



CLIMAT :
l'heure
de vérité

Le biologiste
Éric Karsenti
médaille d'or
2015 du CNRS

La relativité
générale,
cent ans après
Einstein

Reportage
dans les coulisses
du musée
de l'Homme

Direction de l'innovation et des relations avec les entreprises

cnrs formation entreprises

Axes de formation 2016

Statistiques, bioinformatique et big data
Génie logiciel, modélisation, robotique
SIG, géographie, archéologie
Énergie, environnement
Électronique, optique, métrologie
Matériaux et molécules : mise en œuvre
Matériaux et molécules : caractérisation
Microscopie
Chromatographie, spectroscopie
Spectrométrie de masse
Résonance magnétique nucléaire
Biologie
Expérimentation animale
Qualité, sécurité

L'expertise à portée de main

180 formations pour tous les professionnels des secteurs privé et public



- Des stages de 3 à 5 jours
- Une pédagogie basée sur l'expérimentation
- Des formations sur les plateformes de recherche du CNRS par les chercheurs et ingénieurs des meilleurs laboratoires
- Plus de 1 100 professionnels formés chaque année



Découvrez nos stages 2016 sur cnrsformation.cnrs.fr

Contact : cfe.contact@cnrs.fr - 01 69 82 44 55

Suivez-nous sur Twitter  @CNRS_CFE



Accédez aux formations

En 2016, le CNRS recrute des chercheuses et chercheurs dans tous les domaines scientifiques



Les personnes en situation de handicap peuvent également être recrutées par voie contractuelle.

Sciences biologiques, chimie, sciences de l'environnement et écologie, sciences de l'information, sciences de l'ingénierie et des systèmes, mathématiques, physique, physique nucléaire et des hautes énergies, sciences de la planète et de l'Univers.



Inscription en ligne sur emploi.cnrs.fr
du 1^{er} décembre 2015 au 6 janvier 2016



Rédaction :

3, rue Michel-Ange – 75794 Paris Cedex 16

Téléphone : 01 44 96 53 88**E-mail :** journal-du-cnrs@cnrs-dir.fr**Le site Internet :** <https://lejournalejournal.cnrs.fr>**Anciens numéros :**<https://lejournalejournal.cnrs.fr/numeros-papiers>**Gérer son abonnement au journal****(pour les agents du CNRS) :**<https://lejournalejournal.cnrs.fr/abojournal>**Directeur de la publication :**

Alain Fuchs

Directrice de la rédaction :

Brigitte Perucca

Directeur adjoint de la rédaction :

Fabrice Impériali

Rédacteur en chef :

Matthieu Ravaud

Chef de rubrique :

Charline Zeitoun

Rédacteurs :

Anne-Sophie Boutaud, Laure Caillou,

Claire Debôves, Yaroslav Pigenet

Assistante de la rédaction

et fabrication :

Laurence Winter

Ont participé à ce numéro :

Lydia Ben Ytzhak, Julien Bourdet,

Jean-Philippe Braly, Simon Castéran,

Marie Chadefaux, Audrey Diguët,

Grégory Fléchet, Mathieu Grousson,

Sylvain Guilbaud, Denis Guthleben,

Louise Lis, Louise Mussat

Secrétaire de rédaction :

Isabelle Grandrieux

Conception graphique :

Céline Hein

Iconographes :

Anne-Emmanuelle Héry,

Marie Mabrouk

Impression :

Groupe Morault, Imprimerie de Compiègne

– 2, avenue Berthelot – Zac de Mercières

– BP 60524 – 60205 Compiègne Cedex

ISSN 0994-7647 AIP 0001583

Dépôt légal : à parution



Photos CNRS disponibles à :
phototheque@cnrs-bellevue.fr ;
<http://phototheque.cnrs.fr>

La reproduction intégrale ou partielle
des textes et des illustrations
doit faire obligatoirement l'objet d'une
demande auprès de la rédaction.



En couverture :

le biologiste Éric Karsenti,
médaille d'or 2015 du CNRS.

PHOTO : F. PLAS/IBENS/CNRS PHOTOTHÈQUE

La COP21, qui se tiendra à Paris dans quelques jours, est l'occasion pour les scientifiques qui conduisent des recherches sur le changement climatique et ses impacts sur la biosphère, de faire entendre leur voix. Depuis dix-huit mois, le CNRS se mobilise et met sur le devant de la scène ses chercheurs qui, dans tous les champs disciplinaires, étudient la complexité des enjeux sociaux, sanitaires, économiques et environnementaux, liée à l'évolution nécessaire des modes de vie pour réduire les émissions de gaz à effet de serre et s'adapter aux changements. Leur quotidien ? Observer et comprendre climat et environnement, les éléments qui les structurent et leurs interactions, décrire et modéliser les écosystèmes, étudier l'évolution des sociétés et des activités humaines en interaction avec les changements climatiques et globaux.

Unissant leurs connaissances au sein du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (Giec), les chercheurs ont mis en évidence le rôle des activités humaines dans l'augmentation de la température moyenne

à la surface de la Terre. L'accroissement des émissions de gaz à effet de serre a un impact direct sur le réchauffement de l'atmosphère. Ce dernier a des conséquences directement observables dans certaines régions avec la fonte des glaces au niveau des pôles ou des glaciers de montagne et un impact fort sur la stabilité des écosystèmes et les conditions de vie des populations. Par ailleurs, la montée progressive du niveau de la mer engendre des phénomènes d'érosion littorale et des migrations de population. Des phénomènes météorologiques extrêmes, tels les cyclones ou les fortes précipitations, deviennent plus intenses et frappent de nouvelles régions du monde. Certaines

espèces végétales ou animales pâtissent des changements climatiques, développent des résistances ou colonisent parfois de nouveaux territoires.

Les scientifiques du CNRS ne restent pas impuissants face à de tels constats. Ils proposent des technologies et des innovations qui favorisent l'efficacité et la sobriété énergétiques, une architecture adaptée et un urbanisme plus durable, et ils imaginent des systèmes productifs alternatifs. Ils développent par ailleurs des outils de prévention et des dispositifs d'adaptation aux événements extrêmes et restaurent les fonctionnalités écologiques des milieux naturels (filtration, stockage du carbone...). Enfin, ils informent et sensibilisent les populations et les acteurs du territoire sur leurs observations et les solutions qu'ils proposent pour faire face aux changements climatiques. Seront-ils entendus ?

“COP21 : les scientifiques sont sur le devant de la scène.”

Pascale Delecluse,
directrice de l'Institut national des sciences de l'Univers (Insu)

Stéphanie Thiébaud,
directrice de l'Institut écologie et environnement (Inee)



© CNRS/DÉLÉGATION PMA



GRAND FORMAT

13

Climat : l'heure de vérité	14
La lumière exposée	26
La relativité générale cent ans après	32



Hélène Courtois
Et au milieu
coulent les galaxies...

9

EN PERSONNE 5

Éric Karsenti, le biologiste et la mer	6
John Dudley, la fibre lumineuse	10
Nicolas Castoldi, nommé délégué général à la valorisation	11
Valérie Masson-Delmotte devient coprésidente au Giec	12
Serge Gruzinski, un historien au sommet	12



Dans les coulisses
du musée de l'Homme

40

EN ACTION 39

Un cryptage révolutionnaire pour sécuriser le cloud	43
La Méditerranