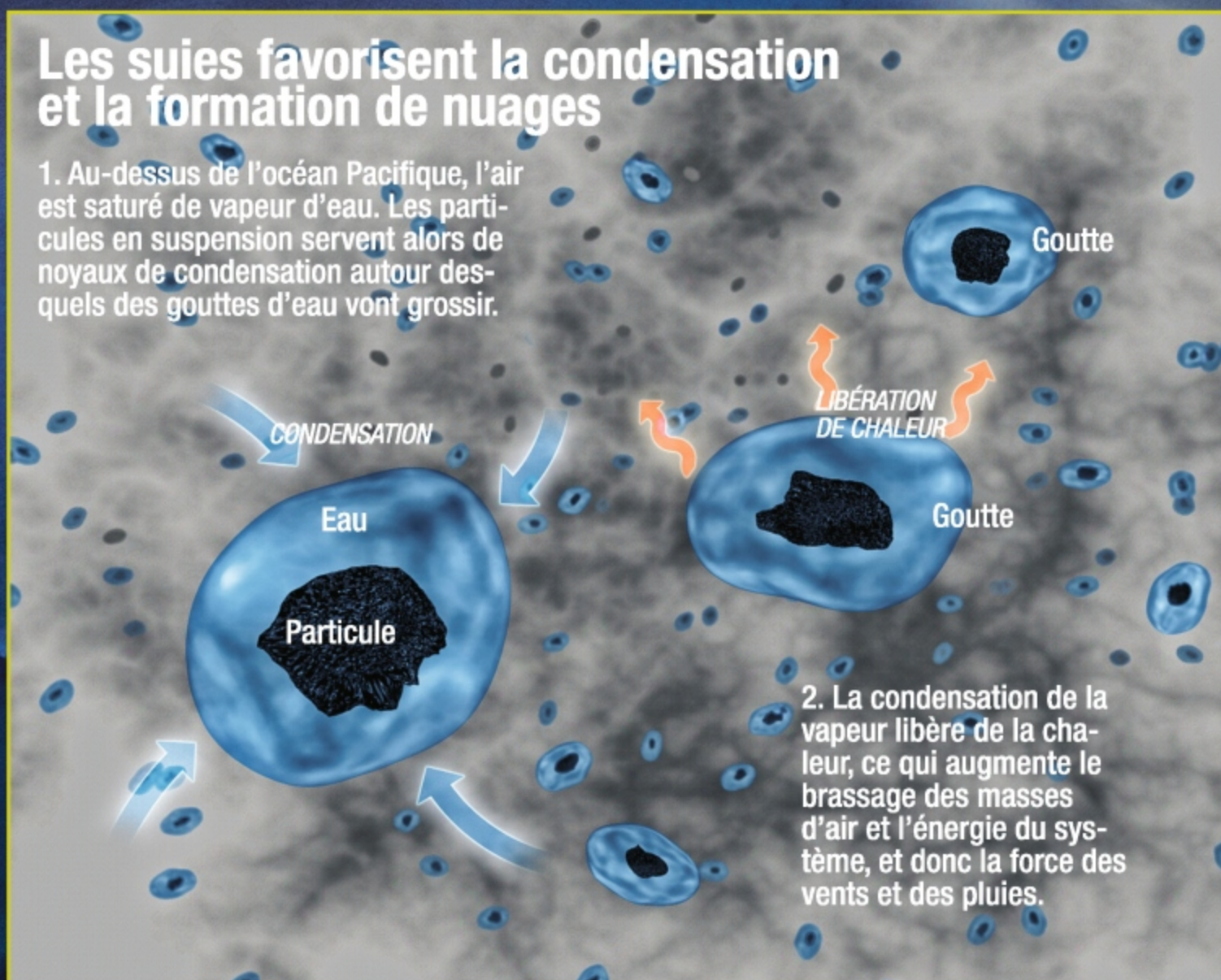
... qu'elle renforce les tempêtes hivernales sur le Pacifique

L'effet amplificateur des polluants atmosphériques asiatiques sur les tempêtes du Pacifique Nord a été à la fois constaté par les mesures satellites, et reproduit en utilisant des modèles de prévision météo. Les conditions particulières au-dessus de cet océan éloigné de tout continent, où les sulfates comme les suies sont désormais trois fois plus abondants qu'il y a trente ans, expliquent le phénomène.



Les suies favorisent la condensation et la formation de nuages

1. Au-dessus de l'océan Pacifique, l'air est saturé de vapeur d'eau. Les particules en suspension servent alors de noyaux de condensation autour desquels des gouttes d'eau vont grossir.

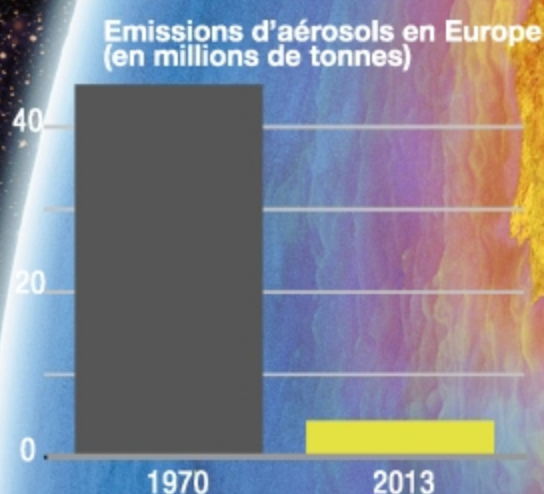


2. La condensation de la vapeur libère de la chaleur, ce qui augmente le brassage des masses d'air et l'énergie du système, et donc la force des vents et des pluies.

G.CIRADE - M.KONTENTE

1 La diminution de la pollution en Europe réchauffe l'air...

Depuis les années 1980, la pollution atmosphérique, quoique encore trop élevée, a beaucoup baissé en Europe, sous l'effet conjugué d'une réglementation plus stricte et de la délocalisation d'industries en Asie. Son parasol de poussières et de nuages (qui s'étend jusqu'en Afrique du Nord) se réduisant, le continent s'est nettement réchauffé.



Quand la réduction des aérosols en Europe ramène la pluie au Sahel

Les terribles sécheresses qui ont frappé le Sahel dans les années 1970-80 font partie des phénomènes climatiques les plus meurtriers de la seconde moitié du XX^e siècle. La déforestation et le réchauffement climatique ont d'abord été suspectés. Mais depuis 2011, au moins trois études, fondées sur différents modèles, ont incriminé la pollution atmosphérique européenne, qui aurait décalé les pluies équatoriales vers le sud. Et de fait, alors que cette pollution régresse, la pluviométrie dans le Sahel semble commencer à se rétablir depuis les années 1990.

Moins d'aérosols dans l'atmosphère modifie le déplacement des pluies

1. Les aérosols soufrés réfléchissent une partie des rayons du soleil. Moins d'aérosols signifie que moins de rayons solaires sont réfléchis : l'air se réchauffe.

Rayon solaire réfléchi

2. En favorisant la formation de gouttelettes, les aérosols augmentent la durée de vie et l'épaisseur des nuages, qui réfléchissent eux aussi les rayons du soleil. Moins d'aérosols, c'est moins de nuages. Résultat : il se crée un système d'aspiration qui "attire" l'air marin, chargé d'humidité.

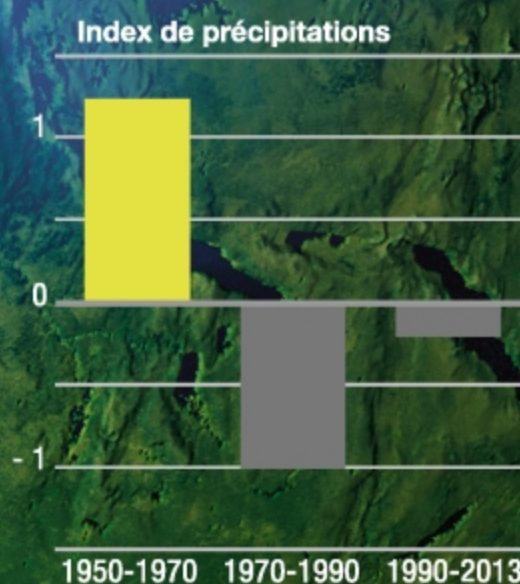
Aérosol

Nuage

2

... ce qui fait remonter les pluies sur le Sahel

La ceinture équatoriale des pluies est "attirée" par la chaleur : le réchauffement de l'Europe a donc contribué à la décaler vers le nord. Ce qui a renforcé les précipitations sur la zone sahélienne et favorisé l'entrée d'air marin humide. Les pluies ne sont pas encore revenues à leur niveau moyen et se montrent plus variables qu'autrefois, mais la tendance générale est favorable.



SOURCE : JISAO, 2014

Suicide

Il cache une vraie maladie

Adversité sociale, problèmes psychologiques... Pas seulement ! Derrière le passage à l'acte se cachent aussi des prédispositions biologiques. Une découverte qui change la vision de ce fléau.

Par **Lise Barnéoud**

Ainsi nous ne sommes pas tous égaux face au suicide. Ainsi certains sont prédisposés à passer à l'acte, et pas d'autres. Ainsi cela ne se passerait pas seulement dans la tête, mais dans le corps !

Voilà qui change du tout au tout la perception de ce qui, au-delà des statistiques (toutes les 40 s, une personne meurt de suicide dans le monde ; et environ vingt fois plus font des tentatives), reste un mystère.

Car qui peut dire ce qui pousse quelqu'un à se "tuer lui-même", selon l'étymologie du mot suicide ?

Depuis les premiers écrits médicaux (comme ceux d'Hippocrate, 400 ans av. J.-C.) ou philosophiques (Hégésias, 300 ans av. J.-C.), la question n'a cessé d'embêter.

Pour devenir un fait social à la fin du XIX^e s. En 1897, le sociologue Emile Durkheim publie son fameux livre *Le Suicide*, qui élucide le fait que certains attentent à leur vie essentiellement en raison de facteurs extérieurs, professionnels (chômage, harcèlement...) ou affectifs (divorce, rupture, perte d'un proche...). Une vision devenue dominante par la suite, d'autant plus qu'elle est

nettement corroborée par les statistiques.

Pour autant, le fait social n'épuise pas le sujet : nombre de personnes vivant des situations catastrophiques arrivent à faire face, sans se suicider.

Pareillement, si les médecins constatent que près de 90 % des personnes qui se suicident souffrent d'une maladie mentale – surtout dépression mais aussi schizophrénie





et troubles bipolaires –, ils constatent aussi que moins de 20 % de personnes atteintes de ces troubles passent à l'acte.

LE “CERVEAU SUICIDAIRE”

Autrement dit, l'adversité sociale et les troubles psychologiques sont deux conditions nécessaires... mais elles ne suffisent pas à résoudre la grande équation du “passage à l'acte”.

Et justement, depuis quel-

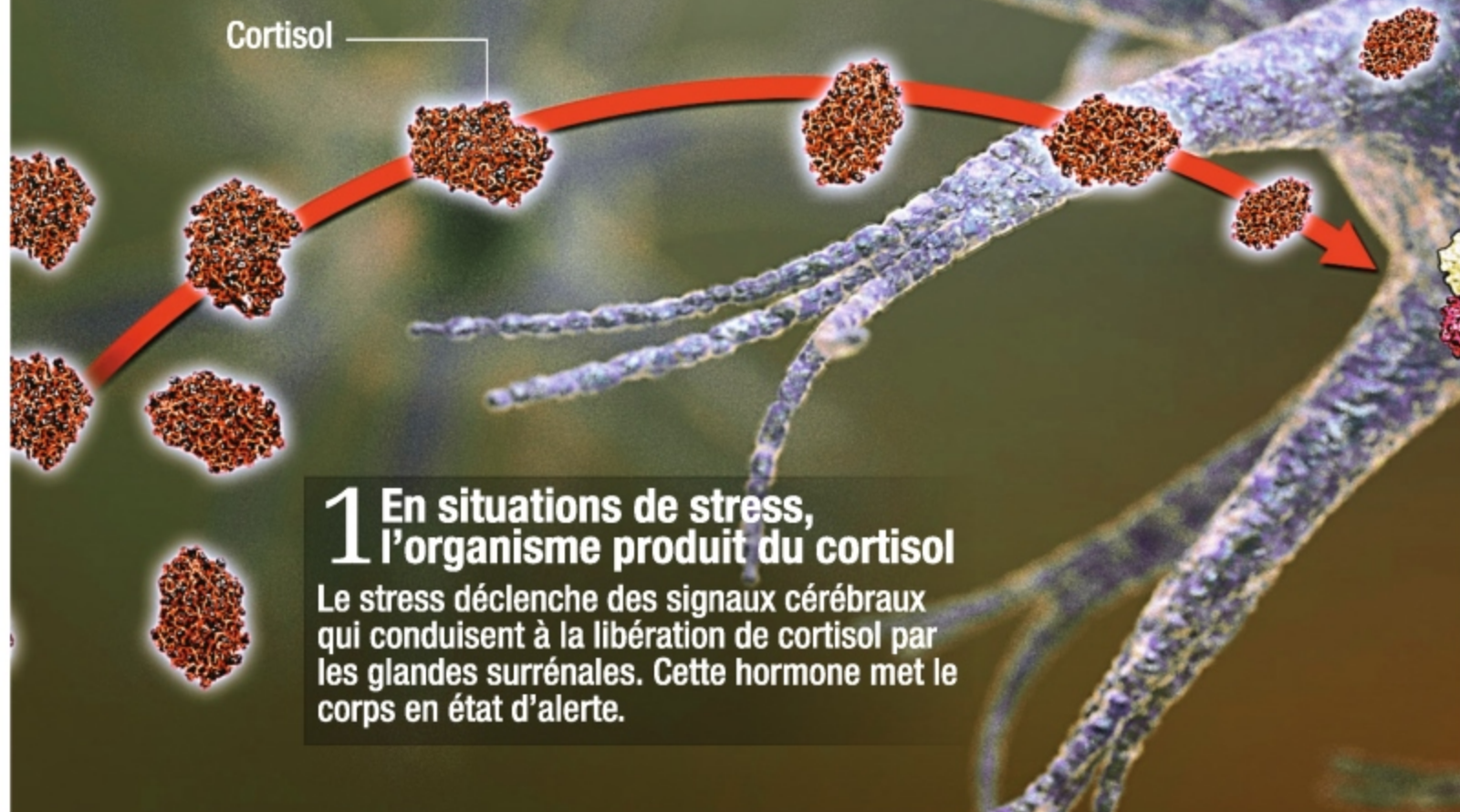
ques années, l'irruption des neurosciences, de la biologie moléculaire et de la génétique révolutionne la compréhension de ce geste ultime. Car “elles indiquent que le suicide serait une maladie biologique à part entière!” affirme Philippe Courtet, professeur de psychiatrie à l'université de Montpellier, qui dirige le groupe de recherche “Vulnérabilité aux conduites sui-



Le contexte

Plus de 800 000 personnes se sont suicidées dans le monde en 2012 (OMS). La surmortalité masculine par suicide existe presque partout sauf en Chine. En France, l'espérance de vie est élevée ; le taux de suicide y est parmi les plus hauts en Europe (1 décès sur 50). Une récente étude de l'Inserm a montré que le taux de décès par suicide augmente avec le taux de chômage. Près de 600 suicides pourraient être attribués à la hausse du chômage en France de 2008 à 2010. Si les difficultés sociales comptent dans le passage à l'acte, nombre de personnes vivant des situations difficiles ne se suicident pas. Posant la question d'une prédisposition biologique au suicide.

Quand le suicide cache... un défaut de récepteurs de "l'hormone du stress"



→ cidaire". Les éléments de preuve apparaissent d'ores et déjà si clairs que nombre de médecins et de chercheurs estiment désormais que seules les personnes porteuses d'une vulnérabilité d'origine biologique se suicident.

Un complet renversement de perspective ! Qui met actuellement la recherche en ébullition : sur cette base, elle ne cesse de faire émerger de nouvelles pistes de dysfonctionnement qui, chacune, enfonce le clou en révélant les rouages biomoléculaires de ce que Gustavo Turecki, de l'université McGill, au Canada, appelle le "cerveau suicidaire".

Hormones, modifications autour des gènes... Telles sont les premières clés biologiques qui conduiraient certains à se suicider. Et ce n'est que le début. "Nous sommes en train d'emboîter les pièces d'un puzzle, de comprendre comment ces différents rouages biologiques interagissent et entraînent cette vulnérabilité au suicide", affirme Philippe Courtet.

Ce spécialiste du suicide lance cette année un projet

d'étude qui vise précisément à décortiquer le dernier mécanisme mis au jour : le système inflammatoire cérébral. Sachant que l'inflammation d'un tissu ou d'un organe se définit par un ensemble de réactions de défense du système

immunitaire, qui aboutissent à la production de molécules dites inflammatoires.

INFLAMMATION CÉRÉBRALE

De fait, plusieurs études récentes indiquent que le cerveau des personnes suicidaires possède des taux de molécules inflammatoires plus élevés que les autres. Ainsi, en dosant l'acide quinolinique, marqueur de l'inflammation, dans le liquide présent autour du cerveau de 100 volontaires suédois, dont 64 avaient fait une tentative de suicide, des chercheurs ont montré en 2012 que ceux qui étaient les plus déterminés à mourir présentaient les concentrations les plus élevées.

Idem dans des études post mortem, qui font état d'un excès de cytokines dans certaines régions du cerveau des suicidés.

Ces données qui éclairent la piste génétique dans la conduite suicidaire

Les spécialistes possèdent déjà quelques données épidémiologiques troublantes : un individu risque ainsi 3 à 6 fois plus de passer à l'acte lorsqu'un apparenté de premier degré (parent, frère ou sœur) a déjà fait une tentative. A elles seules, ces données ne permettent pas de savoir si la raison est uniquement liée à un environnement social "à risque" partagé... ou s'il existe des facteurs héréditaires. Pour aller plus loin, il faut se référer à de rares mais solides études réalisées sur des jumeaux ces vingt dernières années : lorsqu'il y a suicide d'un jumeau, l'autre jumeau fera des tentatives dans 6 à 35 % des cas s'il s'agit d'une vraie gémellité, mais dans moins de 1 % des cas chez de faux jumeaux. Ce n'est pas tout. Des études sur des personnes adoptées dans leur enfance ont montré que le sur-risque de mourir par suicide n'existait que chez les apparentés biologiques des suicidés, et non les apparentés adoptifs.

2 Or, chez les personnes suicidaires, les récepteurs du cortisol sont en nombre insuffisant

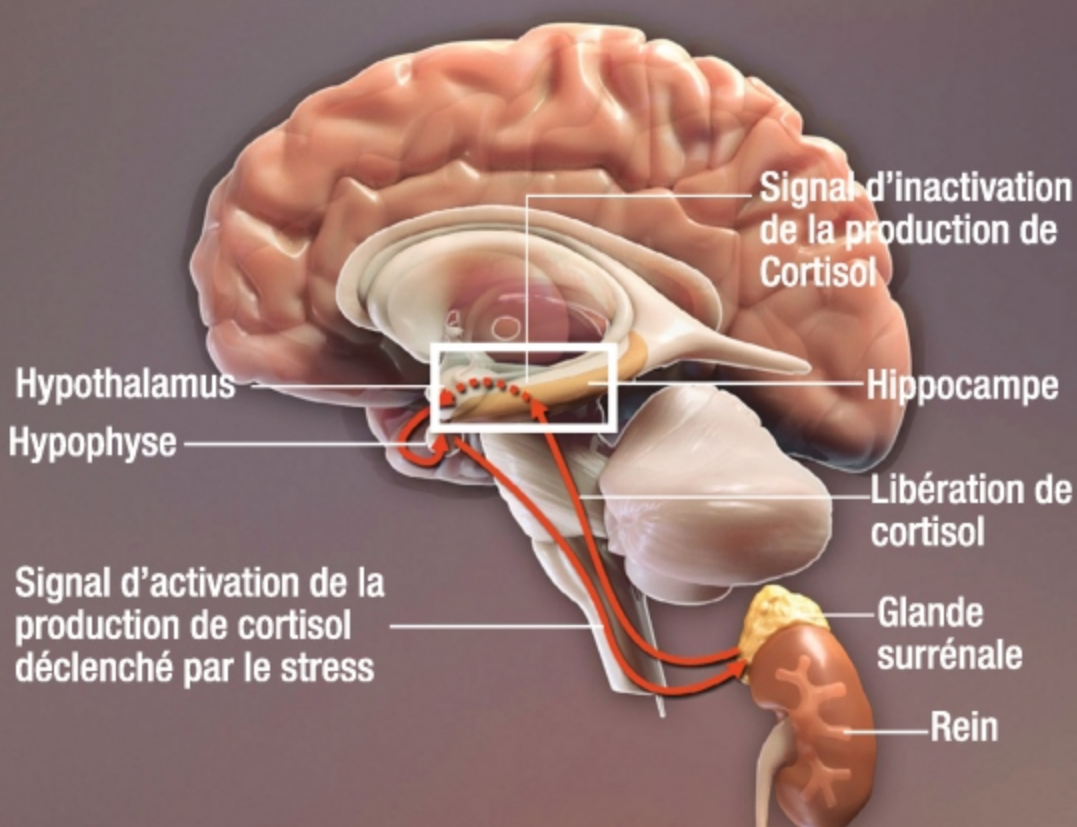
Des modifications, dont certaines sont génétiques, perturberaient la synthèse des récepteurs du cortisol dans les neurones de l'hippocampe.

Récepteur du cortisol

3 Le signal de réception du cortisol est affaibli

Le message qui permet normalement de stopper la production de cortisol n'est pas transmis correctement.

La production de cortisol s'emballe car le message de surproduction de cortisol n'est pas efficace



“Notre hypothèse est que ces individus sont plus sensibles aux situations de stress sociaux, qu'ils ont plus vite le sentiment d'être exclus, et que ces situations stressantes entraînent une réponse inflammatoire cérébrale”, explique Philippe Courtet. Et c'est cette inflammation cérébrale chronique qui ferait que certains passent à l'acte et pas d'autres.

Au passage, voilà qui éluciderait une observation fortuite :

certaines anti-inflammatoires, telle la kétamine, utilisés en tant qu'anesthésiants, semblent aussi efficaces pour calmer les idées suicidaires !

L'intérêt de ce tout nouveau rouage, c'est qu'il s'emboîte parfaitement avec les autres pièces du puzzle déjà identifiées. Notamment avec l'engrenage clé qui a mobilisé jusqu'ici l'attention de nombreux chercheurs, appelé “l'axe du stress”. Ce sys-

tème biologique prépare notre corps aux réactions rapides indispensables à notre survie, comme lorsqu'il s'agit de fuir devant un danger, en libérant des hormones, dont le cortisol.

Or, des analyses montrent que chez les personnes déprimées et suicidaires, les systèmes de rétrocontrôle visant à stopper les réactions d'urgence semblent mal fonctionner. *“L'emballement de la sécrétion de cortisol a été observé dans plusieurs méta-analyses chez les personnes déprimées et suicidaires”,* résume Philippe Courtet.

Plusieurs hypothèses sont à l'étude sur l'origine de cet emballement incontrôlé. L'une d'elles concerne l'inflammation chronique du cerveau, des chercheurs ayant montré qu'elle peut entraîner, par effet cascade, une hyperactivation de la sécrétion de cortisol.



MICHEL SAEMANN - D.R.

“

PHILIPPE COURTET
Professeur de psychiatrie
à l'université de Montpellier

Diverses études indiquent que le suicide serait une maladie biologique à part entière



MARIE ÅSBERG
Psychiatre à l'institut Karolinska, à Stockholm

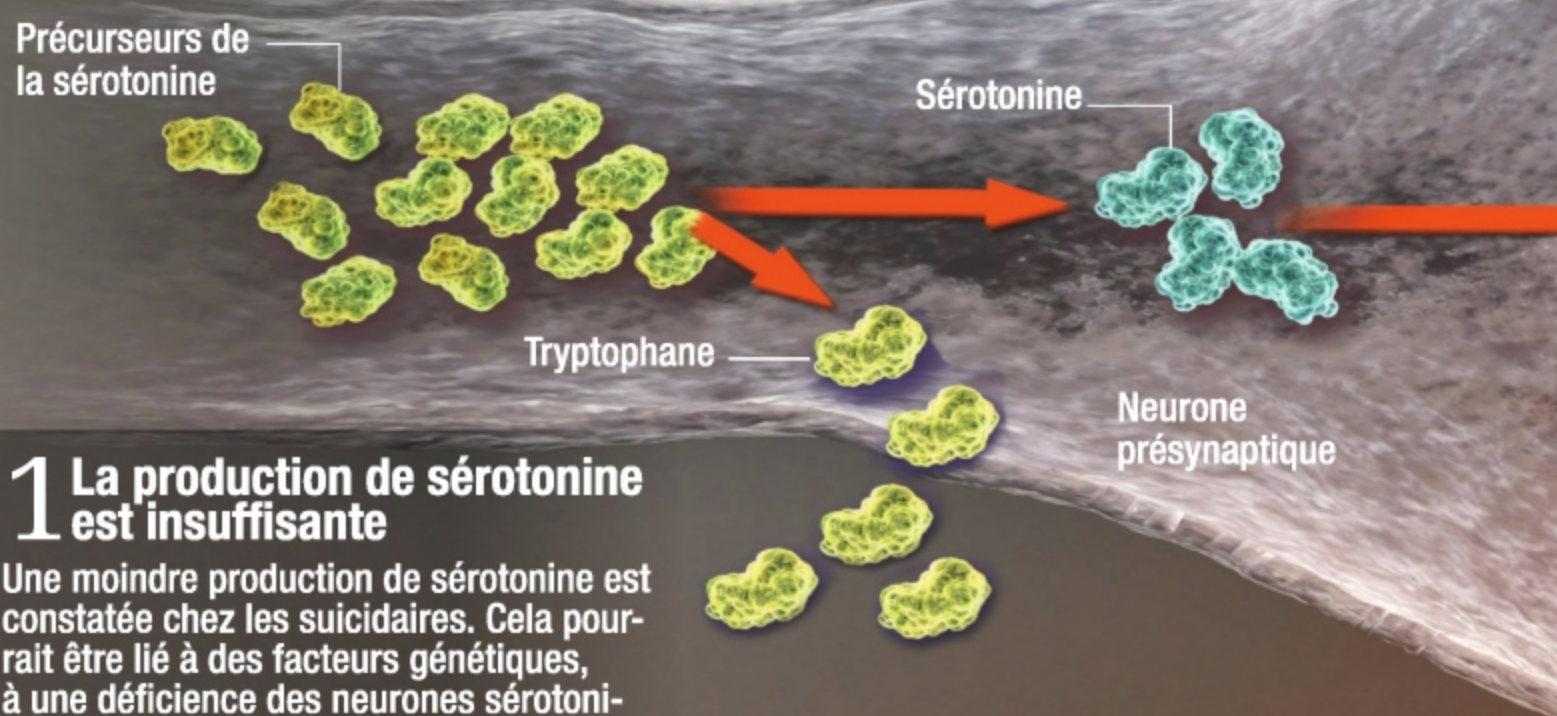
Le principal composé de la sérotonine est peu présent chez les patients suicidaires

→ “Mais cela marche aussi dans l'autre sens : les anomalies de l'axe du stress peuvent entraîner une inflammation permanente dans le cerveau”, prévient le spécialiste. Comme dans un cercle vicieux où l'inflammation dérègle l'axe du stress qui lui-même alimente l'inflammation.

Plus récente, une autre hypothèse remonte jusqu'aux gènes liés aux hormones de l'axe du stress. Et plus précisément à de subtiles modifications de ces gènes, dont les chercheurs ont observé qu'elles permettaient de prédire à plus de 90 % dans quelle tête trottaient des idées suicidaires.

Détail important : ces modifications ne sont pas inscrites dans le code génétique des personnes suicidaires. Il s'agit

Quand le suicide cache... un défaut de production de la “molécule du bonheur”



1 La production de sérotonine est insuffisante

Une moindre production de sérotonine est constatée chez les suicidaires. Cela pourrait être lié à des facteurs génétiques, à une déficience des neurones sérotoninergiques ou à une moindre disponibilité en précurseurs de la sérotonine.

de groupements chimiques qui modifient la disposition de l'ADN dans l'espace, au point d'empêcher la lecture de certaines portions de gènes par la machinerie cellulaire et donc la synthèse des protéines codées par ces bouts de génome. C'est ce qu'on appelle des modifications épigénétiques.

Car le fait est aujourd'hui prouvé : sous la pression extérieure (traumatisme, famine...), le fonctionnement des gènes d'un individu peut se modifier. Des expériences menées sur des rongeurs ont même montré que ceux qui avaient été privés de soins maternels étaient porteurs de ces dérégulations.

Forts de ce constat, des chercheurs canadiens ont, en 2009, comparé dans les cerveaux de personnes décédées par suicide le profil épigénétique d'un de ces gènes (codant pour le récepteur des glucocorticoïdes, qui joue un rôle important dans les ré-

ponses aux stress). Et le résultat s'est révélé étonnant : ceux qui avaient été maltraités durant leur enfance présentaient un profil “anormal”. Le stress causé par la maltraitance avait entraîné des modifications épigénétiques sources d'une plus grande vulnérabilité biologique au suicide.

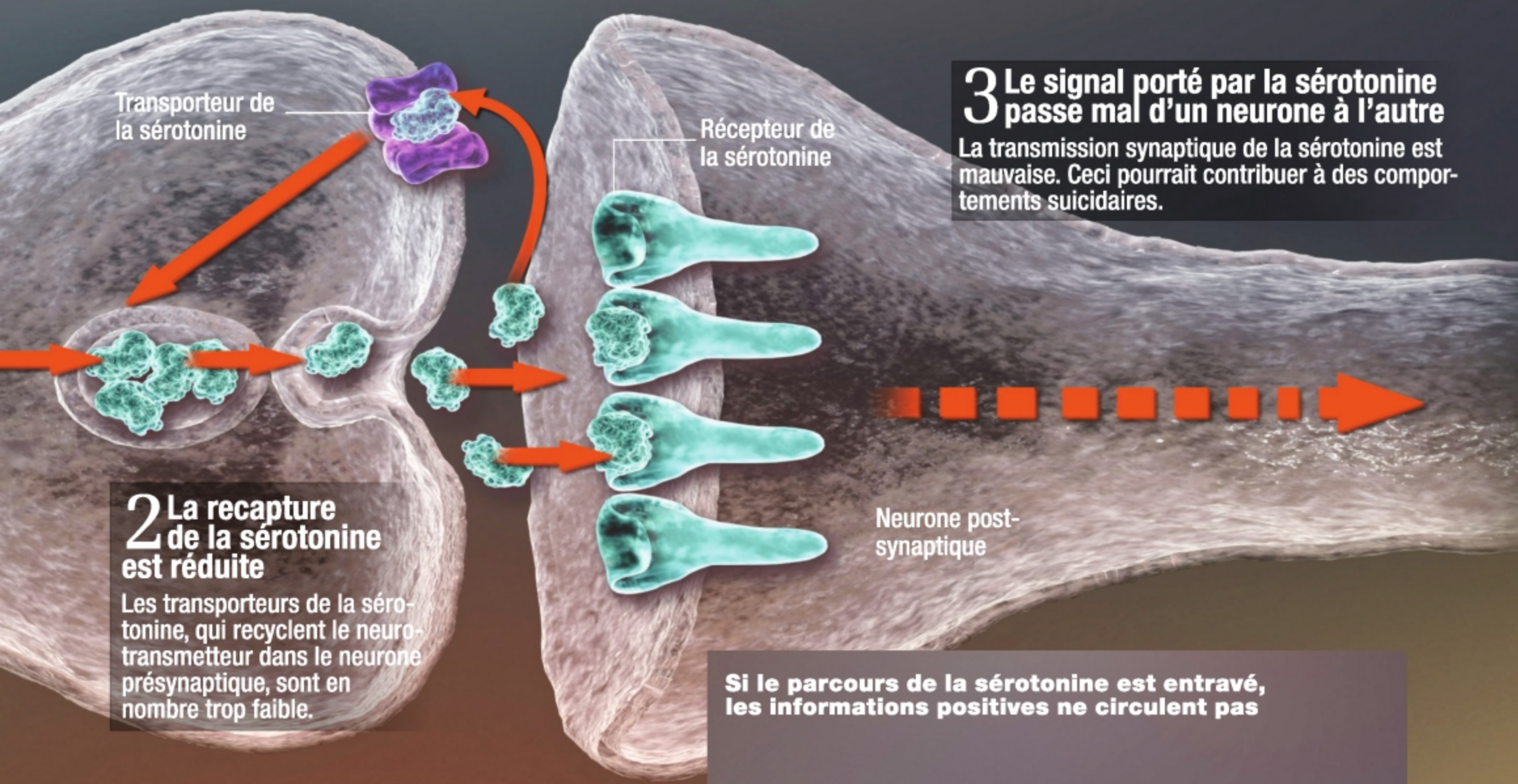
Or, “les maltraitances dans l'enfance affecteraient près de 30 % des personnes qui connaissent des épisodes suicidaires”, note Fabrice Jollant, psychiatre au sein du Groupe McGill d'études sur le suicide (Montréal). *Les gènes fixent un cadre et l'environnement vient mettre son grain de sel, dès la conception et tout au long de la vie pour moduler tout cela*.”

LA SÉROTONINE EN PANNE

Ce n'est pas tout. Car un autre grand rouage biologique de la vulnérabilité au suicide a été mis en évidence. Il concerne cette fois la sérotonine. Ce neurotransmetteur est chargé,

Jargon

Modifications épigénétiques : par opposition aux altérations du code génétique, ces modifications touchent des ensembles de molécules situés autour de l'ADN. Conséquence : des gènes, dont la séquence ADN n'a pas varié, ne pourront plus être utilisés de la même manière par les cellules.



dans notre cerveau, de réguler notre humeur, mais aussi notre appétit et notre sommeil. A concentration élevée, il favorise le calme, rend optimiste: c'est "la molécule du bonheur". A l'inverse, une faible concentration de sérotonine est associée à des comportements impulsifs et agressifs.

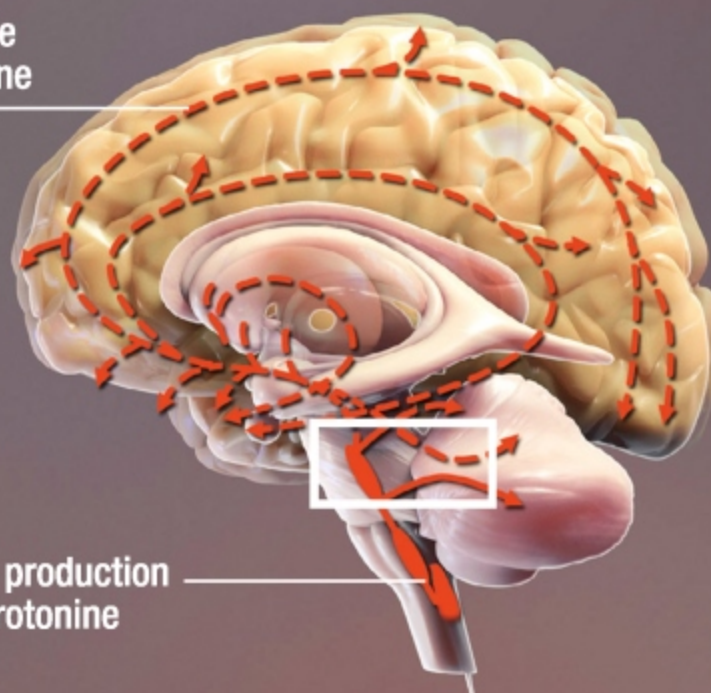
Or, des mutations génétiques pourraient jouer un rôle dans un dysfonctionnement du circuit de la sérotonine. Des chercheurs suédois ont observé chez des personnes suicidaires des anomalies sur des gènes codant pour les protéines impliquées dans les transporteurs et les récepteurs de la sérotonine.

C'est en tentant de comprendre le fonctionnement des antidépresseurs que des chercheurs suédois, dans les années 70, avaient entrevu le rôle de la sérotonine dans le suicide. "A l'époque, la sérotonine semblait impliquée dans la dépression, et des données

Si le parcours de la sérotonine est entravé, les informations positives ne circulent pas

Parcours de la sérotonine dans le cerveau

Zone de production de la sérotonine



suggéraient que les personnes déprimées possédaient de faibles taux du principal métabolite de la sérotonine: le 5-HIAA", retrace Marie Åsberg, psychiatre à l'Institut Karolinska à Stockholm.

Surprise: les concentrations relevées dans le liquide céphalorachidien des personnes déprimées se répartissaient clairement en deux groupes, l'un présentant un taux normal, et l'autre statistiquement plus faible. "Nous

avons alors cherché ce qui distinguait ces deux groupes dans leur maladie, mais n'avons d'abord rien trouvé. Nous avons donc décidé de suivre de près le groupe présentant un faible taux de 5-HIAA et avons vite eu deux suicides parmi ces patients", poursuit la chercheuse.

En épluchant à nouveau les données sur sa cohorte de 68 personnes déprimées, Marie Åsberg découvre que 40% présentant un faible taux de

→ 5-HIAA avaient déjà tenté de se suicider, contre 15 % dans l'autre groupe. *"C'était une sacrée surprise, personne ne songeait alors que les conduites suicidaires pouvaient avoir une base biologique"*, se souvient la spécialiste aujourd'hui âgée de 77 ans, pionnière dans le domaine.

Plus récemment, grâce à la tomographie à émission de positons (TEP), des chercheurs

ont pu observer la réponse du cerveau de leurs patients après leur avoir administré des médicaments qui activent la sécrétion de sérotonine. Leurs résultats concordent : ceux qui présentent l'activité la plus faible sont ceux qui ont déjà tenté de se suicider.

Plus significatif : ceux qui ont fait les tentatives les plus dangereuses, en sautant dans le vide ou en avalant beaucoup de cachets, sont ceux dont la réponse cérébrale à ces activateurs est la plus basse !

Les suicidaires seraient aussi plus sensibles à la douleur

En étudiant les prescriptions de médicaments sur près de 1 000 femmes de plus de 65 ans, l'équipe de Philippe Courtet, à Montpellier, a découvert que celles qui avaient déjà tenté de se suicider consommaient plus d'antidouleurs forts que les autres. "Notre hypothèse est que les suicidaires ont une perception accrue de la douleur, qu'elle soit physique, psychologique ou sociale", résume le psychiatre. La neuro-imagerie montre en effet de nombreux points communs aux divers types de douleur. En outre, le circuit de la sérotonine, mis en cause dans la vulnérabilité au suicide, intervient aussi dans les mécanismes de la douleur. Enfin, cette sensibilité pourrait expliquer l'inflammation chronique observée dans le cerveau des suicidaires.

ont pu observer la réponse du cerveau de leurs patients après leur avoir administré des médicaments qui activent la sécrétion de sérotonine. Leurs résultats concordent : ceux qui présentent l'activité la plus faible sont ceux qui ont déjà tenté de se suicider.

Plus significatif : ceux qui ont fait les tentatives les plus dangereuses, en sautant dans le vide ou en avalant beaucoup de cachets, sont ceux dont la réponse cérébrale à ces activateurs est la plus basse !

Là encore, l'origine de ces anomalies reste un mystère. Une hypothèse récente est

dictifs du suicide ou suivre les personnes les plus à risque ?

Certains spécialistes veulent y croire. Et le métabolite de la sérotonine, le 5-HIAA, apparaît déjà comme un bon candidat ; mais son dosage nécessite des ponctions lombaires, ce qui n'est guère envisageable à large échelle. Le cortisol, lui, peut se doser dans le sang, quoique *"la valeur prédictive reste trop faible pour l'utiliser en milieu clinique"*, prévient Philippe Courtet.

Pour leur part, plusieurs dizaines de gènes, tous impliqués dans les différents systèmes biologiques identifiés,

sont en cours d'étude. Sachant que certaines méta-analyses suggèrent l'implication forte de plusieurs d'entre eux, notamment deux gènes du système sérotoninergique (TPH1 et 5-HTT) et un gène de l'axe du stress (SKA2).

TROP PETITE ÉCHELLE

Toutefois, ces études portent sur peu de personnes. *"Dans la plupart des cas, lorsque l'on passe à des cohortes plus larges, on perd ces signaux"*, écrit Gustavo Turecki, de l'université McGill (Canada), dans un article de *Nature Review* (décembre 2014).

Reste les marqueurs d'inflammation du cerveau, comme les cytokines ou l'acide quinolinique. Plusieurs équipes y travaillent. *"Pour le moment, les résultats de la recherche biologique, génétique, épigénétique et des imageries ne sont pas assez robustes pour permettre d'utiliser des biomarqueurs prédictifs du suicide en situation clinique"*, prévient Fabrice Jollant.

On le voit, il reste du chemin avant que des thérapeutiques se mettent en place. Mais Philippe Courtet n'en doute pas : *"Disséquer cette boîte noire de la vulnérabilité au suicide est essentiel car cela va nous permettre de découvrir de nouveaux axes de prévention ou de traitement."* D'ici là, tous les experts s'accordent sur un point : si le suicide est une maladie, ce n'est pas une fatalité. Et ça change tout.

Premier rapport de l'Observatoire national du suicide. Lien vers une publication de Gustavo Turecki, sur les pistes biologiques du suicide.

EN SAVOIR PLUS

science-et-vie.com

& Science techniques

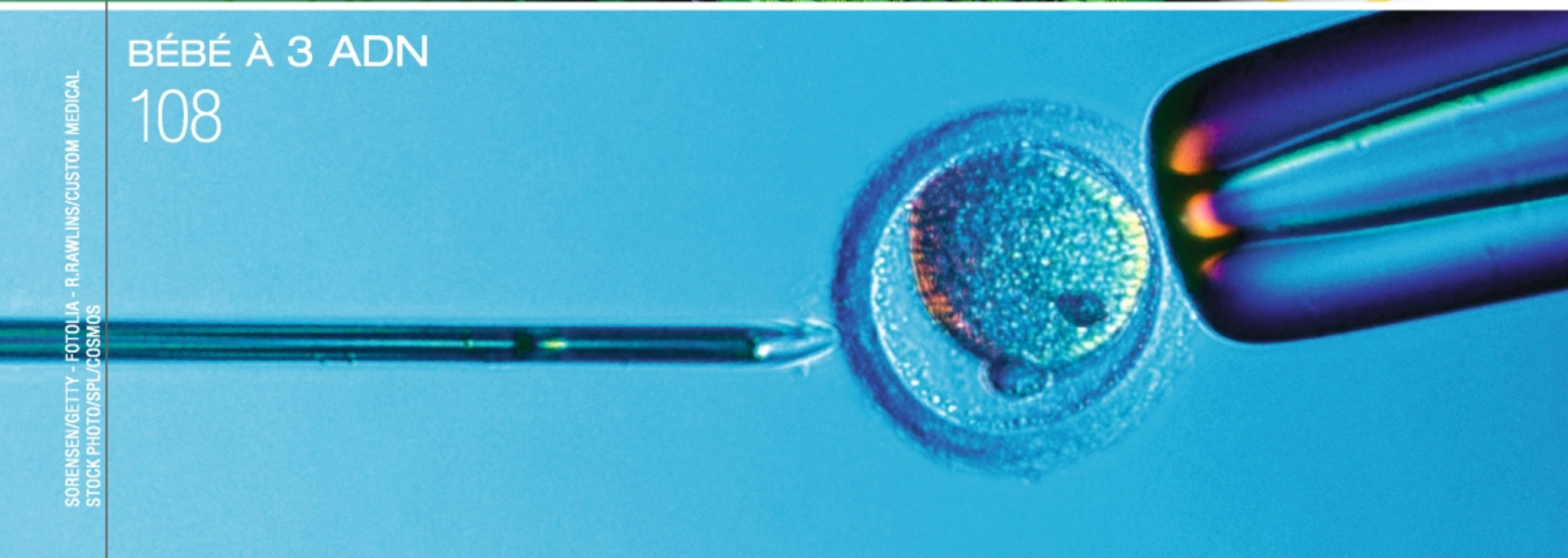
FUSION
NUCLÉAIRE
94



CODE VERT
102



BÉBÉ À 3 ADN
108




Repères

Le réacteur Iter est la voie royale vers l'exploitation de l'énergie de la fusion nucléaire. Son principe : confiner le combustible dans un réacteur en forme de tore et le chauffer à 100 millions de degrés grâce à des champs magnétiques pour provoquer la fusion des noyaux de deutérium et de tritium.

Iter





FUSION

3 machines défient Iter !

Pour maîtriser la fusion nucléaire, cette source d'énergie propre et inépuisable à l'œuvre au cœur des étoiles, 35 pays ont investi depuis trente ans dans la construction du réacteur Iter. Or voici que ces derniers mois, trois laboratoires ont annoncé avoir abouti à des résultats très spectaculaires par des voies totalement différentes ! Le cylindre magnétique de Lockheed Martin, le mégalaser NIF et le projet E-Cat de fusion froide ambitionnent chacun de faire entrer le monde dans une nouvelle ère ! La promesse est énorme... mais jusqu'où faut-il y croire ? S&V fait le point sur ces trois alternatives vers le Graal énergétique.

Par **Mathieu Grousseau**

LA PISTE DE LOCKHEED MARTIN

Fusion magnétique : leur réacteur pourrait être prêt d'ici cinq ans

L'annonce a fait grand bruit. Elle a été mise en ligne en octobre dernier sur le site Internet du géant de l'industrie spatiale, aéronautique et militaire Lockheed Martin. Le jeune physicien Tom McGuire, du Skunk Works, une entité issue d'une ancienne division secrète de la firme américaine, y promet rien moins que la mise au point d'un réacteur à fusion d'ici cinq ans, commercialisable sous dix ans ! Et ce, dans une version "de poche" tenant sur un semi-remorque, et donc susceptible d'équiper fusée interplanétaire, avion ou bateau. Autrement dit, une énergie fantastique, propre et inépuisable serait enfin à portée de main. Une sorte de Graal.

La promesse est énorme. Et le petit groupe de spécialistes qui la porte enthousiaste : *"Certes, nous n'en sommes qu'au début du processus, indique Heather Kelso, au service de communication du groupe. Mais les résultats préliminaires sont encourageants. Et plusieurs brevets qui couvrent notre approche et de nombreux sous-systèmes associés sont en instance de dépôt."*

Le brevet d'application déposé en octobre indique que, pour exploiter l'énergie de la fusion nucléaire, les chercheurs de Lockheed Martin reprennent la même approche que pour le réacteur expérimental Iter, en



^ > LEUR RÉACTEUR À FUSION EST EN FORMAT "DE POCHE"

Contrairement à Iter, les physiciens de Lockheed Martin ont choisi de confiner le gaz dans un cylindre magnétique de seulement 10 m de longueur et 7 m de diamètre... qui pourrait équiper une fusée !

construction dans le sud de la France : confiner un gaz dans une enceinte par de puissants champs magnétiques, et le chauffer au point que l'agitation thermique des noyaux atomiques légers qu'il contient leur permette de fusionner, réaction à l'origine d'un important dégagement d'énergie.

Mais les spécialistes du géant ont tout misé sur un nouveau design de réacteur : plutôt que de confiner les gaz dans une gigantesque bouée (un tore), ils ont imaginé les enfermer... dans une bouteille. Plus précisément dans un réacteur de forme cylindrique de 10 m de longueur et 7 m de diamètre, au sein duquel le

confinement est réalisé par deux "miroirs magnétiques" renvoyant en permanence les particules du plasma. Une géométrie qui, si elle fonctionne, mettrait donc la fusion à portée de (presque) tout le monde.

Alors que les spécialistes mondiaux de la fusion par confinement magnétique peinent depuis plus de cinquante ans pour réaliser leur rêve, quel est le secret des chercheurs de Lockheed Martin ? Le fait qu'ils aient derrière eux une entreprise aussi réputée et dotée d'impressionnants moyens techniques et financiers est *a priori* gage de sérieux, mais cela suffit-il pour les croire sur parole ?

Problème : il est difficile d'en savoir plus. Aucun article n'a été soumis à publication par les chercheurs qui, par ailleurs, n'ont répondu à nos sollicitations que *via* le service de presse de Lockheed Martin. Ainsi, pour

Les résultats préliminaires sont encourageants et plusieurs brevets couvrant notre approche sont en instance de dépôt

“ HEATHER KELSO

Service de communication de Lockheed Martin (Etats-Unis)





Alain Becoulet, directeur de l'Institut de recherche sur la fusion magnétique (IRFM) du Commissariat à l'énergie atomique, "il est difficile de juger du bien-fondé de leur proposition, sauf à dire qu'il y a assez peu de chances pour que ce soit magique".

Ce que l'on sait, en revanche, c'est que les machines dites à miroirs ne sont pas une nouveauté. Très étudié dans les années 1960, le concept s'est soldé en 1986 par un échec technologique... Laissant le champ libre aux réacteurs en forme de tore, dont Iter est le dernier avatar.

Comme le précise Bernard Saoutic, directeur adjoint de l'IRFM, "dans ce type de configuration, les lignes de champs magnétiques conduisent des particules à quitter le confinement au centre du réacteur, situation qui

engendre des instabilités magnétohydrodynamiques, ce qui entraîne à nouveau des pertes".

QUID DE L'INSTABILITÉ DU PLASMA ?

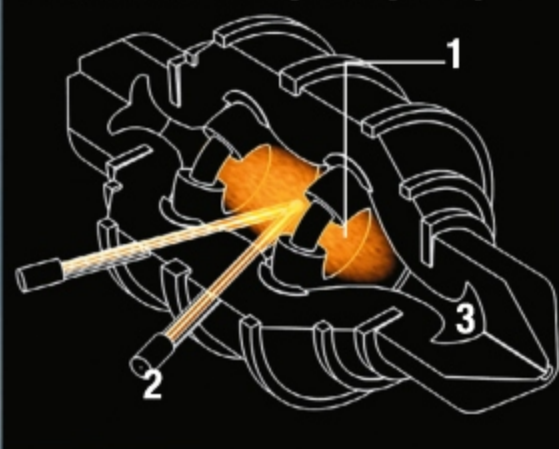
En clair : réacteur en forme de bouteille ou pas, difficile de confiner le plasma assez longtemps pour que des réactions de fusion y aient cours. Et le scientifique d'ajouter : "Apparemment, Lockheed Martin a réalisé des tests avec quelques particules afin de vérifier la qualité de leurs pistes magnétiques. Mais lorsqu'ils démarreront les expériences avec un plasma, les instabilités ruineront probablement leurs efforts."

Alain Becoulet enfonce le clou : "Cinquante ans ont été nécessaires pour comprendre et modéliser le comportement d'un plasma de

LE PRINCIPE

1. Un gaz dilué est introduit dans le réacteur. **2.** Confiné entre deux miroirs magnétiques, il est chauffé à 100 millions de degrés. **3.** Les noyaux de deutérium et de tritium fusionnent, fournissant de l'énergie et auto-entretenant la réaction.

Le réacteur à fusion nucléaire compact (CFR)



fusion par confinement magnétique. Annoncer le schéma et les dimensions d'un réacteur sans avoir présenté la moindre étude sérieuse au préalable, c'est n'importe quoi !"

Ne pourrait-on faire crédit à Lockheed Martin d'avoir mis le doigt sur une géométrie optimisée ? Au vrai, bien peu de spécialistes croient que son réacteur puisse tenir sur un semi-remorque. Car une véritable usine devrait l'entourer : installations permettant de refroidir les aimants supraconducteurs, système d'approvisionnement en tritium, infrastructures pour extraire et exploiter la chaleur... Sans oublier la problématique des matériaux capables de résister au bombardement des neutrons ultra-énergétiques ! Une problématique que le consortium qui pilote Iter n'a pas encore résolue...

Reste que Lockheed Martin n'en démord pas. Mais il va falloir qu'ils donnent des gages autrement plus sérieux que leur enthousiasme pour convaincre que leur réacteur relève bien le plus grand défi énergétique que la science ait jamais connu.

LA PISTE DU MÉGALASER NIF

Fusion par compression : ils ont enclenché le processus...

"C'est un véritable accomplissement scientifique!" Omar Hurricane n'est pas peu fier de l'exploit que son équipe et lui ont réalisé au début de l'année 2014, au sein du mégaser NIF (National Ignition Facility). *"Nous avons mis en évidence l'amorce d'un processus de fusion s'auto-entretenant"*, s'enthousiasme le chercheur du Laboratoire national Lawrence Livermore (Etats-Unis). Autrement dit, ils ont réussi à enclencher ce fameux processus qui fait rêver tous les énergéticiens du monde, capable de transformer des noyaux atomiques en chaleur mirifique, avec de l'eau pour seul déchet... Plutôt que celle d'Iter ou de Lockheed Martin, serait-ce alors cette voie qui fera entrer le monde dans l'ère de l'énergie de la fusion ?

Ces physiciens de haute volée sont partis du même constat que leurs collègues spécialistes des armes thermonucléaires, avec lesquels ils partagent leurs instruments de recherche : lorsqu'un échantillon de gaz atteint des densités de l'ordre de celle qui règne au cœur du Soleil, des réactions de fusion s'y produisent en quelques picosecondes à peine, dégageant une très forte énergie.

Ici, pas de réacteur à confinement magnétique : leur idée est de placer une bille de plastique de quelques

millimètres de diamètre, contenant un cœur de deutérium-tritium, dans un container en or de quelques centimètres de côté seulement, qu'ils soumettent au feu de lasers surpuissants. De quoi transformer l'or en un plasma émetteur de rayons X, lesquels soumettent la capsule à des pressions folles, de l'ordre de 100 milliards de bars, ce qui entraîne son effondrement, déclenche la fusion de son combustible et, *in fine*, libère une énergie faramineuse. Et début 2014, ces spécialistes de l'usage civil de la fusion nucléaire sont parvenus à extraire du combustible deux fois plus d'énergie de fusion (30 000 joules) que celle fournie. Une sacrée prouesse, en effet.

LE HANDICAP DU SECRET MILITAIRE

On voudrait y croire. Sauf qu'à y regarder de près, l'annonce s'avère en trompe-l'œil. Car si l'énergie dégagée par la fusion est bien le double que celle déposée *in fine* au sein du combustible, elle reste cependant 30 fois inférieure à celle fournie par les lasers en début de chaîne. En clair : le ratio entre énergie requise et énergie produite – qui est le fond du problème de la fusion – demeure encore largement défavorable. *"Nous sommes très loin des applications civiles"*, reconnaît d'ailleurs le physicien.

C'est un accomplissement scientifique ! Nous avons mis en évidence l'amorce d'un processus de fusion s'auto-entretenant !

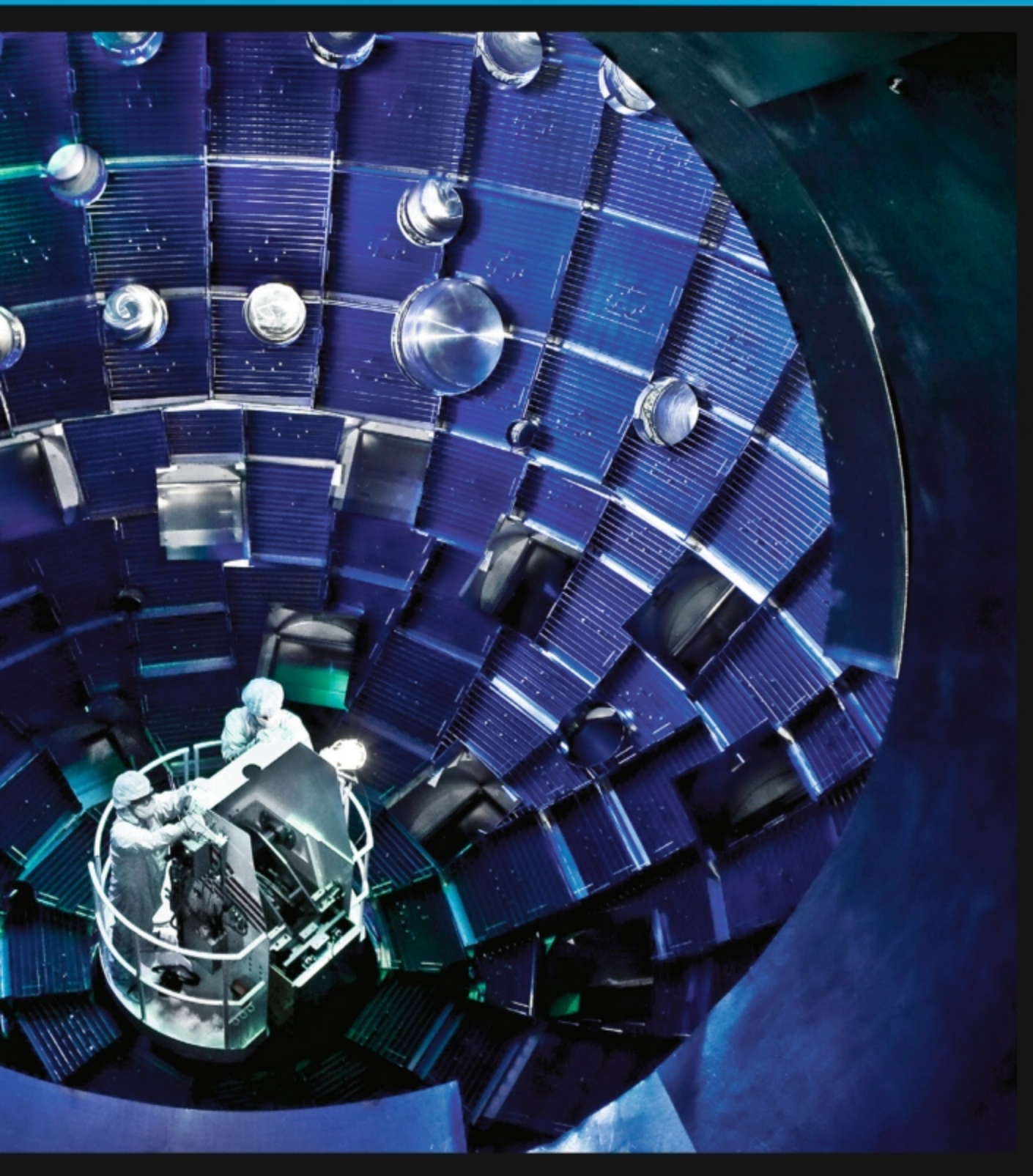
OMAR HURRICANE
Chercheur
au Laboratoire
national
Lawrence
Livermore
(Etats-Unis)

Pour démontrer la crédibilité de la filière, il faudrait que l'énergie de fusion produite soit de l'ordre du million de joules – niveau que les physiciens du NIF imaginaient atteindre très rapidement : lors du démarrage de leur machine en... 2009. Avec un retard de cinq ans, c'est le signe que les phénomènes physiques associés à la fusion par laser, comme les instabilités, ne sont pas si faciles à maîtriser. Or, pour envisager un avenir industriel, il faudrait qu'elle atteigne 100 millions de joules à raison de 10 tirs par seconde – contre actuellement un seul par jour...

Qui plus est, d'autres défis, d'ordre industriel ceux-là, restent à relever :



P.SALTONSTALL/NIF/LAWRENCE LIVERMORE NAT. LABORATORY - WWW.ILLUSTRER.FR



LE PRINCIPE

1. De puissants lasers pulvérisent un petit container en or contenant une cible de deutérium et de tritium. **2.** Les rayons X engendrés compriment à 100 milliards de bars ce combustible. **3.** La pression fait fusionner les noyaux de deutérium et de tritium.

Le dispositif NIF



< LE NIF A EXTRAIT DU COMBUSTIBLE 2 FOIS PLUS D'ÉNERGIE DE FUSION QU'IL NE LUI EN A FOURNI

Dans cette chambre de tir, la capsule contenant le combustible est soumise au feu de lasers surpuissants qui ont déclenché une fusion capable de s'auto-entretenir.

production à grande échelle des billes, refroidissement accéléré des lasers... Or, pour surmonter ces obstacles, les chercheurs du NIF partent avec un handicap baptisé "secret militaire". Que ne connaît pas Iter: la fusion classique appartient au domaine civil et profite de recherches coordonnées au niveau mondial.

La vocation première des recherches sur la fusion par laser, déclassifiées seulement en 1972, concerne le développement des armes thermonucléaires, ce qui "complique le développement des collaborations internationales", fait observer Patrick Mora, au Centre de physique théorique de Polytechnique, à Palaiseau.

Pour autant, rien ne dit qu'une équipe livrée à elle-même ne puisse réaliser l'exploit. Mais le chemin s'annonce *a priori* plus long et ardu.

D'autant que les travaux sur les lasers – ceux du NIF comme ceux du Mégajoule en France, l'autre grand lieu de la recherche sur le sujet dans le monde (*S&V* n° 1167, p. 102) – participent avant tout de la force de dissuasion nucléaire d'un pays. De ce fait, seule une petite fraction du temps disponible sur ces installations concerne la fusion nucléaire civile, pour laquelle elles n'ont par ailleurs pas été optimisées.

Si elles ne sont évidemment pas rédhibitoires, les conditions de

production de la fusion par laser ne sont donc pas optimales. Ce qui est dommage, au vu des recherches menées au NIF. Comme le résume Christine Labaune, au Laboratoire pour l'utilisation des lasers intenses, à Palaiseau, "aujourd'hui, il n'existe aucun programme d'ampleur à la mesure des enjeux pour la fusion civile par laser". Et d'ajouter: "Tout ce que nous avons appris témoigne d'un véritable potentiel de la fusion par laser. Malheureusement, il est très difficile de tester nos idées en vraie grandeur."

L'avenir dira si l'enthousiasme des physiciens du NIF se confirmera dans les faits. Vu la tâche à accomplir, l'exploit serait phénoménal. D'ici là, la patience reste de mise avant de voir le feu nucléaire se transformer, d'un coup de superlaser, en fée électrique.

LA PISTE DE L'E-CAT

Fusion froide : un premier prototype a déjà été vendu !

Un rêve d'alchimiste ! Dompter la fusion nucléaire dans une simple éprouvette et quasiment à température ambiante. Alors même que, selon la doxa nucléaire, seules les conditions de température et de densité qui règnent au cœur des étoiles le permettent.

Ce rêve, porté depuis plus de vingt-cinq ans par les tenants du concept de fusion froide, ou LENR (low energy nuclear reaction), l'ingénieur italien Andrea Rossi prétend l'avoir mué en réalité grâce à E-Cat, un dispositif alimenté par un mélange (tenu évidemment secret) à base d'hydruure d'aluminium et de lithium, de nickel et de catalyseurs, le tout chauffé à la chaleur de bobines résistives elles-mêmes soumises à des impulsions électromagnétiques spécifiques.

Selon les informations que nous a communiquées Andrea Rossi, un prototype d'une puissance d'un mégawatt aurait même récemment été vendu par la start-up Industrial Heat, qui détient les droits du E-Cat pour les Etats-Unis, à un de ses clients. Il devrait désormais faire l'objet d'un an de tests avant commercialisation à plus grande échelle.

L'ingénieur n'en est pas à sa première annonce (S&V n° 1134, p. 132). Mais comme on peut le lire sur son

site Internet depuis fin 2014, cette fois, il a laissé des scientifiques indépendants des universités de Bologne, en Italie, et d'Uppsala et Stockholm, en Suède, se pencher sur sa machine. Conclusion de leur rapport : le dispositif produit *"de l'énergie thermique compatible avec des transformations nucléaires, mais opérant à basse énergie"*.

Le début de l'ère de la fusion froide ? E-Cat a-t-il réussi là où Iter peine toujours ?

Bo Höistad, physicien à l'université d'Uppsala, qui a participé aux tests, confirme les premières conclusions mais reste prudent : *"La LENR ne sera confirmée qu'à la condition que nos résultats soient validés par une seconde équipe indépendante."*

Jean-Paul Biberian, ancien maître de conférence à l'université d'Aix-Marseille, et farouche défenseur de la fusion froide, ne veut pas non plus s'enflammer trop tôt : *"Si les importants dégagements de chaleur et les transmutations mises en évidence sont très intéressants, je ne serai*

Nous confirmons les premières conclusions, mais nous restons prudents : il faut que nos résultats soient validés par une seconde équipe indépendante

BO HÖISTAD

Physicien à l'université d'Uppsala (Suède)



totallement convaincu qu'à la condition que l'expérience soit encore reproduite par d'autres chercheurs."

Les raisons d'une telle prudence ? Elle concerne le fait de savoir si l'E-Cat dégage véritablement plus d'énergie qu'elle n'en reçoit, et si cette énergie est bien d'origine nucléaire. Or, d'aucuns pointent des failles méthodologiques qui auraient pu fausser les analyses. Ainsi, les tests calorimétriques du réacteur vide et chargé n'ont pas été réalisés à la même température. Et c'est Andrea Rossi lui-même qui est intervenu pour charger et décharger son dispositif dont le design est resté secret, y compris pour les expérimentateurs. Or, comme le remarque Bernard Saoutic, directeur adjoint de l'Institut de recherche sur



^ > UN AN DE TESTS AVANT SA COMMERCIALISATION

Le dispositif E-Cat défie les lois de la physique nucléaire : il aurait permis de produire une énergie thermonucléaire à basse température.

la fusion magnétique, au Commissariat à l'énergie atomique (CEA), "pour être qualifiée d'indépendante, cette expérience aurait dû être conduite sans aucune intervention d'Andrea Rossi et, idéalement, le réacteur lui-même aurait dû être construit par l'équipe indépendante d'après des indications publiées".

DE NOMBREUSES CONTROVERSES

Excès de scepticisme ? Procès d'intention ? C'est plutôt l'enjeu qui impose de lever le moindre doute : pour asseoir un résultat scientifique extraordinaire – ici remettre en cause les lois connues de la physique nucléaire –, des preuves tout aussi extraordinaires s'imposent. Or, depuis que les tentatives pour reproduire l'expérience

historique réalisée en 1989 par Martin Fleischmann et Stanley Pons ont tourné au fiasco, les travaux sur la fusion froide génèrent de multiples controverses où se mêlent résultats non reproductibles, énigme théorique et culture du secret.

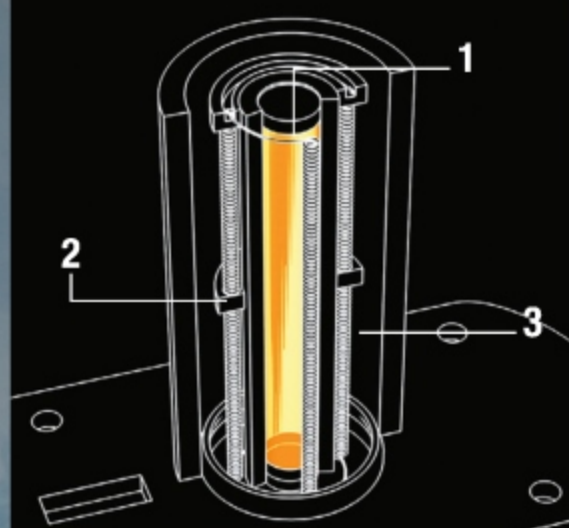
Dans leur grande majorité, les physiciens restent aujourd'hui sceptiques sur cette filière de la LENR. "Ils formulent plus volontiers leurs annonces dans la presse que dans les journaux scientifiques, et donnent par ailleurs peu de détails sur ce qu'ils font", témoigne Ignatios Antoniadis, à la Division théorique de l'Organisation européenne pour la recherche nucléaire (Cern), à Genève, et pourtant organisateur d'un séminaire sur la fusion froide en 2012 dans l'enceinte de la vénérable institution. Alain Becoulet, directeur de l'Institut sur la fusion magnétique du CEA, ajoute : "La communauté de la fusion froide s'est repliée sur elle-même."

Jean-Paul Biberian, lui, reste confiant : "Plusieurs dispositifs

LE PRINCIPE

1. Un mélange d'hydruure d'aluminium et de lithium, de nickel et de catalyseurs est introduit dans un petit réacteur. 2. Il est chauffé par des bobines résistives parcourues d'impulsions électromagnétiques. 3. Les atomes de lithium et d'hydrogène fusionnent.

Le dispositif de l'E-Cat



expérimentaux ont été proposés et la production 'anormale' de chaleur a été confirmée des dizaines de fois." La LENR compte également parmi ses adeptes des scientifiques exerçant dans de prestigieux laboratoires. Jusqu'à de très sérieuses agences gouvernementales états-unienne telles que la Nasa ou la Défense, qui s'intéressent à la LENR même si elles ne le reconnaissent pas officiellement. Et le scientifique d'ajouter : "Nos publications ne sont pas lues et nous souffrons de n'avoir quasiment aucun financement." Jacques Foos, ancien directeur du Laboratoire des sciences nucléaires du Conservatoire national des Arts et Métiers, complète : "C'est regrettable au regard des enjeux, alors que quelques millions d'euros suffiraient pour avancer."

Andrea Rossi et son E-Cat ont l'ambition de changer la donne. L'Italien a pris date : il a un an pour présenter des tests définitivement convaincants. Il est désormais au pied du mur. Ou à l'aube de révolutionner le monde de l'énergie.



Chasse au gaspi

Les lignes de code passent au code vert

Sur PC ou sur le Net, les logiciels aussi consomment de l'électricité. Beaucoup. Et en pure perte ! Car ils sont écrits pour exécuter quantité de tâches qui, même en arrière-plan, pompent de l'énergie. La solution : passer à la programmation "verte". Des outils commencent à être mis au point.

Par **Román Ikonicoff**

Quelques clics pour consulter sa messagerie. Rien d'urgent dans la boîte aux lettres. Onglet suivant: que dit la météo? Onglet suivant: tiens, c'est au moins le troisième "ami" qui partage cette vidéo sur Facebook, elle mériterait donc d'être vue. Onglet suivant: l'analyse en direct de l'interview du président de la République sur votre fil d'information "Politique" n'est toujours pas terminée. Retour au premier onglet: ce serait quand même bien de répondre à cet e-mail en souffrance depuis une semaine...

Vie connectée d'un internaute passant d'un onglet à l'autre de son navigateur, sans songer que chacun de ces onglets, même non consulté, puise en permanence de l'énergie électrique. *"Un onglet en arrière-plan consomme entre 100 milliwatts et 1 watt"*, annonce Thierry Leboucq, informaticien et fondateur de la start-up Kaliterre, spécialisée dans l'écoconception des logiciels.

Cent milliwatts? C'est 0,1 W, soit 100 fois moins qu'une lampe de bureau à LED. Une goutte d'eau. Oui, mais une lame de fond à l'échelle de l'ensemble des utilisateurs... Si les 2,5 milliards d'internautes laissent en arrière-plan ne serait-ce qu'un onglet durant une journée, ce sont au

moins 10 GWh – l'énergie produite pendant quatre heures par une centrale nucléaire! – qui partent en fumée.

Car un ordinateur n'est pas une simple machine consommant une quantité d'énergie fixe dès lors qu'il est branché sur une prise de courant. Il en utilise plus ou moins selon les tâches qu'il exécute.

LA CONSOMMATION EXPLOSE

Ainsi, même lorsque vous ne le consultez pas, un onglet – par exemple celui indiquant la météo – puise de l'énergie sur le réseau électrique.

Pour une raison simple: derrière cet onglet, tout le temps qu'il est ouvert, des dizaines de lignes de code s'exécutent à l'intérieur du microprocesseur – le "cerveau" de l'ordinateur. Une infime partie des millions de lignes de code de votre navigateur (Internet Explorer, Firefox, Chrome, Safari...) qui, plusieurs dizaines de fois par seconde, interroge les logiciels des serveurs hébergeant la page de la météo, lesquels lui répondent à la même fréquence.

Quelle image faut-il afficher? A quel emplacement sur l'écran? Faut-il faire défiler un bandeau publicitaire, lancer une vidéo? Autant de questions exprimées en langage informatique (PHP, Java, C++...) par de courtes "phrases", qui vont prendre la forme de

courants électriques circulant dans les microprocesseurs.

Loin d'être une abstraction intangible, l'information digitale est une véritable matière première sans cesse transformée et transportée: des charges électriques bien concrètes circulent dans les puces électroniques pour y incarner les 0 et les 1 (les "bits") manipulés par les programmes informatiques. Et à la fin, la consommation électrique explose.

Le problème, c'est que les lignes de code qui sollicitent l'activité électrique des microprocesseurs en pure perte sont légion. Et ce, quelle que soit la machine concernée – ordinateur, serveur, tablette, smartphone, objet connecté...

Repères

L'industrie informatique dépense aujourd'hui 2 % de la production électrique mondiale. En 2030, selon une étude de l'université de Dresde, les ordinateurs et Internet consommeront autant d'énergie que toute l'humanité en 2008! Pour quoi faire? Maintenir les ordinateurs actifs, refroidir les processeurs, transmettre les données d'un ordinateur à un autre, et exécuter les lignes de code dans les processeurs. Cette dernière part n'a jamais été précisément évaluée, mais elle peut être largement réduite.

2 réacteurs nucléaires

La puissance mobilisée chaque jour par le code du moteur de recherche Google.

20 joules

L'énergie moyenne consommée pour afficher une page web pendant 40 secondes.

L'énergie de 3 077 foyers

Ce que consomme chaque année le code des 100 sites web les plus visités en France.

61 millions de lignes

La longueur du code de Facebook.

40 serveurs

Le nombre de serveurs mobilisés pour une recherche Google.

→ Ainsi du célèbre jeu Angry Birds, qui tourne sur smartphones et tablettes. Une étude de l'université Purdue, aux Etats-Unis, a montré que 75 % de l'énergie qu'il puise dans la batterie sert à maintenir la puce 3G ou 4G (pour la connexion Internet) active. Alors même que ce jeu ne nécessite pas une connexion en continu!

“Quand vous consultez un site d'information, complète Olivier Philippot, informaticien et directeur associé de Kaliterre, le code d'une page web peut solliciter jusqu'à 40 serveurs répartis dans toute la France.”

En pratique, les fichiers images, textes et vidéos constituant un site sont répliqués dans plusieurs serveurs. Si un trop grand nombre d'ordinateurs demandent ces fichiers pour afficher le site, un seul serveur ne peut les envoyer à tous en même temps. Le code du navigateur est donc écrit pour s'adresser à des dizaines de serveurs abritant les mêmes fichiers, et ce sont les plus disponibles qui les envoient.

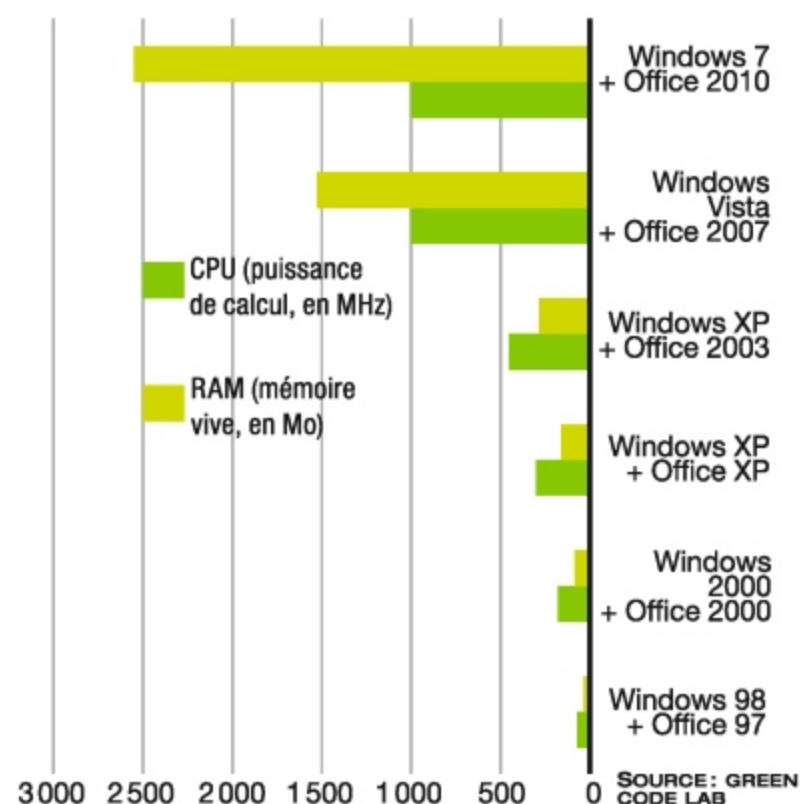
Avantage : pas d'attente, même quand les serveurs sont saturés de demandes. Inconvénient : *“Dans les éléments à télécharger, il y en a beaucoup qui ne sont pas optimisés, ce qui entraîne une surconsommation d'énergie”*, déplore le spécialiste. De fait, ce système implique de garder en veille, en permanence, un grand nombre de serveurs prêts à répondre; en outre, la machine de l'internaute doit solliciter davantage ses processeurs, qui émettront le message “envoyer les fichiers” autant de fois qu'il y aura de serveurs consultés.

DES LOGICIELS “OBÈSES”

Ce surcroît d'efforts pour un gain souvent très faible est à l'œuvre, dans des proportions stupéfiantes, dans le code du moteur de recherche Google.

Chaque jour, celui-ci reçoit 4,7 milliards de requêtes. La puissance mobilisée dans les serveurs du géant américain pour répondre à chacune d'entre elles est d'environ 1 W. En un an, cela représente au total une dépense énergétique

Chaque nouveau logiciel consomme plus que sa version précédente



de 240 MWh – la moitié de la consommation d'électricité d'un pays comme le Mali!

Tout ça pour renvoyer des dizaines de pages de réponses... alors que la plupart des internautes ne dépassent jamais les premières.

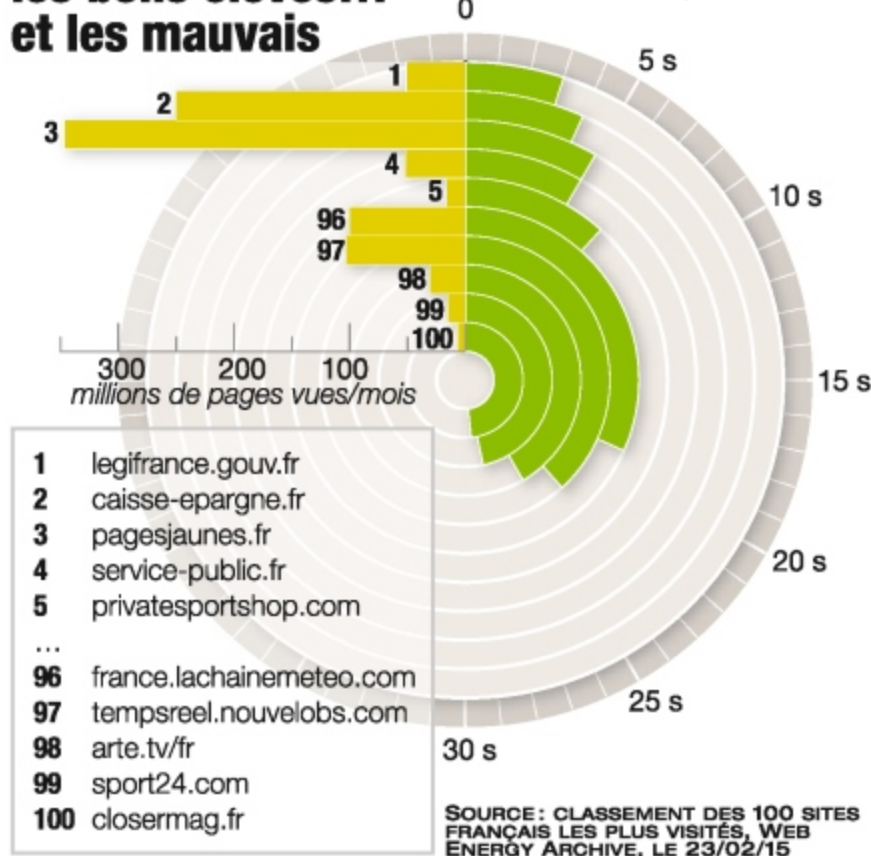
Ces logiciels truffés d'instructions inutiles, les informaticiens les appellent “obésiciels”. En fait, tous les logiciels actuels – qui s'exécutent par dizaines de milliards sur des appareils connectés ou non – sont peu ou prou “obèses”. Car ils n'ont pas besoin d'en faire autant! Ou plutôt, ils pourraient rendre les mêmes services en consommant beaucoup moins. Il suffirait de “dégraisser” la façon dont ils sont écrits.

Les experts du secteur parlent de suivre des “règles d'éco-conception” lors de l'écriture des programmes, comme le fait l'industrie automobile en concevant des voitures qui respectent les normes d'émission de CO₂ et de polluants.

A la clé? Une réduction globale de 50 % de l'énergie consommée par les logiciels,

Sites français : les bons élèves... et les mauvais

Chaque page web consomme autant qu'une ampoule de 20 W allumée pendant...



laquelle est en croissance accélérée (lire "Repères"). Et ce, sans léser l'utilisateur : les logiciels fonctionneraient aussi bien, ils consommeraient simplement moins.

Comment ? Les pistes ne manquent pas ! Par exemple, en modifiant quelques lignes du code des navigateurs Internet pour que soit désactivé le si dispendieux rafraîchissement continu des onglets en arrière-plan. Ou en réécrivant les lignes qui gèrent l'activation de la puce 3G ou 4G, dans le cas du jeu Angry Birds... Plus généralement, en cherchant chaque fois que c'est possible à limiter au minimum le nombre de fois où une donnée est copiée, modifiée ou effacée, dans les microprocesseurs, les disques de stockage et le *cloud*.

Certes, aucun programme ne peut se passer de ces actions de base ; mais pour un même but à atteindre (afficher une image, effectuer une transaction sur un site marchand...), il y a souvent de multiples manières d'organiser les différentes étapes de traitement des données qui y

conduisent. Et certaines sont beaucoup plus économes.

Il suffit pour s'en convaincre de comparer les consommations énergétiques des sites Internet. Le Web Energy Archive (WEA) a établi un classement qui montre que certains sont 10 fois plus gourmands que d'autres (voir le schéma ci-contre), alors que tous proposent les mêmes services : photos, vidéos, textes défilant...

Et les écarts peuvent être plus grands encore. En 2012, deux informaticiens, membres de l'association française Green Code Lab, qui regroupe de grands laboratoires de recherche et des organismes

ou moins riche, plus ou moins souple) autant qu'à la manière de l'utiliser. En codant le même programme avec un langage de leur cru (Cawen), les deux informaticiens ont observé que des changements minimes d'écriture pouvaient entraîner de grandes différences de consommation.

Ainsi, le changement de quelques lettres seulement dans une ligne de leur programme suffisait à rendre son temps d'exécution 44 % plus rapide que sa version en C++.

Autre observation : un programme plus sobre n'est pas forcément plus lent, ni plus court (en nombre de lignes).

Le matériel aussi se met au vert

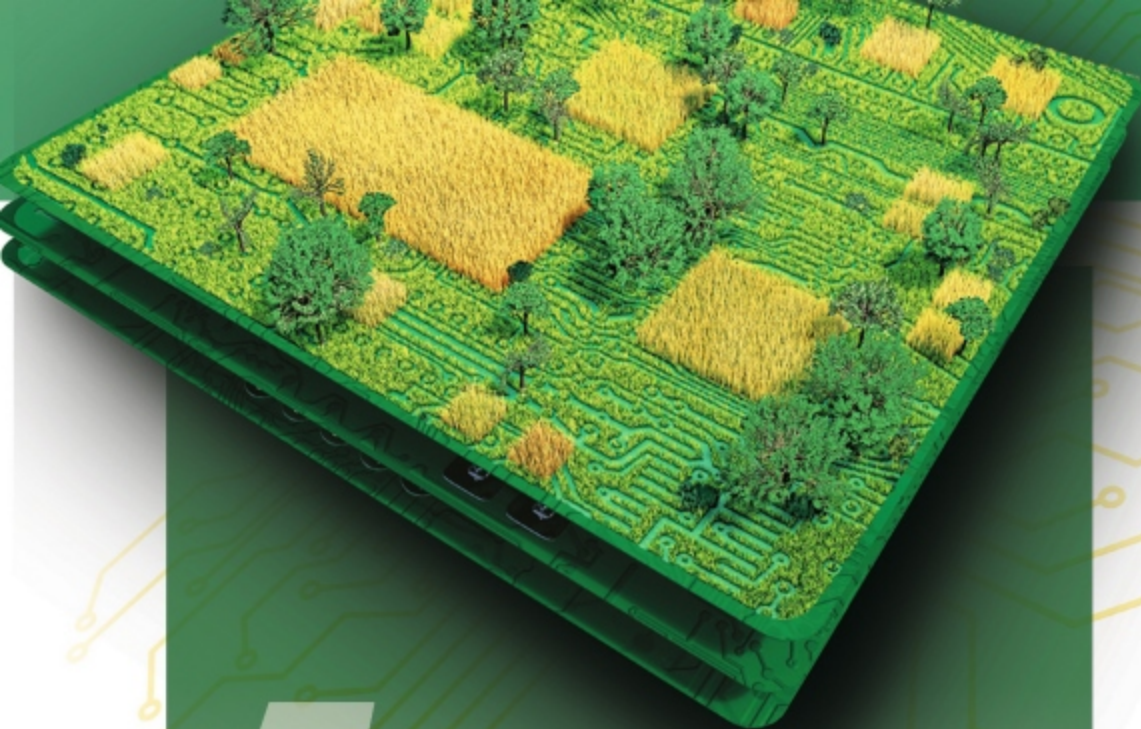
Pour réduire sa facture énergétique, l'industrie informatique s'efforce depuis quelques années d'améliorer le rendement de ses machines, développant par exemple des microprocesseurs qui utilisent moins d'électrons pour faire un calcul. Dans les laboratoires, les chercheurs ébauchent des ordinateurs optiques, qui remplacent les électrons par de la lumière ; ils envisagent aussi d'élaborer des composants à l'échelle moléculaire. Ces deux pistes seraient beaucoup plus sobres que les actuels semi-conducteurs à base de silicium. L'industrie met aussi au point des systèmes de refroidissement (les processeurs fonctionnent mal s'ils ne sont pas suffisamment refroidis) plus économes en énergie. Autre solution : Google, Facebook et Microsoft installent leurs datacenters en Suède et en Finlande, le plus près possible du Cercle polaire arctique, pour économiser l'énergie de refroidissement des serveurs...

nationaux, ont comparé, selon un protocole minutieux, la consommation d'un même programme (précisément : une procédure mathématique chargée de "détecter une boucle dans un graphe"), écrit dans 4 langages différents (C++, Java, Go et Scala). Résultat : un rapport de 1 à 21 entre le plus sobre et le plus dispendieux !

Pourquoi de tels écarts ? Ils sont liés à la grammaire propre aux langages employés (plus

Et sa sobriété énergétique dépend toujours de ce qu'il est censé accomplir : il n'existe ni langage ni ligne de code qui soit plus sobre dans l'absolu. En clair : nul dictionnaire du "code vert" dans lequel il suffirait de piocher les expressions garantissant un programme économe. Les informaticiens n'ont pas d'autre choix que de travailler au cas par cas.

Forts de ces constats, vérifiés depuis dans d'autres



5 règles pour un code plus vert

Ecrire des programmes plus sobres en énergie passe par l'application de dizaines de règles d'écoconception. En voici 5 à l'adresse des programmeurs, à la fois simples et ayant fait leurs preuves.

- 1** Dans le navigateur Internet, désactiver le **rafraîchissement automatique** des fenêtres et onglets affichés en arrière-plan.
- 2** Regrouper plusieurs données issues d'un **calcul** sur la puce avant de les transférer vers un disque local ou vers le réseau.
- 3** Ne pas solliciter les **puces** à leur fréquence maximale de traitement pour accélérer le rythme du traitement des données, si cela n'a pas d'effet significatif sur la qualité du service.
- 4** Dans une **boucle** (fragment de code qui commande l'exécution d'un calcul un grand nombre de fois), éviter les traitements "lourds", comme l'écriture de fichiers sur disque dur, l'accès à des bases de données...
- 5** Ne pas transférer du serveur à l'utilisateur des **images de grande taille**, qui seront redimensionnées à réception: envoyer des images de taille déjà adaptée à la demande.

→ études, les pionniers de l'écoconception sont donc en train de mettre au point, plutôt que de tels dictionnaires, des outils d'analyse pour traquer les "passoires énergétiques" dans les logiciels.

C'est, à grande échelle, l'objet du projet européen ENTRA (Whole Systems ENergy

TRANsparency) ou du consortium mondial GreenTouch, qui cherche à alléger la consommation des "routeurs" (les nœuds du réseau), ainsi que celle liée aux protocoles de communication entre machines.

"Nous avons développé un outil nommé PowerAPI, donne pour exemple Romain Rouvoy,

enseignant-chercheur à l'université de Lille et membre de l'équipe Spirals à l'Institut national de recherche en informatique et en automatique. *C'est une solution logicielle en libre accès sur le Web (powerapi.org) qui, une fois installé sur une machine, permet d'identifier dans le code d'une application en exécution les structures de programmation – 'classes', 'méthodes', 'paramètres'... – qui consomment plus que les autres. Il indique ainsi au développeur des informations du type: 'Pour réduire l'empreinte énergétique de l'application, modifier ces lignes-ci de code'.*"

MAIS PAR OÙ COMMENCER ?

PowerAPI agit comme un microscope virtuel, qui parvient à corréler en temps réel des données sur l'activité électrique des microprocesseurs (courant, tension, fréquence de fonctionnement...) avec les lignes de code interprétées par la machine à chaque instant.

Le texte du programme ne dit rien, en lui-même, de la consommation énergétique qu'il provoque. Pour la déduire, PowerAPI se base sur des modèles de consommation préalablement calibrés en laboratoire, associant des fragments de code connus à des mesures physiques effectuées sur des processeurs.

Autre outil récemment mis à la disposition des "verdisseurs de code": le logiciel Greenspector, développé par Kaliterra. Ses concepteurs ont établi une liste de 200 règles de "bonne écriture" permettant d'abaisser la consommation des processeurs (lire l'encadré "5 règles pour un code plus vert"). Que l'une ou l'autre soit violée, et le logiciel le signale.

Jargon

Un **programme** est une suite d'instructions qu'exécutent les microprocesseurs de l'ordinateur pour réaliser des **opérations** sur des **données** stockées dans sa mémoire. Les instructions, écrites dans un **langage informatique** (il en existe des dizaines), à la syntaxe et au vocabulaire spécifiques, forment le **code** du programme.

“Prenons le cas d’un programme qui doit inscrire les résultats de plusieurs calculs sur le disque dur, décrit Olivier Philippot. En général, on écrit un programme qui fait un premier calcul, envoie le résultat sur le disque dur, fait un deuxième calcul, renvoie le résultat, etc. Or, dès qu’une information est envoyée du processeur vers le disque, cela consomme beaucoup : c’est comme si on allait jeter chaque déchet dans un container collectif au lieu de tout regrouper dans une poubelle de la maison et de la sortir une fois par jour!”

Des outils puissants mettant en œuvre des règles simples, au service d’une sobriété énergétique largement améliorée : l’informatique amorce bel et bien sa révolution verte.

Mais celle-ci ne se fera pas en un jour. La tâche est immense. Ecrits dans des langages de programmation différents, “tournant” sur des milliards de machines communiquant les unes avec les autres, les logiciels existants forment une structure aussi complexe qu’une cathédrale dont chaque brique soutient et est soutenue par les autres. Et dont personne n’a les plans !

Aujourd’hui, l’histoire de l’informatique se retourne contre elle : inventée dans l’euphorie, la voici sommée de remédier à l’insouciance de ses débuts.

Par où commencer ? *“Il n’y a pas vraiment un gros consommateur, mais plutôt une immensité de petits consommateurs”,* souligne Olivier Philippot. *Sans compter que les codes d’une grande partie de ces logiciels ne sont pas accessibles : Microsoft, Apple, Google et d’autres ne les communiquent pas !”*

Ajoutons qu’un seul logiciel peut contenir des millions de lignes de code. Firefox en possède 10 millions, le système d’exploitation des smartphones Android en compte 12 millions, Windows 7 40 millions, la suite de logiciels Microsoft Office 44 millions, Facebook 61 millions, Mac OS X Tiger 65 millions... Verdir l’ensemble du code mondial relève donc de la gageure.

Briders des machines trop puissantes : le défi sera avant tout psychologique

Au vrai, les promoteurs du “code vert” sont conscients que, malgré leurs efforts, le monde numérique va continuer d’accaparer toujours plus d’énergie. Leur ambition est que cette croissance suive une pente moins raide que l’augmentation du nombre de processeurs et que la courbe exponentielle imperturbablement suivie par les performances de ces processeurs, dont la densité de transistors double tous les deux ans, suivant la “loi de Moore”.

UN MONDE SANS LIMITES

Ce défi n’est pas tant technologique – les outils existent et vont s’améliorer – que psychologique. Car les développeurs ont jusqu’ici travaillé comme dans un monde sans limites : ils pouvaient concevoir des logiciels toujours plus complexes, exigeant des capacités de stockage et de calcul plus grandes, le matériel suivait, à des coûts de plus en plus bas. Comment contrer cette habitude, brider

l’usage de machines toujours plus puissantes ?

Si ce bridage volontaire n’avait qu’une motivation écologique, il aurait peu de chances de faire florès. Mais les promoteurs du code vert ont le progrès technologique avec eux : les logiciels s’exécutent, de plus en plus, sur des appareils mobiles – tablettes, smartphones, etc. Les codes les plus économes en énergie sont donc

aussi ceux qui leur garantiront la plus grande autonomie.

Et les grandes firmes du numérique (Microsoft, Apple, Facebook...) développent de

plus en plus des logiciels “multiplatforme”, censés fonctionner aussi bien sur les postes fixes que sur les mobiles. Ce qui les oblige à tenir compte de la dépense énergétique, y compris pour leurs logiciels “vedettes”, en cours d’adaptation pour des usages mobiles. *“Ces firmes se rapprochent peu à peu de cette façon de penser. De grands groupes technologiques ont même pris contact avec nous pour s’initier à nos solutions”,* précise Thierry Leboucq.

L’écologie du code, pour l’heure encore confidentielle, pourrait donc rapidement s’imposer à grande échelle.

A consulter : les 100 principaux sites français classés selon leur performance énergétique ; le manuel d’écoconception des logiciels du Green Code Lab ; le code de conduite énergétique des datacenters de la Commission européenne...

★
EN
SAVOIR
PLUS

science-et-vie.com



Bébé à 3 ADN

Plongée dans l'inconnu

Afin d'éviter la transmission de maladies génétiques, un embryon humain a été conçu *in vitro* à partir d'un spermatozoïde et des ovocytes de deux femmes. Un bébé à 3 ADN ! Une première qui bouleverse un peu plus les lois de procréation. Et la notion d'hérédité.

Par **Elsa Abdoun**

Dis, comment on fait les bébés ?

Répondre à cette question devient de plus en plus compliqué.

Trente-trois ans après le premier "bébé-éprouvette", trente et un ans après la première congélation d'embryons, vingt-cinq ans après leur première analyse génétique, voici que se prépare un bouleversement encore plus fondamental dans la procréation humaine : la possibilité de mettre au monde des enfants porteurs de l'ADN de trois personnes.

Des chercheurs s'en sont récemment approchés. A partir des ovocytes de deux femmes et du spermatozoïde d'un homme, ils ont produit *in vitro* des embryons humains dotés de chromosomes issus pour moitié d'un homme et d'une femme – jusque-là, rien d'anormal –, mais aussi des petites molécules d'ADN, dites

mitochondriales, issues d'une seconde femme.

L'expérience n'a pas été poussée plus loin, mais cette technique pourrait à l'avenir servir à éviter la transmission d'une mère à ses enfants de maladies graves dues à des mutations dans ces molécules d'ADN mitochondrial. Preuve que les choses vont déjà bon train, en février dernier, les députés britanniques ont voté en faveur de la légalisation de l'utilisation de cette technique à des fins de reproduction.

Pour comprendre, il faut savoir que nous possédons, dans chacune de nos cellules, non pas un, mais deux génomes. Le plus célèbre étant le génome nucléaire, représenté par nos 23 paires de chromosomes, qui, comme son nom l'indique, se situe au cœur de la cellule, dans son noyau. Il porte la quasi-totalité de nos gènes (environ 20 000), et tout

ce qui fait les caractères identifiants d'un individu, tels que son apparence physique.

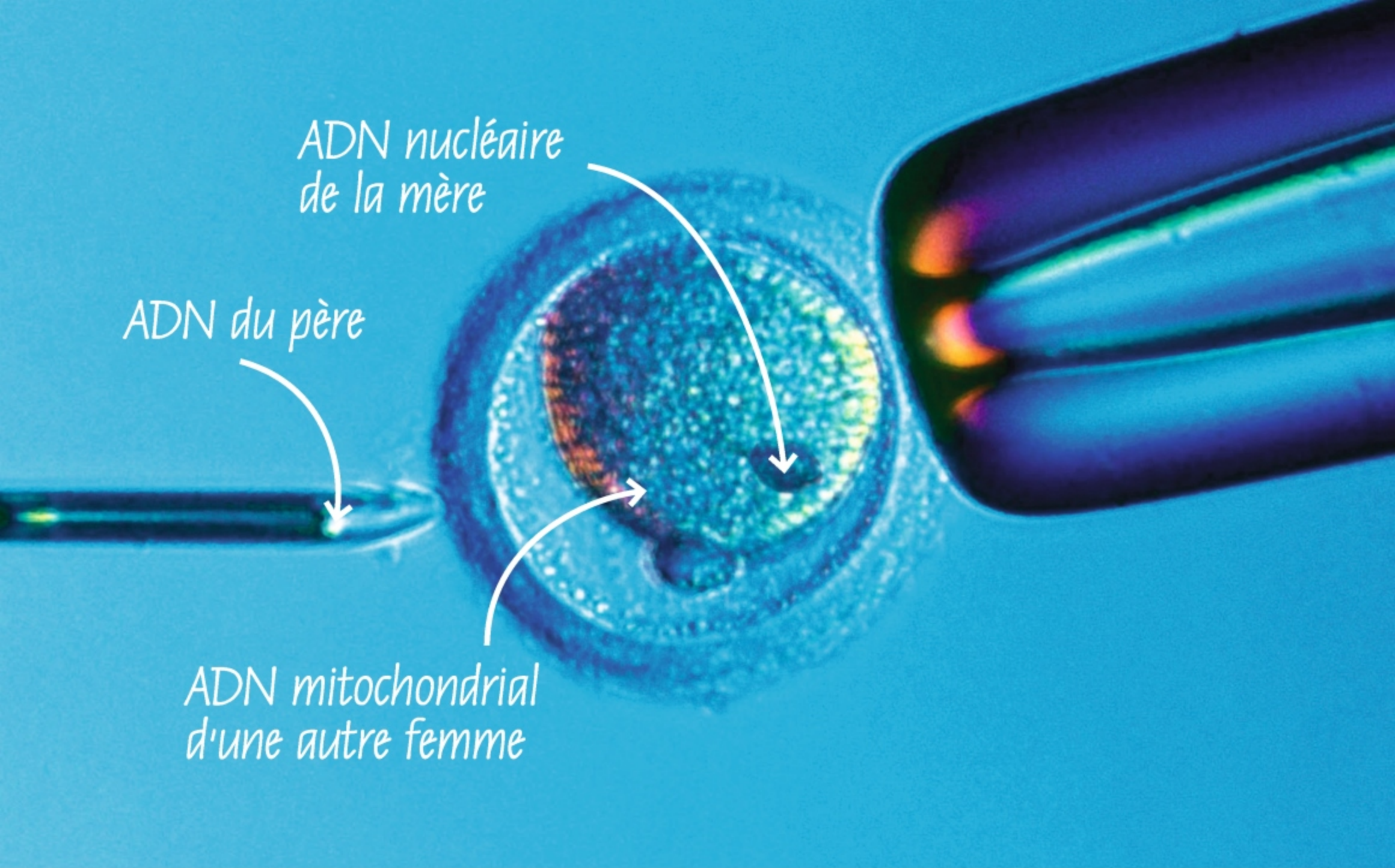
Mais nous possédons aussi un second génome, dit mitochondrial. Lui se compose de multiples copies d'un ADN beaucoup plus petit, situé dans les mitochondries, ces petites usines moléculaires flottant à la périphérie des cellules. L'ADN mitochondrial assure le fonctionnement de ces mitochondries, dont le rôle est de fournir de l'énergie aux cellules.

Or, il arrive que des mutations apparaissent dans l'ADN mitochondrial, ce qui, lorsque la plupart des copies sont touchées, peut entraîner de graves maladies, telles que des pathologies cardiaques ou neuromusculaires (voir encadré).

Dans les faits, ces maladies ont un mode de transmission héréditaire bien particulier. Car, contrairement à l'ADN nucléaire, qui provient à parts

Faits & chiffres

Nos **23** paires de chromosomes sont constituées de molécules d'ADN contenant plus de **3 milliards** de nucléotides organisés en **20 000** gènes. L'ADN mitochondrial est présent jusqu'en **des centaines de milliers** de copies dans nos cellules, et contient **16 569** nucléotides et **37** gènes.



égales de la mère et du père, l'ADN mitochondrial n'est transmis que par les femmes. En effet, les très rares mitochondries apportées par le spermatozoïde du père seraient éliminées par les cellules embryonnaires lors des premiers jours de développement.

ÉCARTER LA PART D'ADN MUTÉ

Les femmes dont les ovocytes portent un grand nombre de copies d'ADN mitochondrial muté ont donc un fort risque de donner naissance à un enfant malade. Environ une naissance sur 4 000 serait concernée. Et ces femmes (elles-mêmes malades ou ayant eu un premier enfant atteint) n'ont pas d'autre choix, pour s'assurer d'avoir un enfant en bonne santé, que d'adopter ou de faire appel à un don d'ovocytes. Elles ne peuvent donc pas avoir d'enfant en bonne santé qui leur soit relié génétiquement.

Sauf que les scientifiques ont mis au point une parade. Comme les mitochondries ne sont pas dans le noyau, ils ont eu l'idée de prendre l'ovocyte d'une donneuse, dotée de mitochondries en bonne santé, et de remplacer son noyau par celui de la future mère. Ainsi, l'ovocyte obtenu contient-il l'ADN nucléaire de la mère, mais pas son ADN mitochondrial muté. Et l'enfant sera préservé de la maladie mitochondriale.

Ce tour de passe-passe exécuté, il ne reste plus qu'à féconder *in vitro* l'ovocyte obtenu avec le spermatozoïde du père, puis implanter l'embryon dans l'utérus de la future mère.

A noter qu'une autre option, très proche, consiste à effectuer ce transfert de noyaux entre des cellules œufs déjà fécondées par le spermatozoïde du père.

Les preuves de l'efficacité de ces méthodes ont été faites en laboratoire. Des dizaines de

souris sont nées ainsi ces vingt dernières années, et plusieurs macaques depuis 2009. Plus récemment, ce sont des embryons humains qui ont été obtenus. Chaque fois, les chercheurs ont pu vérifier que les animaux, et les embryons, avaient bien été débarrassés d'une grande partie de l'ADN mitochondrial muté (même si des copies sont toujours transférées accidentellement), et aucun problème physiologique induit par ces manipulations n'a pour l'instant été détecté.

Cela dit, des doutes persistent sur l'innocuité de ces

Contexte

Plusieurs techniques d'aide médicale à la procréation permettent déjà d'éviter de transmettre des maladies génétiques à ses enfants : le don de sperme, d'ovocyte ou d'embryon, et le diagnostic préimplantatoire (analyse génétique des embryons produits par fécondation *in vitro*). Aucune n'implique actuellement de modification génétique de l'embryon.

→ manipulations, car ces démonstrations sont peu nombreuses. Des biologistes s'inquiètent, par exemple, que l'ADN mitochondrial d'une femme et l'ADN nucléaire d'une autre puissent ne pas bien fonctionner ensemble : *"Des expériences de croisements, chez la drosophile et chez la souris, ont montré que certains mélanges d'ADN nucléaire et mitochondrial*

dans les mêmes cellules, de quelques mitochondries de la mère transmises accidentellement, avec celles de la donneuse. Une étude de 2012 sur des souris suggérait en effet la possibilité de conséquences délétères, notamment sur le métabolisme, du mélange de deux génomes mitochondriaux.

Plus généralement, tous les spécialistes admettent que les perturbations subies par les

Royaume-Uni, deux pays en pointe dans ce domaine (en France, les modifications génétiques des cellules embryonnaires humaines sont interdites pour des raisons éthiques).

IL Y A TOUJOURS DES INCONNUES

Ainsi, les laboratoires britanniques souhaitant proposer cette solution devront d'abord recevoir l'aval de l'Autorité de fertilisation et embryologie humaines (HFEA). *"Nous allons exiger beaucoup de données supplémentaires"*, assure Hannah Verdin, responsable des affaires réglementaires à la HFEA, qui tient cependant à préciser que *"la science progresse très vite"*. Aux Etats-Unis, il faudra l'autorisation de l'Agence de sécurité sanitaire (FDA), qui a jugé, en 2014, qu'elle ne disposait pas encore d'assez de preuves d'innocuité.

Mais même si ce n'est que dans plusieurs années et après de nombreuses études supplémentaires, *"le jour où cette technique sera utilisée pour la première fois pour faire un enfant, on ne sera de toute façon toujours pas assurés de l'absence de risque"*, prévient René Frydman, "père" du premier bébé-éprouvette français.

Les médecins ne le seront véritablement que dans une génération. Lorsque des centaines d'individus porteurs des ADN de trois personnes auront atteint l'âge adulte. Quand le premier d'entre eux naîtra, une seule chose sera sûre : l'hérédité aura été réinventée.

A consulter : les références des publications scientifiques.
A voir : des vidéos pour mieux comprendre les techniques de transfert d'ADN.

★
EN SAVOIR PLUS

science-et-vie.com

Jusqu'à 1 personne sur 5 000 concernée par ces maladies

Les maladies héréditaires liées à des mutations mitochondriales sont très variées, mais touchent principalement les organes nécessitant beaucoup d'énergie (cerveau, cœur, muscles ou foie) : syndrome de Kearns-Sayre, de Pearson... Elles concerneraient entre un adulte sur 5 000 et un adulte sur 10 000. La transmission est en partie imprévisible, car la sévérité de ces maladies dépend de la proportion, dans les cellules, de mitochondries portant un ADN muté. Or, ces copies ne sont pas forcément réparties de manière égale dans les ovules. Certaines mères, porteuses de peu de mitochondries mutées, peuvent donc faire appel au diagnostic préimplantatoire pour s'assurer que leurs enfants auront reçu peu, ou pas, d'ADN muté.

pouvaient avoir un effet néfaste", alerte Damian Dowling, spécialiste de biologie évolutive et des mitochondries à l'université Monash (Australie).

De nombreux médecins rappellent cependant que, contrairement aux animaux de laboratoire, séparés en lignées génétiques très distinctes, les populations humaines, et avec elles les ADN mitochondriaux et nucléaires, se mélangent fréquemment à chaque génération. Or, une telle incompatibilité n'a jamais été observée lors de ces "croisements" naturels.

D'autres chercheurs évoquent un risque lié à la coexistence,

cellules, de la manipulation par des pipettes au transfert d'ADN dans un nouveau milieu cellulaire, à un moment crucial du développement des individus, pourraient avoir des effets néfastes à long terme. Ce type de perturbations, qualifiées d'épigénétiques, est déjà mis en cause dans l'incidence un peu plus élevée de certaines maladies chez les enfants issus de fécondations *in vitro* classiques (voir *S&V* n° 1160, p. 94).

Ces interrogations devront être en partie résolues avant qu'un premier enfant naisse grâce à ces méthodes. Tout du moins aux Etats-Unis et au

SCIENCE & VIE
trimestriel

270

HORS
SÉRIE

SCIENCE & VIE

MONDADORI FRANCE

Mars 2015

HORS-SÉRIE - N° 270 - Mars 2015

Les grands singes

ISSN 0151 0282

LANGAGE
CULTURE
SENS MORAL
On commence à
les comprendre

LES GRANDS SINGES

Leur histoire, leurs secrets, leur avenir

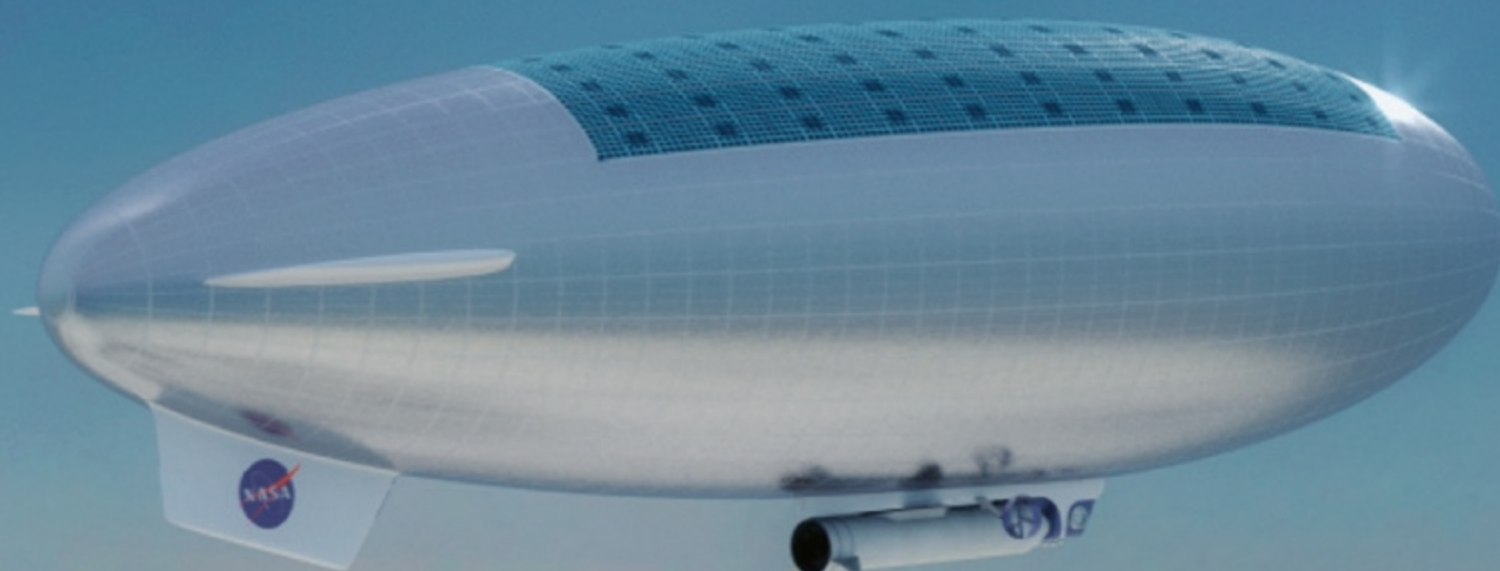
Peut-on vivre avec eux?

Peut-on vivre avec eux?

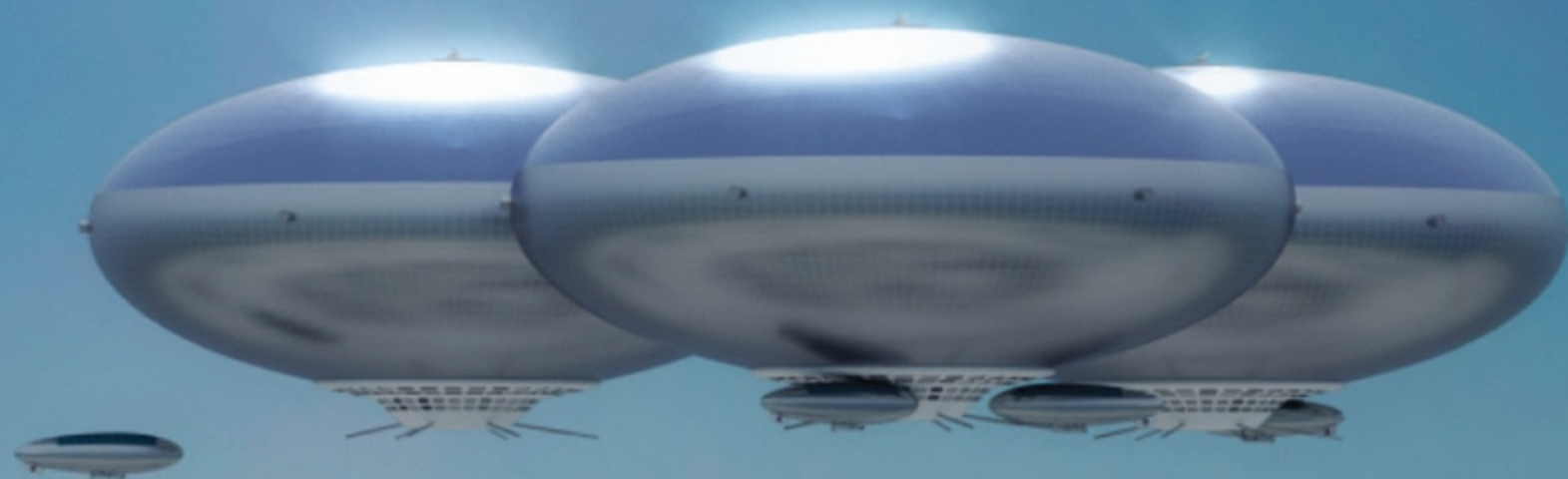


RÉVÉLATIONS SUR LES GRANDS SINGES

En vente le 6 mars



^ Déployés à 50 km d'altitude dans l'atmosphère de Vénus, des ballons gonflés à l'hélium souffriraient moins de la pression qu'au sol, où elle est 92 fois plus élevée que sur Terre.



HAMPTON (VIRGINIE)

Un dirigeable pourrait être envoyé sur Vénus

L'exploration de Vénus n'est pas encore au programme officiel de la Nasa. L'Agence spatiale américaine, via son Directeur des concepts et de l'analyse des systèmes, réfléchit cependant déjà, en vue d'une éventuelle mission, au moyen d'affronter la rigueur de son environnement : la température moyenne y est en effet de 460 °C et la pression qui y règne correspond à 92 fois celle de la Terre. La solution des ingénieurs de la Nasa : des dirigeables gonflés à l'hélium ! Dans

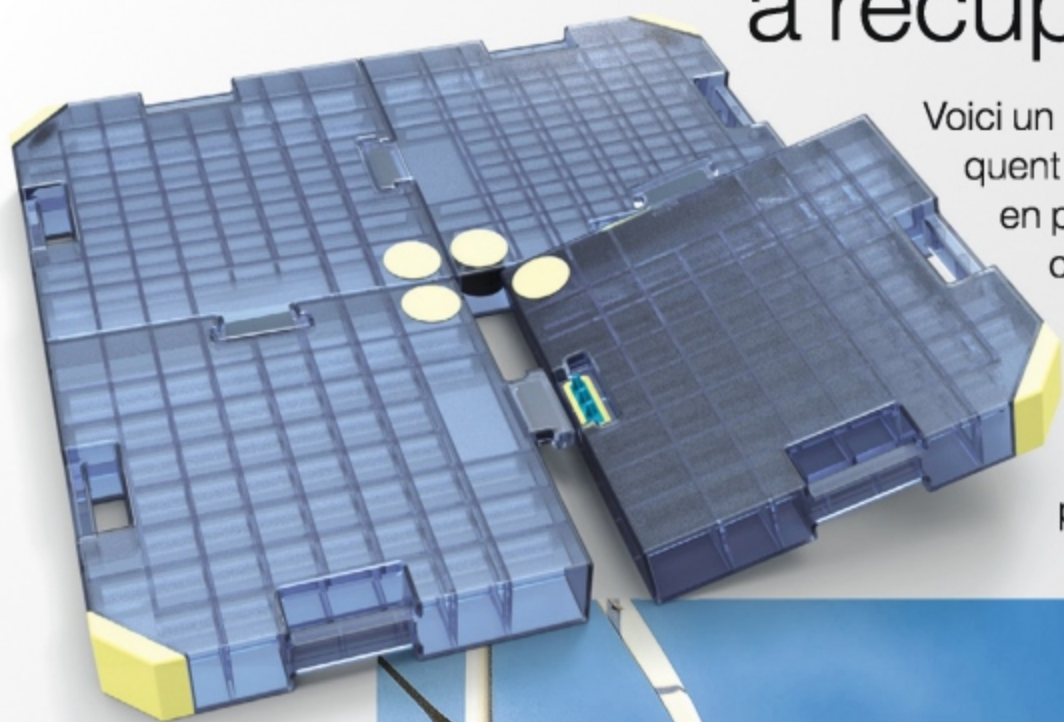
l'atmosphère vénusienne, beaucoup plus épaisse que celle de la Terre, ils pourraient se maintenir à une altitude de 50 km, là où la pression chute à 1 bar (soit celle du niveau de la mer sur Terre). Des missions automatiques pourraient tester ce type de technologie *in situ*. En cas de succès, une mission habitée pourrait suivre, formée de deux vaisseaux, l'un avec l'équipage et l'autre avec le dirigeable. A destination, les vaisseaux s'arrimeraient pour que

l'équipage passe de l'un à l'autre. Le vaisseau vide irait se placer en orbite, tandis que l'équipage plongerait avec le second vaisseau et le dirigeable vers l'atmosphère de Vénus pour y déployer le ballon. L'équipage détacherait ensuite la nacelle pour rentrer, la transformant en fusée afin d'échapper à la gravitation de la planète. Cette fusée larguerait l'équipage à l'intérieur d'une capsule à destination du vaisseau resté en orbite, qui rentrerait ensuite sur Terre. **S.F.**

COLOMBIE

Des socles de **douche** visent à récupérer les **eaux usées**

Voici un nouveau moyen d'économiser l'eau dans les pays qui en manquent pendant la saison sèche : le socle de douche Gris. Imaginés en particulier pour la Colombie par les Hongrois de IgenDesign, ces quatre modules qui s'emboîtent peuvent collecter à travers leurs trous jusqu'à 90 % des eaux usées de la douche. Ce qui permet, simplement en les décrochant, de s'en servir comme des jerricans. Ils peuvent contenir jusqu'à 10 l d'eau chacun. Si un industriel décide de le produire, ce système pourrait être commercialisé (env. 40 €) d'ici à fin 2015. **L.B.**



FRANCE

Les premiers plans de **Paris** transformé en **poumon vert**

A Paris, le plan Energie Climat vise à réduire de 75 % les émissions de gaz à effet de serre d'ici à 2050. C'est dans ce cadre que la mairie a demandé à l'architecte Vincent Callebaut de repenser la ville avec un triple objectif : combattre le phénomène d'îlot de chaleur, augmenter la densité urbaine et réintroduire la nature. Résultat : huit esquisses d'immeubles de grande hauteur à énergie positive mêlant jardins suspendus, balcons potagers, vergers communautaires et logements. On y découvre notamment, coiffant la rue de Rivoli (photo), des tours d'habitation de 120 mètres, et deux ponts habités de 200 mètres de hauteur enjambant la Seine. Reste que les chances de réalisation de ce projet sont faibles dans le contexte réglementaire actuel, qui limite sévèrement la construction d'édifices de grande hauteur dans la capitale.

E.T.-A.



SINES (PORTUGAL)

Recycler le **dégazage des bateaux** est possible

Mélanges d'eau, d'hydrocarbures, de boues et de polluants divers issus des salles des machines, des cales ou des ballasts des navires, les "slops" sont trop souvent rejetés en mer malgré l'obligation de les collecter et de les traiter. Or, il est possible de les recycler sous forme de carburant! C'est ce que promet la colonne de distillation à haute température mise au point par le français Eco-slops. Une fois débarrassés de leur eau et des sédiments, les slops y sont transformés en carburant maritime. La première unité industrielle, d'une capacité de production de 20000 t/an, sera mise en service courant 2015 à Sines, le premier port de commerce du Portugal. D.H.

Idée neuve



"ON PEUT UTILISER LES DRAPEAUX COMME S'ILS ÉTAIENT DES ÉOLIENNES"

Sébastien Michelin, mécanicien à l'Ecole polytechnique

"C'est tout simple, commence Sébastien Michelin. L'idée est de récupérer l'énergie du battement des drapeaux en les couplant à un circuit électrique."

En étudiant numériquement un drapeau truffé d'éléments piézoélectriques (des matériaux qui produisent du courant lorsqu'ils se déforment) avec ses collaborateurs, Yifan Xia à Polytechnique, et Olivier Doaré, à l'ENSTA ParisTech, Sébastien Michelin a démontré que ce drapeau produit bien de l'électricité... Et même plus que prévu. Les fréquences des parties mécanique et électrique de leur dispositif se synchronisent en effet, augmentant la quantité d'énergie récupérée. De quoi espérer pouvoir transformer un simple étendard en mini-éolienne, même si les chercheurs restent prudents. Des tests en soufflerie sont en cours afin de procéder à une étude quantitative. *"Nous allons également étudier des systèmes de plusieurs drapeaux, précise Sébastien Michelin. Nous savons qu'ils peuvent interagir les uns avec les autres en canalisant l'écoulement de l'air."* M.F.



IGEN DESIGN - V.CALLEBAUT ARCHITECTURES - J.BARANDE/EP



AFRIQUE

Un frigo solaire promet de conserver les récoltes

Dans les pays en développement, une grande part des récoltes est jetée faute de pouvoir être conservée. Une start-up belge a donc créé Wakati One, un "frigo" écologique pour les producteurs locaux. L'idée: une tente rectangulaire, équipée d'un évaporateur d'eau, maintient l'hydratation des fruits et légumes et les conserve à température ambiante pendant dix jours. Contrairement aux chambres froides, cette installation, alimentée par un panneau solaire, ne consomme pas d'électricité et presque pas d'eau (1 l/semaine). Commercialisation prévue dans les prochains mois (env. 90 €).

L.B.

ITALIE

Une serre flottante autosuffisante est testée

Des chercheurs de l'université de Florence testent depuis six mois entre Pise et Livourne un prototype de ferme flottante autosuffisante. Cette serre en matériaux recyclés d'environ 70 m² peut purifier, grâce à des distillateurs solaires, jusqu'à 150 l d'eau par jour. De quoi alimenter un système de cultures hors-sol à haut rendement, puisqu'il offre jusqu'à 70 % d'économies d'eau par rapport à la pleine terre. A venir: la présentation d'un modèle entièrement fonctionnel à l'occasion de l'Exposition universelle de Milan, en mai.

E.T.-A.

Rendez-
vous en...
2018

**DÉCRYPTER
100 000 GÉNOMES
POUR COMPRENDRE
CANCERS ET
MALADIES RARES**

La première lecture des 3,3 milliards de lettres de l'ADN humain, terminée en 2001, avait pris treize ans et coûté plus de 2,5 milliards d'euros. En 2014, ce décodage durerait deux semaines, pour un peu plus de 4 300 €. Et demain, les prochaines machines n'auront plus besoin que de trois jours pour un coût de moins de 1 000 €!

Ces formidables progrès ont inspiré au gouvernement britannique le projet 100 000 génomes. D'ici à fin 2017, il ambitionne en effet de décrypter l'ADN de 75 000 personnes, dont 30 000 atteintes de maladies génétiques rares ou de cancers (dans ce dernier cas, deux génomes seront séquencés par patient: celui des cellules de la tumeur et celui des cellules saines pour pouvoir les comparer). L'analyse de l'énorme quantité de données générées devrait prendre plusieurs années, mais permettra d'identifier les variations génétiques impliquées dans ces pathologies. Des informations qui amélioreront, demain, la médecine personnalisée: pour orienter un diagnostic ou choisir un traitement, les médecins pourront en effet prescrire un séquençage, au même titre que n'importe quelle autre analyse. L.C.

LONDRES

Un projet de **pistes cyclables** souterraines

Circuler à pied ou à vélo dans une ville aussi dense que Londres n'est pas toujours une partie de plaisir: trafic incessant, carrefours complexes... Pour faciliter la vie des cyclistes et des piétons, la firme d'architecture et de design Gensler vient de proposer le concept London Underline: il s'agit d'aménager les espaces souterrains désaffectés de Londres en pistes exclusivement piétonnes et cyclables. Le sous-sol de la ville abrite en effet de nombreuses anciennes lignes et stations de métro, des réservoirs et des conduits souvent suffisamment spacieux pour abriter des sites culturels et commerciaux. Des dalles de type Pavegen, qui convertissent en électricité la pression des pas des piétons, sont envisagées pour les alimenter. Prochaine étape: l'étude de faisabilité détaillée.

S.F.



GENSLER - STUDIO MOBILE

BERLIN

En ville, des **mini-éoliennes** pourraient **s'emboîter comme des Lego**

En milieu urbain, les éoliennes de grande taille sont trop imposantes, et les vents, près du sol, trop faibles pour qu'elles soient efficaces. D'où l'idée du designer Arman Emami d'assembler entre elles des petites éoliennes capables de tirer parti des vents faibles, et que l'on pourrait installer sur les toits. Baptisées Windflock, ces éoliennes s'emboîtent, comme les pièces d'un Lego, grâce à un système de barres. Une idée distinguée parmi les meilleurs concepts par le Red Dot Design Award, un prestigieux prix de design industriel. Reste, de l'aveu même de son concepteur, *"à évaluer la dimension optimale des éoliennes et leur efficacité; nous tablons aujourd'hui sur 40 cm de hauteur et 60 cm de largeur"*. Côté matériaux, le designer penche pour un alliage léger, en aluminium ou en carbone, et un acier inoxydable pour le cadre. Premier mur de Windflock attendu dans deux ans.

E.T.-A.

Culture Science

120

Bon à savoir

Santé, vie quotidienne, environnement... Petite moisson d'informations pratiques en direct des publications scientifiques et autres études.

122

Questions / Réponses

Comment une plante peut percer le bitume? L'alcool détruit-il les neurones? Pourrait-on incinérer les déchets dans les volcans?...

128

A lire / à voir

La réplique de la grotte Chauvet ouvre ses portes au public. Et aussi notre sélection des livres, des expositions et des événements à ne pas manquer ce mois-ci.

132

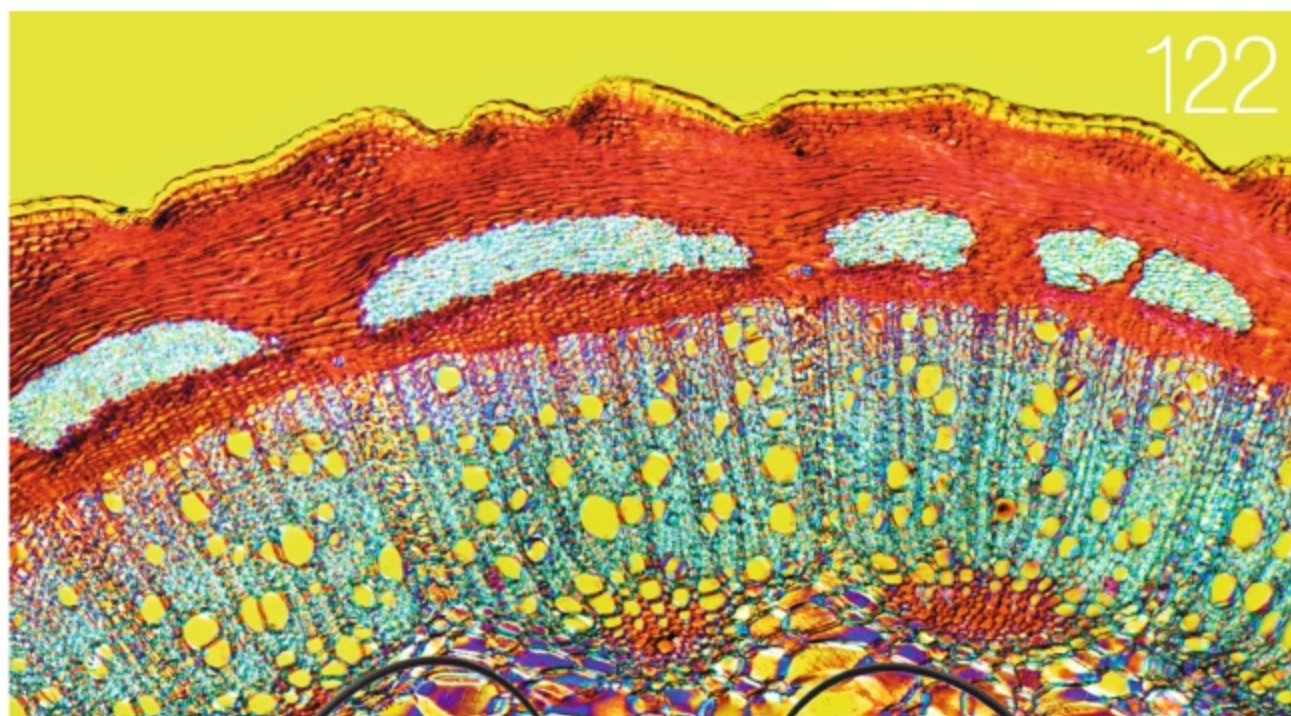
Technofolies

Le premier drone à obéir à la voix; le catamaran qui cache un scooter amphibie; un miniclavier pliable pour smartphone; une batterie virtuelle...

136

Il y a... 25 ans

25 avril 1990: ce jour-là était lancé *Hubble*, premier télescope spatial. Retour sur une prouesse technologique qui a révolutionné la vision de l'Univers.



122



134



136

DR. K. WHEELER/SPL/COSMOS - D.R. - NASA

LE JOGGING EST BON POUR LA SANTÉ, MAIS À PETITES DOSES

D'après une étude danoise, courir entre 1 h et 2 h 30 par semaine en 2 ou 3 fois à une allure lente ou modérée diminue de façon optimale le risque de décès. Le taux de mortalité est identique chez ceux qui pratiquent la course intensivement et... ceux qui n'ont aucune activité physique ! "JACC", fév. 2015

AVEC L'ÂGE, C'EST LE CERVEAU QUI DEVIENT DUR D'OREILLE

Si, en vieillissant, vous vous plaignez d'une perte d'audition, surtout quand plusieurs personnes parlent à la fois, ce n'est pas seulement parce que votre oreille devient moins performante... mais parce que les processus de l'attention mis en œuvre dans votre cerveau fonctionnent moins bien : ils se focalisent plus sur l'acoustique que sur la conversation. Autrement dit, le brouhaha perturbe votre cerveau, et contre ça, un appareil auditif ne peut rien. A moins, avancent les chercheurs allemands à l'origine de l'étude, que les technologies ne s'adaptent un jour à l'activité cérébrale. En attendant, mieux vaudra discuter dans un endroit relativement calme. "Journal of Neuroscience", janvier 2015

IL EXISTE UNE RECETTE POUR AVOIR PLUS DE SUCCÈS SUR LES SITES DE RENCONTRE

Dans une méta-analyse compilant les résultats de 86 études, deux chercheurs se sont penchés sur la façon de multiplier ses chances d'obtenir un rendez-vous via un site de rencontres. Selon eux, mieux vaut utiliser un pseudonyme dont la signification soulignera des atouts physiques (si vous êtes une femme) ou intellectuels (si vous êtes un homme), et dont l'initiale se trouve dans le premier tiers de l'alphabet. Il est aussi conseillé d'opter pour une photo de profil et de rédiger son annonce en respectant un ratio de 70/30 : soit 70 % du texte pour se décrire et 30 % pour décrire la personne recherchée. Enfin, côté conversation : mieux vaut rebondir sur ce que votre interlocuteur dit dans son profil. "Evid. Based Med.", fév. 2015

MANGER DES NOIX BOOSTE LE CERVEAU

Des chercheurs californiens ont montré que les facultés cognitives (mémoire, temps de réaction...) chez des personnes de 20 à 59 ans s'amélioraient quand elles mangeaient plus de noix. Une dizaine de grammes par jour a suffi à observer un bénéfice. "J. Nutr. Health Aging", déc. 2014

UNE BONNE RÉOLUTION EST MIEUX SUIVIE À 2

Arrêter de fumer, faire un régime ou du sport... Une étude anglaise a mesuré que, dans un couple, les chances de succès sont meilleures si la résolution est prise à deux. Un fumeur aura 48 % de chances d'arrêter de fumer si son partenaire arrête aussi, contre 8 % s'il continue. "JAMA Inter. Med.", janv. 2015



SHUTTERSTOCK - IMAGE SOURCE/GETTY IMAGE - SHUTTERSTOCK - O.CULMANN/TENDANCE FLOUE



RÉSISTER À SON CHEF PERMET DE MIEUX S'ÉPANOUIR AU TRAVAIL

Il ne fait plus la différence entre débattre et hurler ? Elle vous coupe systématiquement la parole en réunion ? En résumé, vous ne supportez plus votre chef et vous reprenez depuis des années de renverser accidentellement votre tasse de café sur sa tablette ? Bonne nouvelle : des chercheurs américains et chinois suggèrent qu'il serait bon de céder à cette pulsion vengeresse... En étudiant le comportement et la carrière de plusieurs centaines d'employés américains, ils ont découvert que ceux qui répliquaient, face à un supérieur hostile, par une attitude "passive/agressive" (l'ignorer, faire moins d'efforts pour satisfaire ses demandes, feindre de ne pas comprendre ce qu'il dit...) ressentait moins de mal-être et étaient plus impliqués dans leur travail, dont ils se déclaraient au final plus satisfaits. "Personnel Psychology", janvier 2015

AVOIR FAIM POUSSE À L'ACHAT QUAND ON FAIT DU SHOPPING

L'étude du comportement de personnes affamées et rassasiées a montré que la faim pousse à se procurer des aliments, et même des objets, qu'ils nous intéressent ou pas. La grhélène, l'hormone de l'appétit associée à la récompense, pourrait être en cause. "PNAS", janvier 2015

4 FACTEURS MULTIPLIENT PAR 4 LE RISQUE D'OBÉSITÉ À 4 ANS

L'association de 4 facteurs parmi 5 (pendant la grossesse : une grave prise de poids, l'obésité, la cigarette, une déficience en vitamine D ; être allaité pendant moins d'un mois) multiplie par 4 le risque d'obésité ou de surpoids à 4 ans. "Am. J. Clin. Nutr.", fév. 2015

MÉDITER AIDERAIT MIEUX À DORMIR QUE SE COUCHER TÔT !

Vingt-quatre Américains de plus de 60 ans ayant du mal à dormir ont pratiqué la méditation pendant six semaines pour une étude. Résultat : leur sommeil s'est davantage amélioré que celui de personnes qui suivent seulement des conseils pour bien dormir. "JAMA Intern. Med.", fév. 2015

LES ENFANTS MANGENT MIEUX APRÈS AVOIR JOUÉ

Les enfants ne sont naturellement pas les plus grands adeptes des fruits et légumes... mais ils le sont encore moins quand la consommation de ces aliments se dresse entre eux et une partie de balle aux prisonniers. Des chercheurs américains l'ont démontré en mettant en place, dans 7 écoles primaires, deux types de pauses déjeuner, durant lesquelles les enfants jouaient avant de manger, ou mangeaient avant de jouer. Ils ont alors analysé les restes de leurs plateaux-repas. Conclusion : les premiers mangeaient 54 % de fruits et légumes en plus, probablement parce qu'ils étaient moins pressés que les autres de finir leur repas pour aller jouer. "Preventive Medicine", février 2015



Comment une plante peut percer le bitume ?

Question de Daniel Auzanneau, La Crèche (79)

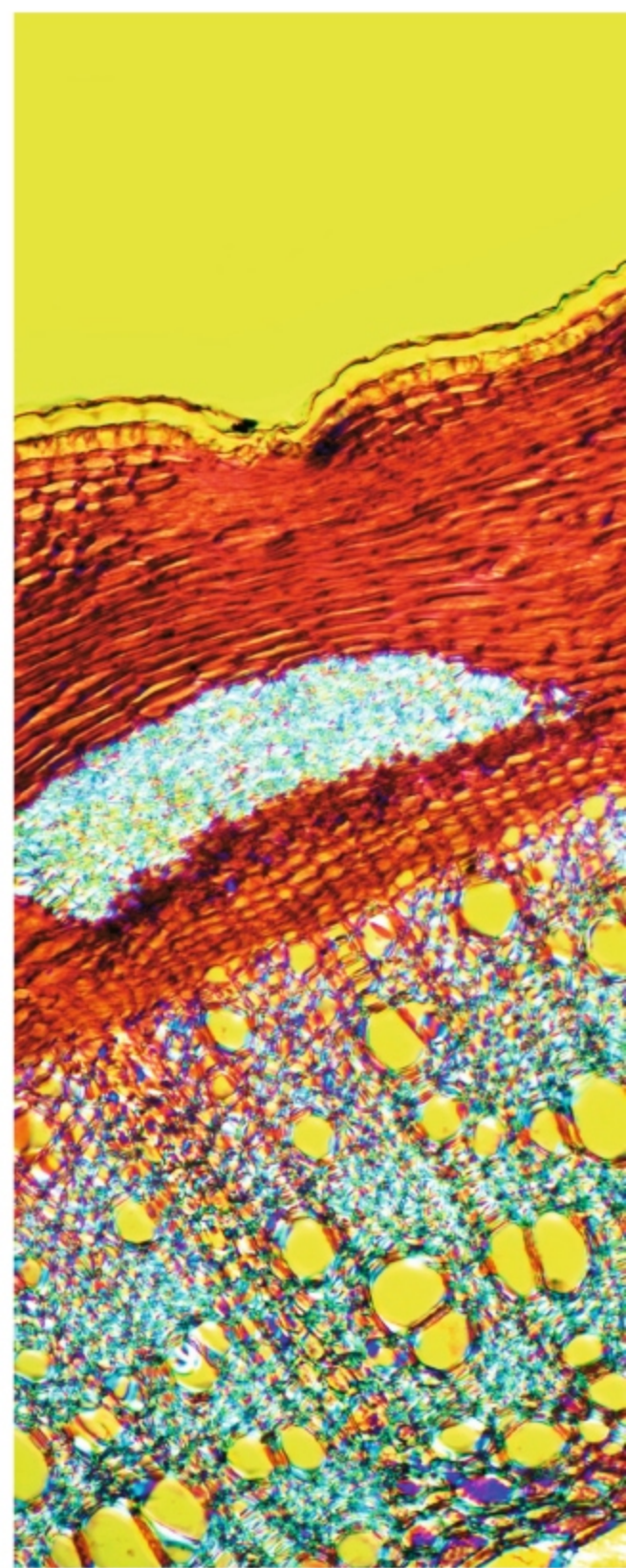
Tout simplement à cause de l'incroyable pression que développent les racines des arbres lors de leur croissance. *"Cette pression peut atteindre plusieurs mégapascals (MPa), alors que la pression dans un pneu de voiture n'est que de 0,3 MPa !* précise Eric Badel, chercheur au laboratoire de Physique et Physiologie de l'Arbre (PIAF) de Clermont-Ferrand. *Cette pression naît dans les cellules végétales qui, après division dans le 'cambium' (une fine couche de croissance sous l'écorce), s'agrandissent sous l'effet de la pression de turges-*

cence. Générée par l'afflux d'eau de l'extérieur vers l'intérieur des cellules de la plante, cette dernière exerce alors une pression sur la paroi déformable de la cellule. Ce faisant, elle rigidifie la structure cellulaire des racines, qui contribue à repousser le milieu à proximité directe des racines."

Cette pression de turgescence existe aussi au niveau des cellules responsables de la croissance en diamètre du tronc et des branches, ce qui permet aux arbres de pousser aussi des objets à la surface, comme un poteau ou un muret.

Mais attention : lorsque vous voyez de jeunes pousses émerger ici et là sur les trottoirs de nos villes, n'allez pas vous imaginer qu'elles soient dotées d'une telle force herculéenne... Car en réalité, comme l'explique Eric Badel, *"les toutes jeunes tiges sont incapables de développer des forces mécaniques d'une telle intensité. L'explication à ces plantules qui émergent des trottoirs est bien plus prosaïque : elles sont arrivées là juste parce qu'elles ont 'trouvé' dans le bitume une fissure par où transiter jusqu'à la surface."*

K.B.



> C'est l'hémoglobine, dans les globules rouges (photo), qui change de couleur en se dégradant.

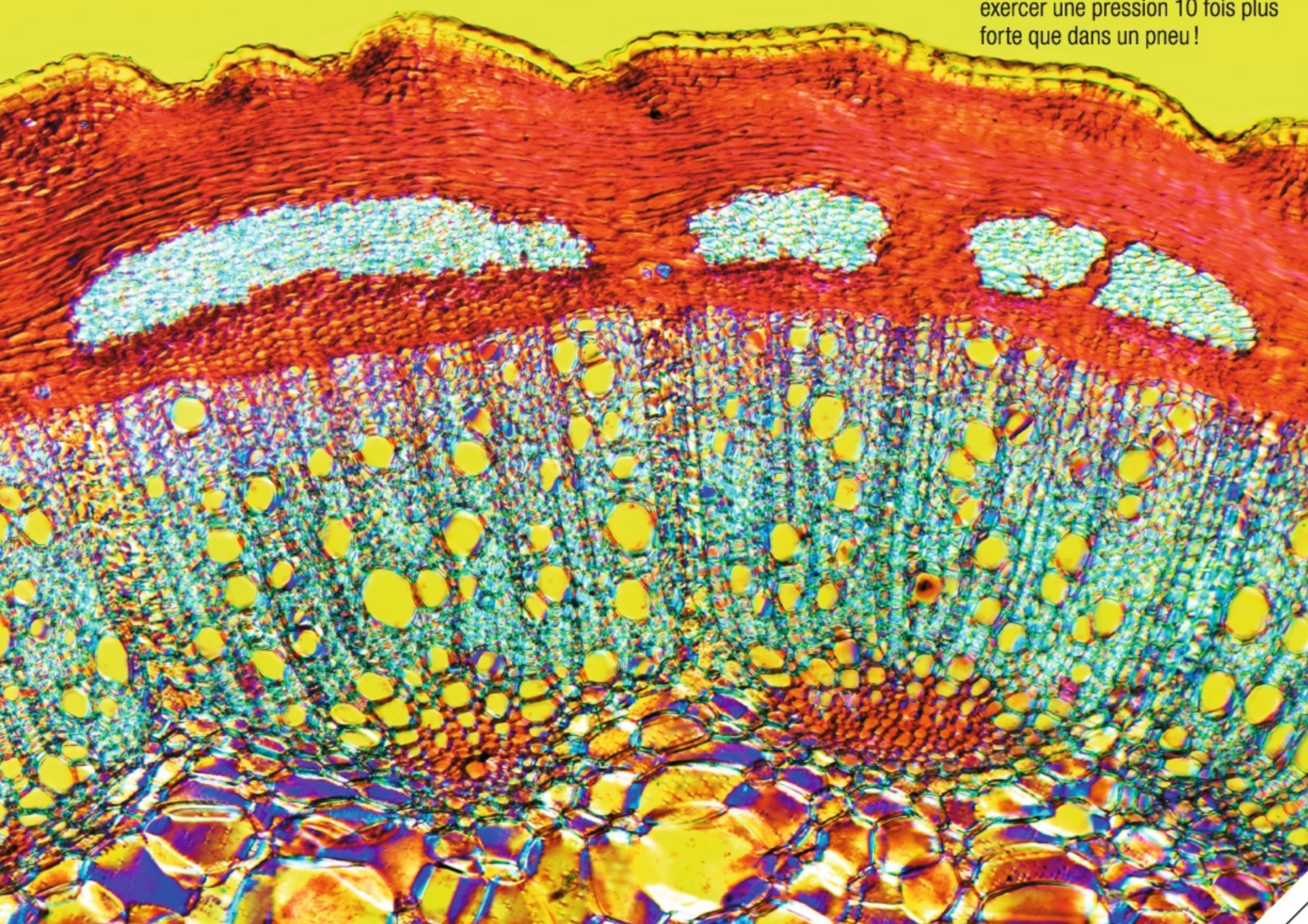
Pourquoi un bleu sur la peau devient-il jaune, puis noir ?

Question de Sophie Saget, Fénicy (77)

Ces variations sont dues à la décomposition biochimique de l'hémoglobine présente dans les globules rouges. Lors d'une légère contusion, les capillaires sous la peau sont rompus et libèrent du sang dans les tissus avoisinants. En quelques minutes, l'hématome formé est donc rouge. Mais au bout de quelques heures, l'hémoglobine hors des vaisseaux est dégradée par les macrophages – des cellules sanguines de l'immunité chargées de l'élimination de débris cellulaires – et se décompose alors en biliverdine, une molécule verdâtre, puis, après une semaine, en bilirubine, jaune brunâtre (comme la bile). L'hématome s'estompe au fur et à mesure que ces produits sont dégradés.

K.B.

◀ Les cellules du cambium (en rouge), juste sous l'écorce, peuvent exercer une pression 10 fois plus forte que dans un pneu !



Nos empreintes digitales se forment-elles de façon aléatoire ?

Question de Maxime Chapellier, Viuz-en-Sallaz (74)

En partie seulement. *“L'architecture générale des empreintes – en boucle, arc ou verticille – est gouvernée par plusieurs de nos gènes. C'est pourquoi des personnes d'une même famille ont tendance à avoir des empreintes similaires”,* précise Christophe Champod, professeur à l'Ecole des sciences criminelles à l'université de Lausanne (Suisse). En revanche, *“les ‘minuties’, ces arrêts ou ces bifurcations de lignes qui permettent de distinguer les empreintes de personnes différentes, se créent, elles, de manière bien plus aléatoire”*. Cela, via des processus moléculaires et cellulaires modulés par le développement du fœtus et son environnement dans l'utérus. Voilà pourquoi les vrais jumeaux ont des empreintes distinctes alors qu'ils partagent un ADN identique. A.P.



L'alcool détruit-il les neurones ?

Question de Luc Vercruyssen, Auderghem (Belgique)

“Assurément, oui”, répond Mickaël Naassila, directeur du Groupe de recherche sur l'alcool et les pharmacodépendances à l'université de Picardie. Et ce de plusieurs façons. “L'alcool modifie d'abord l'activité de récepteurs situés à la surface des neurones, entraînant un déséquilibre des échanges entre le neurone et le milieu extérieur, déséquilibre qui finit par induire sa mort.”

A cette attaque aux frontières s'ajoute une attaque

de l'intérieur. “L'alcool pénètre dans les cellules et y augmente le stress oxydant, avec pour conséquence la dégradation de différentes protéines essentielles et même de l'ADN. Enfin, il provoque la libération de molécules inflammatoires, qui, là encore, concourent à augmenter la mort neuronale.”

Non seulement les neurones sont plus nombreux à mourir mais ils sont aussi... moins nombreux à naître! “Nous avons montré que le binge drinking [boire beau-

coup d'alcool en très peu de temps, ndlr] réduit la neurogenèse dans le cerveau adolescent”, indique le chercheur.

MOINS DE CONNEXIONS

Outre cet effet sur le nombre de neurones, l'alcool induit également une diminution du nombre de connexions entre neurones et une disparition progressive de la myéline, la gaine qui entoure les fibres nerveuses. Autant d'effets qui sont visibles même sans microscope

(le volume du cerveau diminue fortement chez les alcooliques) et qui impactent son fonctionnement. Alors, bien sûr, tempère le chercheur, “les effets de l'alcool sont très dépendants de la dose mais aussi de la période à laquelle il est consommé. L'alcool tue ainsi 2 à 3 fois plus de neurones dans le cerveau adolescent que dans le cerveau adulte”.

En ce qui concerne son effet sur le fœtus, Mickaël Naassila rappelle que le syndrome d'alcoolisation fœtale est la première cause de handicap mental non génétique. **C.H.**

A quoi sert le lobe de l'oreille ?

Question de Camille Perennou, Ploemeur (56)

Pris isolément, le lobe n'a pas de fonction précise. Pour François Marchal, paléoanthropologue et secrétaire général de la Société d'anthropologie de Paris, “se questionner sur la fonction du lobe seul traduit une vision déformée de l'évolution, y compris de la part des scientifiques, qu'on appelle l'adaptationnisme”. En effet, chaque élément isolé d'un organisme n'a pas forcément été modifié pour servir à quelque chose de précis. Le pavillon de l'oreille, lobe compris, sert à focaliser les sons vers le conduit auditif. Chez certaines espèces, comme l'âne, le pavillon est orientable. L'homme a perdu cette capacité. “Quand l'oreille est sur le dessus de la tête, comme chez les lapins, la question du lobe ne se pose pas puisque sous l'oreille, il y a la tête, précise François Marchal; quand ça se retrouve sur les côtés du crâne plutôt qu'au-dessus, il peut y avoir un ‘dessous’. Il n'est alors pas nécessaire de renforcer la partie basse par du cartilage, et ça fait un lobe qui pendouille.” **A.P.**

Pourrait-on incinérer

Question d'A.B. Muller, St-Aubin-Montenoy (80)

L'idée ne date pas d'aujourd'hui, sauf que sa réalisation s'avère impossible. Pour de nombreuses raisons d'ordre géographique, environnemental et pratique.

Pour devenir une déchetterie géante, les volcans doivent être munis d'un cratère ouvert, avec un lac de lave situé au fond. Or, il n'existe actuellement que cinq volcans de ce genre: à Hawaï, en Ethiopie, au Vanuatu (Océanie) et en Antarctique. Cela réduit donc drastiquement les possibilités... Surtout il ne faut pas croire que ces déchets,

une fois jetés dans la lave qui affleure un cratère, pourraient être aspirés vers le cœur de la Terre, où ils se consumeraient en toute discrétion: ils seraient en fait brûlés sur place, dans la cheminée du volcan. Et cela poserait de nombreux problèmes.

LA LAVE EST TROP DENSE

D'abord, “le processus d'incinération fonctionnerait mal, estime Claude Grandpey, vice-président de L'Association volcanologique européenne et auteur de plusieurs ouvrages sur la volcanologie. Car les déchets jetés ne peuvent

FOTOLIA - A.DAGAN

Oui, et de multiples façons...

1. L'alcool augmente le stress oxydant

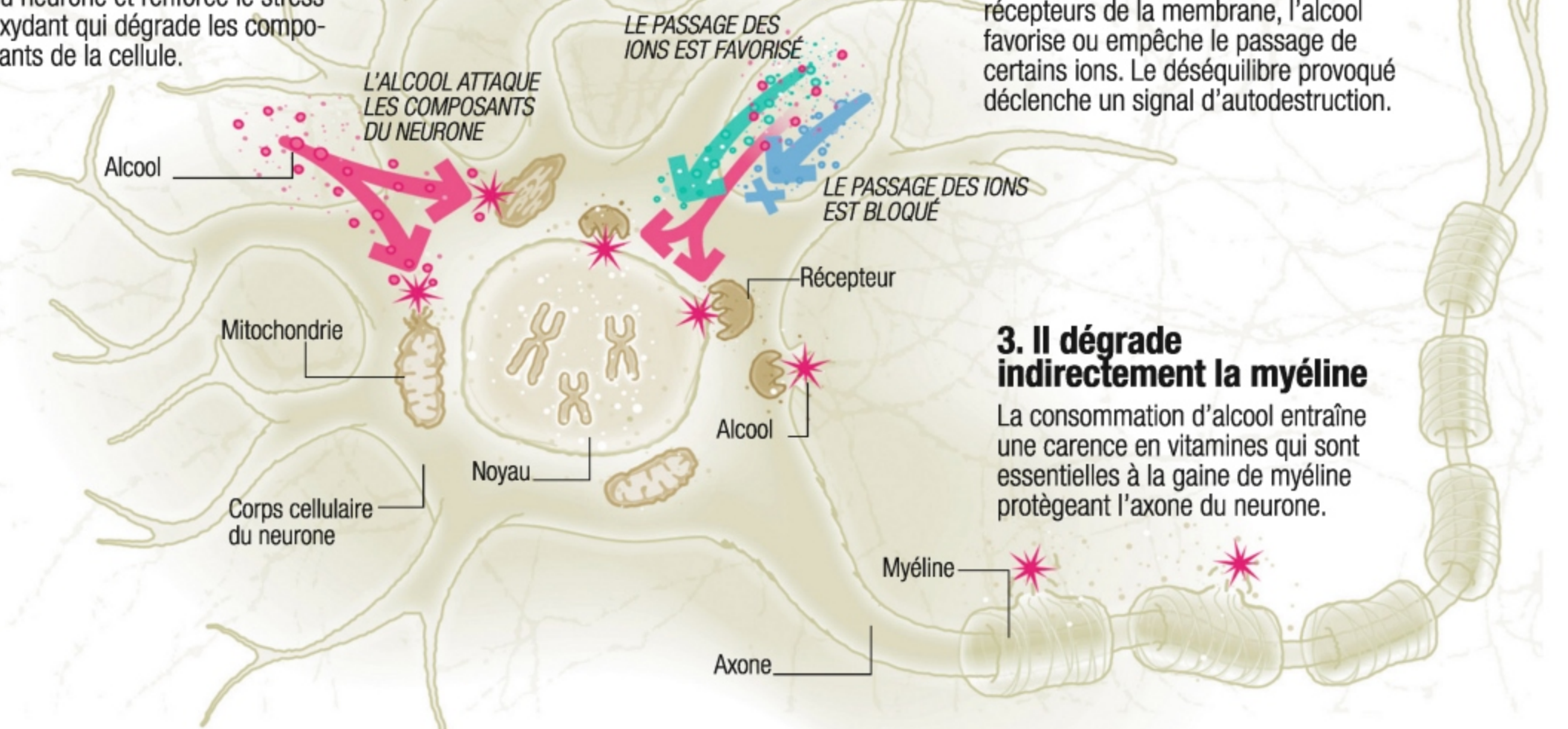
L'alcool traverse la membrane du neurone et renforce le stress oxydant qui dégrade les composants de la cellule.

2. Il induit une réaction d'autodestruction

Pour rester en équilibre chimique avec le milieu qui les entoure, les neurones échangent en permanence des substances (ions) avec lui. En se liant aux récepteurs de la membrane, l'alcool favorise ou empêche le passage de certains ions. Le déséquilibre provoqué déclenche un signal d'autodestruction.

3. Il dégrade indirectement la myéline

La consommation d'alcool entraîne une carence en vitamines qui sont essentielles à la gaine de myéline protégeant l'axone du neurone.



les déchets dans les volcans ?

pas s'enfoncer en grande quantité dans la lave, qui est très dense. Même sous son aspect liquide".

Par ailleurs, la température de la lave ne serait pas suffisante pour détruire tous les déchets, en particulier les déchets nucléaires. La température d'ébullition de l'uranium, par exemple, s'élève à 4 131 °C, alors que la chaleur de la lave émise par un volcan varie entre 700 et 1 300 °C seulement.

Enfin, la combustion des déchets générerait des gaz toxiques dans l'atmosphère, polluants et dangereux pour la santé. *"Il ne faut pas oublier que les incinérateurs de déchets*

> Rien de tel qu'une usine d'incinération ad hoc pour éliminer les déchets.

ménagers comportent de nombreux filtres pour éviter ce problème", rappelle Claude Grandpey. Difficile d'imaginer recouvrir le cratère des volcans de filtre antipollution...

Un avis partagé par l'Ademe (Agence de maîtrise de l'environnement et de l'énergie), qui indique en outre que *"la gestion des déchets nécessite des conditions de sécurité pour le personnel et les riverains qui ne sont pas réunies dans cette problématique". F.C.*



L'espèce humaine est-elle la seule à porter des bijoux ou des parures ?

Question de Cédric Stanghellini, Neuville-sur-Ain (01)

Si l'on se limite aux espèces actuelles, *"excepté l'humain, aucune autre espèce n'utilise des ornements"*, assène l'anthropologue américain Steven Kuhn. La confection et le port de cet objet modifié et discret, utilisé pour s'embellir, se distinguer ou manifester son appartenance à une communauté, suggèrent l'acquisition d'aptitudes pour le symbolisme et la créativité.

Des chercheurs néerlandais ont certes observé, l'année dernière, le curieux comportement de chimpanzés consistant à s'introduire un brin d'herbe dans l'oreille, une pratique transmise de gé-

nération en génération. Mais la primatologue belge Marie-Claude Huynen le confirme: *"Aucun primate non-humain ne confectionne des ornements."*

L'un des ornements humains les plus anciens, de petits coquillages marins perforés, remonte à -82 000 ans.

Concernant les espèces éteintes, une équipe britannique a découvert en Espagne, en 2010, des coquillages avec des traces de pigments, susceptibles d'avoir été portés comme



parure par des Néandertaliens, il y a 50 000 ans. Mais, même s'il semble de plus en plus clair que Neandertal pouvait se parer de dents d'animaux, peut-être même de plumes – voire de pigments –, *"il existe encore très peu d'exemples non controversés d'objets ornementaux discrets associés à des espèces autres qu'Homo sapiens"*, précise Steven Kuhn. **K.B.**

< On ne connaît pas d'autre espèce que l'être humain qui porte des parures (ici, une femme Samburu du Kenya).

Comment le vent porte-t-il le son ?

Question de Sébastien Verdier, Montauban (82)

Certes, on entend mieux lorsqu'on est dans le sens du vent, mais ce n'est pas parce qu'il porte le son. Les courants d'air ne font qu'ajouter ou retrancher leur vitesse à celle des ondes sonores, de 340 m/s. Le signal nous parvient donc plus tôt ou plus tard, mais pas plus fort !

L'amplification vient d'ailleurs. *"Les vents sont toujours plus forts en al-*

titude qu'au niveau du sol, explique Benoît Gauvreau, chercheur au Laboratoire d'acoustique environnementale de l'Ifsttar, à Nantes. *L'atmosphère est donc comme stratifiée selon des vitesses de vent croissantes. Et lorsque le son passe d'une couche à une autre, sa trajectoire s'incurve légèrement, comme un rayon lumineux*

qui passe de l'air à l'eau." Résultat: s'il va dans le sens du vent, le son se focalise vers le sol, et à l'inverse se disperse dans le ciel.

Ce phénomène est sensible: sur 100 m, la différence de niveau sonore qui en découle peut s'élever à 10 dB ! Un facteur à prendre en compte notamment lors de la construction d'infrastructures de transport. **B.R.**

GAGNEZ UN
ABONNEMENT
D'UN AN À

SCIENCE & VIE

Cette rubrique est la vôtre,
écrivez-nous !

Envoyez vos questions,
en indiquant clairement
votre adresse postale, à:
sev.qr@mondadori.fr
ou bien par courrier à:

SCIENCE & VIE
QUESTIONS/RÉPONSES
8, rue François-Ory
92543 MONTROUGE CEDEX

Petit prix !

Abonnez-vous à Science & Vie

35,90 € seulement
au lieu
de ~~51,60 €~~

1 an - 12 numéros



Soit
30%
de réduction

BULLETIN D'ABONNEMENT

À compléter et à retourner accompagné de votre règlement dans une enveloppe affranchie à :
SCIENCE & VIE - SERVICE ABONNEMENTS - CS 50273 - 27092 EVREUX CEDEX 9

- ☐ **Oui, je m'abonne à Science & Vie pour**
1 an (12 n°) pour **35,90 €** au lieu de ~~51,60 €~~
 soit **30 % de réduction**

819 110

- ☐ **Je préfère m'abonner à Science & Vie 1 an (12 n°)**
+ 4 hors-séries pour **49,90€** au lieu de ~~71,40 €*~~
soit 30 % de réduction

819 128

NOUVEAU ! Recevez la version numérique **OFFERTE** avec votre abonnement papier !



SCIENCE & VIE

Nos archives numériques sur :
www.archives.science-et-vie.com
+ de 300 n°s et 15 000 articles numérisés.



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 pourrions 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

 CC BY-NC-SA

Date et signature obligatoires

Expire à fin Code Crypto

Les 3 chiffres au dos de votre CB

*Prix public et Prix de vente en kiosque. Offre valable pour un 1er abonnement livré en France métropolitaine jusqu'au 30/06/2015 et dans la limite des stocks disponibles. Je peux acquérir séparément chacun des numéros mensuels de Science & Vie au prix de 4,30 € 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 Ory 92543 Montrouge cedex RCS B 572 134 773 - Capital : 1 717 360 €

Réplique de la grotte Chauvet

Le joyau de l'art pariétal enfin accessible

C'est d'abord la façade de la caverne qui se dessine, une muraille rocheuse grise stylisée qui s'intègre parfaitement dans la végétation ardéchoise.

A l'intérieur, la première impression est étonnamment bruyante : bruits de pas et conversations sont amplifiés par la géométrie des lieux et divers dispositifs... Une ruse des scénographes pour que, une fois ce sas de présentation passé, les visiteurs soient saisis par le silence.

D'autres sens s'éveillent alors qu'on plonge dans les entrailles de la caverne reconstituée. La semi-obscurité révèle peu à peu sur les parois des ours peints, des rhinocéros, des lions... L'humidité ambiante est celle de la vraie grotte.

ÉVITER TOUTE DÉGRADATION

Une expérience sensorielle, un voyage dans le temps : ainsi se veut la réplique à l'identique de la célèbre grotte Chauvet, l'un des plus beaux et impressionnants joyaux du paléolithique.

A sa découverte, en 1994, à 6 km de là, la grotte originale avait aussitôt révolutionné nos conceptions sur l'origine de l'art.



^ > Trente mois de travaux, un procédé de modélisation inédit et 60 000 relevés ont été nécessaires pour reconstituer 3 000 m² de la grotte et reproduire les peintures les plus emblématiques (à dr.).

Par son âge d'abord, 36 000 ans, qui fait d'elle une des plus anciennes grottes ornées ; par sa taille ensuite (8 200 m²) ; enfin par la richesse de son bestiaire.

Mais ce trésor, pour éviter toute dégradation et contamination comme à Lascaux, n'a jamais été ouvert au public. En contrepartie, il a donc été reconstitué à l'échelle pour que chacun puisse découvrir ce patrimoine de notre humanité.



Après trente mois de travaux, et grâce à 60 000 relevés de ses moindres recoins et un procédé de modélisation inédit, le fac-similé est enfin prêt. Si celui de Lascaux fut le premier (voir encadré), celui-ci est le plus grand et le plus complexe jamais réalisé dans le monde.

Reprenant le parcours des scientifiques à l'intérieur de la grotte originale, les visiteurs cheminent sur un jeu de passerelles et de dix plateformes qui leur permettent de découvrir les salles les plus importantes, restituées à l'identique sur 3 000 m². S'y





Et aussi...

Lascaux IV ouvrira en 2016

L'autre grotte ornée "mythique" française, Lascaux, verra normalement son nouveau fac-similé s'ouvrir en 2016. "Lascaux IV" (l'étant l'original, il son premier fac-similé et le III consistant en panneaux itinérants) répliquera complètement les 575 m² de fresques de l'original au sein du futur Centre international d'art pariétal de Montignac (Dordogne). Vieille de 18000 ans, Lascaux se distingue de Chauvet par son bestiaire moins agressif : plus que les ours et les félins, ce sont ici les chevaux et les bovins qui dominent.

► Site de Razal, 07150 Vallon-Pont-d'Arc Tél. : 09 70 71 14 60

► Ouverture le 25 avril 2015.
Avril, mai, juin, septembre : 10 h-19 h.
Juillet-août : 9 h-20 h 30. Février, mars, octobre, 14 novembre : 10 h-18 h.
15 novembre, janvier : 10 h-17 h.

► Tarifs : adulte, 13 € ; jeunes, 6,5 € (10 à 17 ans) ; gratuit pour les enfants.

► Infos@cavernedupontdarc.fr.
<http://www.lagrottechauvetpontdarc.org/>

^ Chaque peinture, ici un troupeau de rhinocéros, ressuscite une histoire datant de 36 000 ans.

déployent 27 "panneaux" reprenant les figures les plus connues, sur la roche d'origine elle aussi fidèlement reproduite. Les 44 m² tracés au fusain du panneau des chevaux, les 65 m² des grands lions fondant sur des bisons sont là. Mais aussi des œuvres plus intimes, et parfois uniques, comme le petit hibou tracé jadis au doigt sur une paroi encore meuble ou ces triangles pubiens féminins.

Artistes et préhistoriens ont étudié pendant des mois les originaux pour en restituer la forme, les teintes justes, mais aussi la vivacité.

Ils ont reproduit au plus près les gestes et techniques de leurs prédécesseurs.

UN VOYAGE DANS LE TEMPS

Les concepteurs de la "caverne du pont d'Arc" ne se sont pas limités aux peintures. La grotte est présentée dans sa globalité : les stalactites et stalagmites, les sols avec les traces de pas humains et animaux, les bauges des ours, les centaines d'ossements abandonnés ou mis en scène (comme ce crâne posé en évidence sur une pierre-autel) des millénaires plus tôt parsèment aussi la visite.

Trente-cinq entreprises se sont relayées dans ce défi de premier plan. La meilleure preuve de leur réussite, c'est que leur travail s'efface complètement derrière le voyage dans le temps offert... Les retrouvailles avec nos ancêtres deviennent palpables. Un voyage à compléter au pôle pédagogique, à l'espace événementiel et au centre de découverte qui proposent films, scénographies et expositions en partenariat avec le musée du quai Branly et la Cité de la préhistoire de l'Aven d'Orignac.

Emilie Rauscher

DIAPORAMAS SONORES



► **Petites discussions avec la douleur**

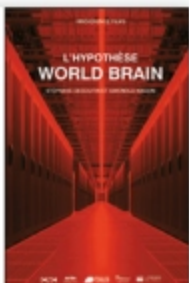
► De E. Fayner, H. David, F. Changeret
► <http://tinyurl.com/o43833p>

Ils sont gymnaste, haltérophile, lutteur, coureur de demi-fond, nageuse. Tous sportifs de haut niveau. Tous effrayés autant que galvanisés par la douleur qui accompagne leurs efforts. Une journaliste, un preneur de son et une photographe nous immergent dans ce dialogue avec la douleur en courts diaporamas où se mêlent paroles, souffle et sons produits par l'activité sportive... Un relief saisissant est apporté aux photos par la technologie binaurale, qui restitue, au casque, l'origine spatiale (direction, distance) de chaque son. Sensations garanties. **F.L.**

FILM-SITE

► **World Brain**

► De S. Degoutin et G. Wagon.
Irreverence Films/Arte
► <http://worldbrain.arte.tv/#/>



World Brain est "lisible comme un livre, explorable comme une carte et consultable comme un film", dit Gwenola Wagon, coauteure de cet ovni médiatique. Il se présente d'abord, sur le Web, comme un documentaire vidéo de cinq minutes sur la pose des fibres optiques par lesquelles Internet traverse les océans. Cette séquence finie, le cadre rétrécit jusqu'à se noyer au milieu d'articles, d'extraits de livres, de photos et d'autres vidéos, qui forment une carte. L'internaute peut choisir de l'explorer ou de laisser la séquence vidéo suivante démarquer: le film, qui mêle documents et fiction, se construit pas à pas. Les deux donnent corps au concept de "cerveau mondial". Fascinant. **F.L.**

LIVRE



► **Seuls ensemble**

De plus en plus de technologies, de moins en moins de relations humaines

► De Sherry Turkle
► Ed. L'Echappée
► 530 pages, 22 €



Tous connectés... à la solitude

Le titre semble annoncer un réquisitoire contre Internet et les robots. C'est vrai, l'auteure entonne des refrains connus quand elle pointe la propension de ses contemporains à ne pas savoir déconnecter, à privilégier les réseaux sociaux aux conversations entre êtres de chair.

Elle se désole elle-même de commencer et finir ses journées par la lecture, au lit, de ses e-mails.

Mais plus qu'une lamentation, Sherry Turkle fait de cet état de fait le point de départ d'une enquête approfondie sur notre rapport aux "artefacts relationnels".

L'anthropologue et psychologue est entrée au prestigieux MIT (Massachusetts Institute of Technology) il y a 30 ans. Elle y dirige aujourd'hui le département Technologie et autonomie. Elle a côtoyé au long de sa carrière les plus brillants roboticiens, cognitivistes, informaticiens...

Surtout, elle a écouté, au fil d'entretiens et d'enquêtes de terrain, enfants, adolescents, adultes et personnes âgées lui raconter la "rencontre", puis le quotidien, avec des machines toujours plus aptes à simuler une relation.

VOIR EN AUTRUI UN OBJET

S'invitent au fil des pages des robots (Tamagotchi, Furby, My Real Baby, Cog, Paro...), mais aussi les textos, les posts sur Facebook, les heures passées dans les mondes virtuels de Second Life, *World of Warcraft*...

Peu à peu émerge une démonstration sans appel: nous sommes fragiles face au pouvoir des technologies "relationnelles". Et à force de préférer les machines aux humains, nous risquons de nous retrouver seuls.

"Les robots et la connectivité [...] représentent deux chemins possibles vers une forme de retrait relationnel", résume l'auteure. Car les

robots ont pour eux de sembler s'intéresser à nous sans rien exiger en retour. Tandis que les réseaux sociaux nous permettent de "considérer autrui comme un simple objet auquel on accède, juste pour y trouver ce qui nous semble utile: du réconfort et du divertissement".

Sherry Turkle invite alors non pas à un rejet, mais au discernement.

L'invitation peut sembler prématurée: après tout, les "robots-compagnons" ou les "assistants intelligents" sont souvent moins séduisants que ne l'annoncent leurs concepteurs.

Mais le charme opère déjà, avertit la chercheuse: ce sont souvent des robots basiques qui suscitent les cas d'attachement qu'elle relate. Logique: "Notre désir d'interagir avec l'inanimé ne dépend pas d'une tromperie dont nous serions les dupes, mais de notre désir de combler les vides." **F.L.**

VOUS AVEZ BEAUCOUP À NOUS APPRENDRE !

Vous lisez Science & Vie et vous souhaitez nous faire partager vos idées, vos opinions ou commentaires ?

DEVENEZ LECTEUR CONSEIL

Inscrivez-vous sur **www.lecteurconseil.com**
et laissez-vous guider.

Vous serez consulté en moyenne une fois par mois, vous répondrez à votre convenance selon les thèmes proposés. À chaque consultation, vous cumulerez des points que vous pourrez échanger en cadeaux ou chèques cadeaux.

SCIENCE & VIE

Conformément à la loi informatique et liberté du 6 janvier 1978 il ne sera fait aucun usage de vos coordonnées personnelles. Les questionnaires seront traités de façon entièrement anonyme et resteront la propriété de Mondadori France. Vous pouvez vous désinscrire à tout moment.



Le catamaran qui cache un scooter amphibie

Découvrir les fonds marins sans effort et sans bouteilles, voilà le rêve de tout plongeur débutant. L'entreprise française Platypus Craft a donc développé ce petit bateau (5,72 x 2,50 m), à mi-chemin entre le catamaran et le jet-ski. Propulsé par deux moteurs à hélice (essence ou électriques, au choix), il permet de naviguer à la fois sur et... sous l'eau ! L'astuce réside dans sa nacelle centrale, reliée aux deux flotteurs par des bras basculants. Installés dessus à califourchon, les 2 passagers n'ont qu'à appuyer sur un bouton pour qu'elle descende, jusqu'à 2 m sous la surface, grâce à un

système hydraulique. La vitesse du bateau (jusqu'à 22 km/h pour l'électrique, et 30 km/h l'essence) s'abaisse alors à 5,5 km/h, et les plongeurs, lestés par une ceinture, profitent du spectacle comme sur un scooter sous-marin. Leur respiration est assurée, jusqu'à cinq heures, par un masque relié à un compresseur d'air électrique inté-

gré dans les flotteurs. Le pilotage s'effectue avec deux manettes et un écran étanche relié à deux caméras grand angle en surface. Le Platypus est disponible en pré-commande; livraison prévue fin 2015. **L.B.**

Prix : env. 43 000 € (essence), 52 000 € (électrique).
Rens. : <http://platypuscraft.fr>



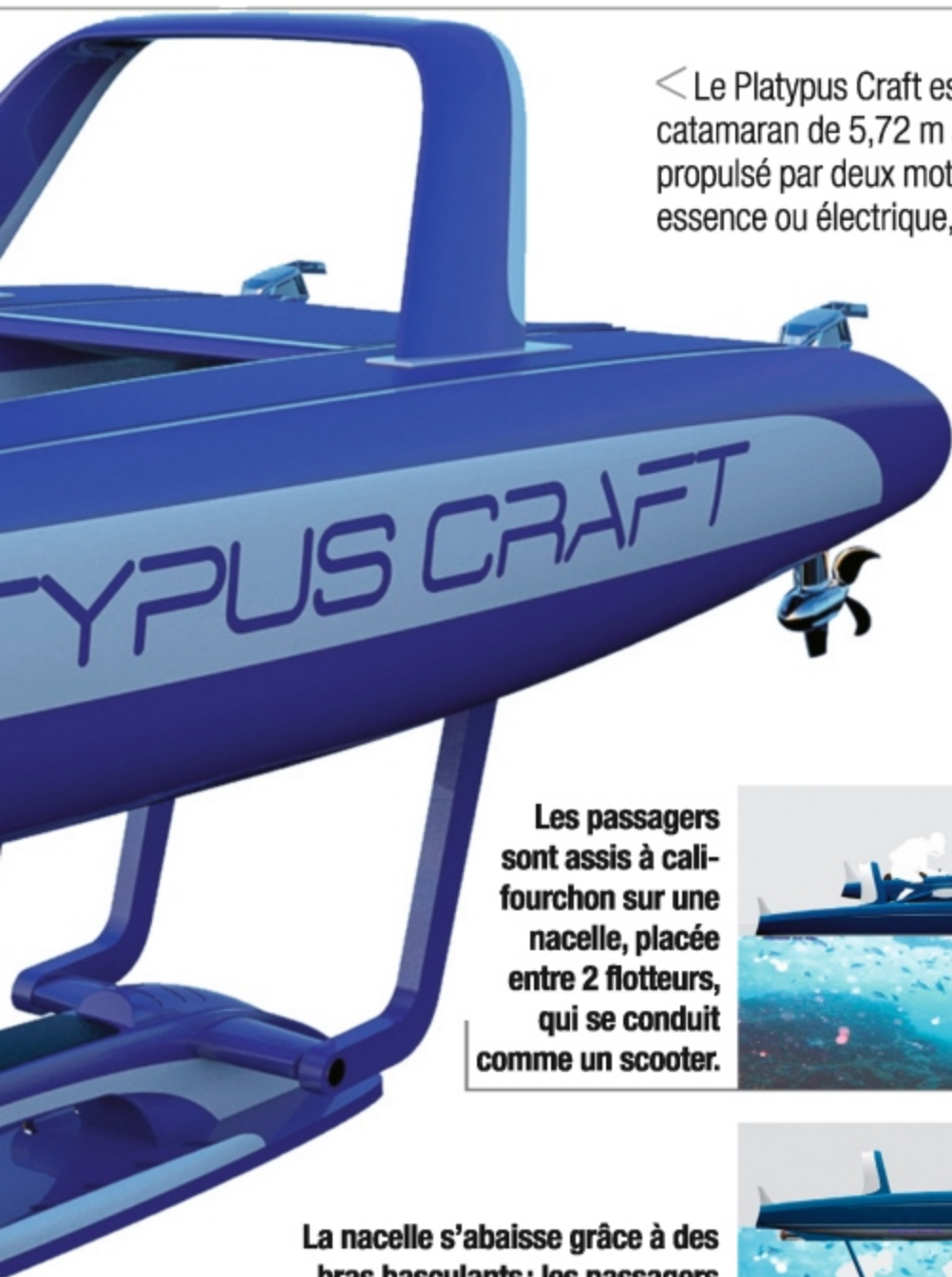
✓ Une doublure qui mêle métaux et polyester arrête les ondes radio, protégeant smartphones et cartes de paiement sans contact.



Le tissu de ce jean bloque les hackers

La société de logiciels antivirus Norton et la marque de vêtements Betabrand se sont associées pour créer un jean anti-hacker, qui empêche le vol de données personnelles. Tout se passe dans les poches : deux d'entre elles, une à l'avant, l'autre à l'arrière, sont doublées d'un tissu composé d'un mélange de métaux et de polyester. Ce tissu est capable de bloquer les ondes radio si bien que, rangés dans l'une de ces poches, vos cartes bancaires sans contact et smartphones seront à l'abri des pickpockets numériques qui tenteraient de récupérer des informations en s'approchant de vous avec un lecteur pirate. **M.S.**

Prix : env. 120 € – Rens. : www.betabrand.com



< Le Platypus Craft est un petit catamaran de 5,72 m sur 2,50 m propulsé par deux moteurs à hélice, essence ou électrique, au choix.

Les passagers sont assis à califourchon sur une nacelle, placée entre 2 flotteurs, qui se conduit comme un scooter.



La nacelle s'abaisse grâce à des bras basculants : les passagers sont alors sous l'eau, où des masques reliés à un compresseur leur permettent de respirer.



LE COIN DES PROTOTYPES

Un casque de réalité super augmentée

Version améliorée des Google Glass, le casque HoloLens de Microsoft ne se contente pas de superposer de simples symboles ou lignes de texte sur ses verres. Ce mini-ordinateur autonome enrichit la vision avec des images de synthèse d'objets, de décors, de personnages en relief qu'il intègre à l'environnement. Grâce à ses capteurs de mouvements et de profondeur, il recalcule les images 3D afin d'adapter leur perspective quand l'utilisateur se déplace. Il est ainsi possible de tourner autour d'un objet virtuel posé sur une table. Le casque reconnaît les commandes vocales et gestuelles : on peut cliquer du doigt sur les objets 3D pour interagir avec eux. Ses applications promettent d'être très vastes, du traditionnel jeu vidéo au travail collaboratif. Mais, pour l'instant, cela reste un concept de centre de recherche! **O.L.**



Rens. : www.microsoft.com/microsoft-hololens/en-us

Une appli pour faire des coloriages animés

Lancé par deux créateurs français, ce "cahier de dessin animé" met les coloriages de vos enfants en mouvement. Première étape : colorier l'une des seize planches papier à l'aide de n'importe quels crayons de couleur ou feutres. Seconde étape : photographier le dessin à l'aide d'un téléphone mobile ou d'une tablette (iOs et Android), sur lesquels l'application gratuite Wakatoon

aura été préalablement téléchargée. Résultat ? Les contours du coloriage, préenregistrés dans l'appli, vont être détectés et des petites saynètes contenant le

coloriage s'animeront sur l'écran du smartphone ou de la tablette, racontant une histoire. **E.T.-A.**

Prix. : env. 10 €.
Rens. : www.cahier-anime.com

✓ L'application Wakatoon permet de raconter des histoires à partir de 16 coloriages différents.



Le premier drone qui obéit à la voix

“Décolle”, “tourne à gauche”, “tourne à droite”, “reviens”, “atterris”... et même “danse” ! Pour commander ce drone, baptisé X-Voice, c’est simple : il suffit de parler. Grâce à un microphone porté à l’oreille et connecté à sa télécommande 2,4 Ghz, ce drone obéit à 9 ordres différents, et ce dans 10 langues (français, anglais, allemand, espagnol, italien, portugais, arabe, turc, chinois et russe). Si vos instructions n’ont pas été assez précises ou que le drone ne les comprend pas, n’ayez crainte :

vous pourrez toujours reprendre la main comme avec n’importe quel drone classique... grâce à la télécommande. Et, en cas d’erreur de pilotage, sa structure légère (environ 1,5 kg) et flexible, à quatre hélices, amortira les chocs et les chutes. X-Voice dispose d’une portée de 150 m, d’une autonomie d’environ dix minutes, et se recharge *via* un port USB en moins d’une heure.

C.H.

Prix : env. 65 €.
 Rens. : <http://flyinggadgets.com>



> Des surfaces réfléchissantes permettent à l’ordinateur de traduire en sons les mouvements du batteur.

Une batterie virtuelle

Imaginé par deux Anglais, Aerodrums est le premier kit de batterie virtuelle qui se compose de deux baguettes et de supports réfléchissants. Le principe ? Une application (Mac ou PC) à télécharger permet d’afficher la batterie sur l’écran de son ordinateur, qui va servir de repère pour jouer dans le vide. Les surfaces réfléchissantes disposées

sur les baguettes et les pieds du batteur, éclairées par des LED, permettent à la caméra PlayStation Eye (non fournie) de capter les mouvements en temps réel. Mouvements qui sont transformés en sons, en fonction du sample associé et de la sensibilité de frappe. Malin !

A.P.

Prix : env. 150 €.
 Rens. : <http://aerodrums.com>

Un miniclavier pliable pour smartphone

Replié, ce clavier fait l’équivalent d’un tiers de la taille et du poids d’un smartphone. Déplié, il permet de taper un texte plus facilement que sur un clavier tactile minuscule. Fabriqué par la société californienne Way-Tools, ce Textblade se compose de trois parties qui s’assemblent magnétiquement : une pour la touche espace et la batterie et deux autres constituées de blocs de quatre grosses touches chacun pour les caractères. Textblade se connecte automatiquement *via* Bluetooth à tout objet nomade compatible. Son autonomie dure un mois.

S.F.

Prix : env. 80 €.
 Rens. : <https://waytools.com/products/textblade/1/trailer>



< Un microphone connecté à la télécommande permet de donner jusqu'à 9 ordres différents à X-Voice sur une portée de 150 m.



A la fois ampoule connectée et détecteur de fumée

Conçue par le français Bell & Wyson, l'ampoule LED BW1.1 de 9 watts (ce qui équivaut à 70 watts en incandescent) vous protège des incendies grâce à son détecteur de fumée intégré. Ça tombe bien, depuis le 9 mars, les détecteurs sont obligatoires dans tous les lieux d'habitation en France... En cas de fumée, l'ampoule connectée prévient les utilisateurs par une notification sur leur téléphone ou smartphone iOS et Android. Elle fonctionne aussi comme un détecteur traditionnel avec une sirène intégrée.

Contrôlable à distance avec un smartphone ou une tablette, l'ampoule peut être allumée ou éteinte à distance, même en étant à des kilomètres de chez soi. L'ampoule, équipée d'un culot E27, est dotée d'une pile

3V lithium qui peut être changée lorsqu'elle est déchargée (durée de vie annoncée: cinq ans). **L.Bo.**

✓ L'ampoule LED BW1.1 s'allume et s'éteint à distance et a une durée de vie de cinq ans.



Prix: env. 110 €. Rens.: <http://bellandwyson.com>

25 avril 1990

Lancement de Hubble, premier télescope spatial

Lentement, après deux tentatives infructueuses, les panneaux solaires se déploient. Engoncés dans leur scaphandre, les deux astronautes regagnent la navette *Discovery*. Près de 600 km plus bas, ce 25 avril 1990, les ingénieurs de la Nasa sabrent le champagne: après plus de vingt ans d'une gestation difficile, le télescope spatial *Hubble* est enfin en orbite. Il deviendra bientôt l'instrument scientifique le plus célèbre jamais construit, suscitant par la seule force de ses images éblouissantes plus de vocations d'astronomes que des milliers de discours. Et pourtant, il a bien failli ne jamais voir le jour...

Si l'idée d'un télescope placé en orbite était envisagée dès les années 1920, c'est l'astronome américain Lyman Spitzer qui montre, en 1946, que c'est non seulement possible mais nécessaire: l'atmosphère qui protège la vie terrestre absorbe une grande partie des rayonnements et fluctue constamment, empêchant les plus puissants télescopes au sol de voir des détails plus fins qu'une demi-seconde d'arc, et interceptant presque entièrement de nombreuses longueurs d'onde, comme l'infrarouge et l'ultraviolet.

Mais comment mettre en orbite un instrument de plusieurs tonnes? En 1957, avec *Spoutnik*, c'est une

bille de... 83 kg que les Soviétiques ont réussi à placer dans l'espace.

RETARDS ET SURCOÛTS

La course vers la Lune va changer la donne. Les lanceurs deviennent de plus en plus puissants. De premiers satellites enregistrent bientôt des spectres électromagnétiques dans l'ultraviolet, les rayons X et gamma. Dans les années 1960, l'idée d'un observatoire complet qui s'affranchirait de l'atmosphère n'est plus absurde.

La Nasa, créée depuis 1958 pour laver l'affront de *Spoutnik*, l'étudie sérieusement, mais s'effraie des coûts monstrueux d'un tel projet. Dans les années

1970, les premières esquisses s'ébauchent d'un *Large Space Telescope* qui s'appuierait sur la future navette spatiale pour assurer sa maintenance. Les plus optimistes espèrent un lancement en 1977.

Ils vont déchanter. Après l'euphorie des programmes Apollo, le budget de la Nasa se resserre. Le Congrès américain ne voit pas l'intérêt de dépenser plus d'un demi-milliard de dollars pour observer les étoiles, quand tant de problèmes sont à régler sur Terre. En 1974, le projet est revu à la baisse, avec un miroir de 2,4 m de diamètre au lieu des 3 m prévus. Les devis sont grossièrement sous-évalués. Mais en 1977,

SCIENCE & VIE en parlait déjà... PAR FIORENZA GRACCI

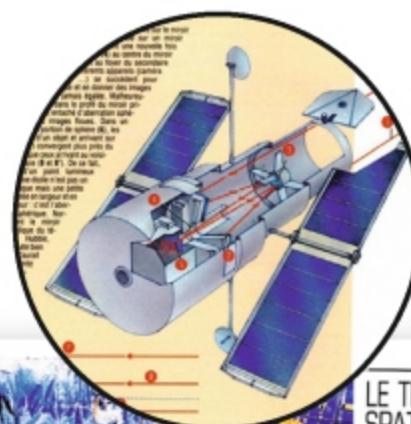
1990 L'EXPLOIT EN AVANT-PREMIÈRE

Enthousiasme à S&V: A nous enfin "les objets cosmiques aujourd'hui encore inconnus"! Avec *Hubble*, perché à 600 km d'altitude, au-dessus de "la couche atmosphérique dont les turbulences troublent les images (...), le volume de l'Univers accessible à nos yeux sera cent fois plus vaste. Quelles surprises nous y attendent?" S&V n° 870



1990 LES PREMIERS CLICHÉS SONT FLOUS!

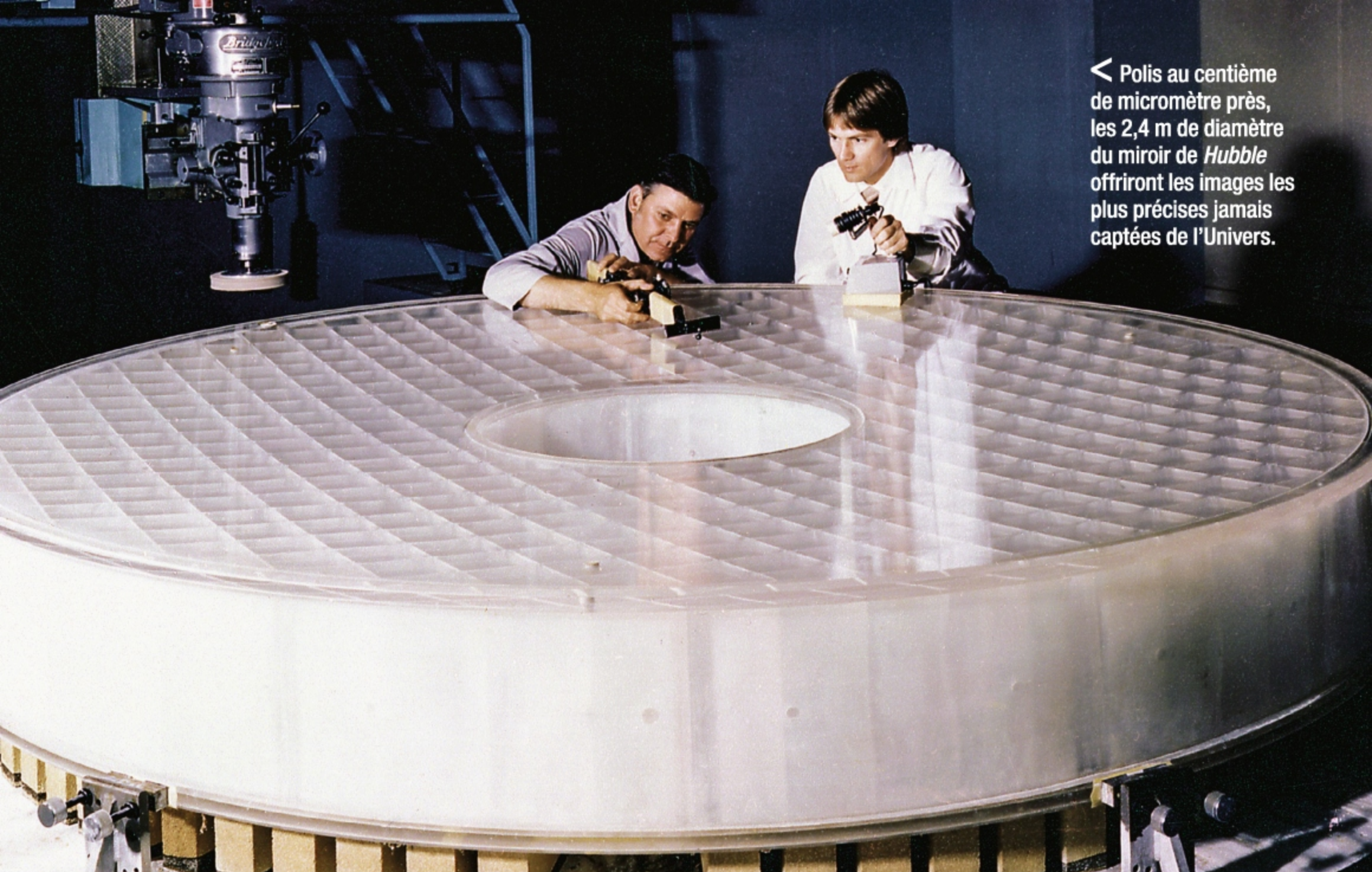
A peine la mise en orbite réussie, c'est le premier gros hic: "Le supertélescope est affligé d'un défaut de vision irrémédiable": il est presbyte sur les bords et myope au centre à cause de la mauvaise courbure de son miroir. Heureusement, ses clichés flous sont bientôt corrigés grâce à un traitement informatique. S&V n° 876



LE TÉLESCOPE SPATIAL ÉTAIT PRESBYTE DE NAISSANCE

Il eût été étonnant d'observer l'horizon lointain si la jousille pour voir haut de suite que l'air est loin d'être transparent; c'est bien pis en astronautique quand on observe le cosmos. D'où l'idée de placer le télescope Hubble en orbite bien au-dessus de l'atmosphère. Encore aurait-il fallu qu'il ne soit pas affligé dès le départ d'un grave défaut de vision.

Pour les astronomes, le projet était simple: observer le cosmos depuis l'espace, au-dessus de l'atmosphère, pour éviter les turbulences qui déforment les images. Mais la réalité est plus complexe. Le télescope Hubble, lancé en 1990, souffrait d'un défaut de vision: il était presbyte sur les bords et myope au centre. Ce défaut, dû à une erreur de courbure du miroir principal, a été corrigé par un traitement informatique des images.



◀ Polis au centième de micromètre près, les 2,4 m de diamètre du miroir de *Hubble* offriront les images les plus précises jamais captées de l'Univers.

la Nasa peut enfin démarrer la construction. L'Agence spatiale européenne mettant la main à la poche en échange de 15 % du temps d'observation.

Trouver les fonds imposera néanmoins, chaque année,

un délicat numéro d'équilibre budgétaire. Car les technologies sont loin d'être prêtes. En particulier pour la caméra principale, qu'on décide d'équiper d'une innovation aussi prometteuse que balbutiante: des

capteurs CCD, qui marquent les débuts de la photographie numérique.

Retards et surcoûts s'accumulent pour un télescope qui, en 1983, est officiellement baptisé *Hubble*, en hommage au célèbre

astronome américain du début du XX^e siècle. Le devis dépasse le milliard de dollars, prix à payer pour disposer d'un miroir poli au centième de micromètre près, restituant des détails 10 fois plus fins et 50 fois



1993 LA PLUS GRANDE MISSION DE RÉPARATION EN ORBITE

La Nasa envoie des astronautes pour une opération de maintenance sur *Hubble*. Ce sera "la plus longue intervention extra-véhiculaire de l'histoire". Cinq sorties en tout, qui serviront à remplacer les panneaux solaires et, surtout, à "réparer l'optique défectueuse", car la correction informatique n'est pas suffisante. Dès lors, les photos du télescope seront bien plus nettes. *S&V* n° 915

→ moins lumineux que ceux observés par les meilleurs télescopes au sol. Du moins s'il parvient à gagner l'espace.

Car l'explosion, en janvier 1986, de la navette *Challenger* remet en question tout le programme de lancement américain. Faute de véhicule, *Hubble* attend. Fixé à la fin 1989, le départ est reporté en mars, puis en avril 1990. Et c'est enfin le 25 de ce mois que ses 11 tonnes sont mises en orbite.

La fête est de courte durée. Les panneaux solaires supportent mal les changements de température et vibrent, perturbant la visée, à chaque passage de l'ombre à la lumière. Pis. Les premières images, floues et déformées, sèment la consternation : le miroir principal, pièce maîtresse du satellite, est défectueux. *Hubble* est myope !

L'enquête révélera que l'entreprise chargée de polir le miroir, soumise à des contraintes budgétaires



△ Ultime mission de maintenance en 2009 : *Hubble* est doté d'une caméra à large champ pour observer les galaxies très lointaines.

intenable, a bricolé un peu trop vite le dispositif d'étalement de la machine qui vérifiait la courbure. Résultat : le miroir est trop plat sur les bords de quelques micromètres.

CASCADE DE DÉCOUVERTES

La plus grande mission de réparation jamais organisée dans l'espace est lancée en 1993 : les astronautes se relaieront durant cinq jours, six à huit heures par jour, pour corriger la myopie

du télescope, remplacer les panneaux solaires et divers autres appareils défectueux. Quatre autres missions de maintenance se succéderont en 1997, 1999, 2002 et 2009. Cette année-là, *Hubble* est équipé d'une nouvelle caméra à large champ WFC3, pour observer les galaxies très lointaines.

Le jeu en vaut la chandelle, tant la qualité des images permet d'accumuler les découvertes scientifiques. Les premières observations

précisent l'âge de l'Univers et sa vitesse d'expansion ; d'autres révèlent ensuite que celle-ci, loin de diminuer, augmenterait au contraire, comme si l'Univers contenait une gigantesque quantité d'énergie dont on ignore encore tout. *Hubble* confirme aussi qu'il existe des trous noirs supermassifs au cœur des galaxies. Et dévoile des pouponnières d'étoiles...

La mission de 2009 devrait lui permettre de fonctionner encore quelques années, en attendant son successeur, le télescope infrarouge *James Webb*, programmé pour observer, en 2018, les tout débuts de l'Univers. Mais si les grands télescopes terrestres, capables désormais de corriger les fluctuations atmosphériques, rivalisent aujourd'hui avec lui, les clichés époustouflants qu'il a produits, et les années de sueur et de larmes qu'il a fallu verser pour les obtenir, lui confèrent une place résolument à part dans le cœur des astronomes. **E.Monnier**

SCIENCE&VIE en parlait encore

1997 3000 GALAXIES DANS LE CHAS D'UNE AIGUILLE

C'est LA photo que tout le monde attendait. "Le champ photographié ne mesure que 2,7" x 2,7",

soit le diamètre du chas d'une aiguille tenue à bout de bras. Dans cette petite surface du ciel, *Hubble* a révélé près de 3000 galaxies." A la lumière de ce cliché, les astronomes vont repenser l'histoire de l'Univers. **S&V n° 961**



2010 JAMES WEBB : LE TÉLÉSCOPE QUI DOIT VOIR LE BIG BANG

Technologiquement dépassé, "Hubble et ses vingt bougies doivent céder la place à un héritier plus grand, plus puissant, plus précis". Baptisé *James Webb Space Telescope*, son successeur devrait être lancé en 2018. Il est "deux fois plus grand que Hubble, tout en restant deux fois plus léger". Plus tard, en 2025, pourrait même leur succéder "un télescope géant de... 16 m de diamètre". **S&V n° 1108**



à lire en intégralité dans **Les grandes archives** www.science-et-vie.com

TOUTES LES SCIENCES SONT SUR FRANCE CULTURE

DU LUNDI AU VENDREDI 14H-15H **CULTURE SCIENCES**

LUNDI / CONTINENT SCIENCES
STÉPHANE DELIGEORGES

comprendre les sciences à travers les femmes et les hommes qui les font

MARDI / RÉVOLUTIONS MÉDICALES
RENÉ FRYDMAN

Médecins de pointe et de terrain décryptent l'actualité de la recherche médicale

MERCREDI / PLANÈTE TERRE
SYLVAIN KAHN

l'émission géographique des enjeux globaux

JEUDI / LA MARCHÉ DES SCIENCES
AURÉLIE LUNEAU

Découvertes, inventions, aventures savantes au fil de l'histoire

VENDREDI / SCIENCE PUBLIQUE
MICHEL ALBERGANTI

Sciences et société en débat



en partenariat avec

SCIENCE & VIE

Écoute, réécoute, podcasts
franceculture.fr





Affligem®

BIÈRE D'INITIÉS DEPUIS 1074*

BRASSÉE EN BELGIQUE. AFFLIGEM BLONDE EXISTE AUSSI EN DOUBLE FERMENTATION**

AGENCE DUTRENE CORRIJAN SCARLETT H Entrepise PCS Nanterre 414842062

*Depuis 1000 ans, la recette de la bière Affligem est transmise par les moines de l'Abbaye à nos maîtres brasseurs, gage de sa haute qualité. **Disponible uniquement en CHR.

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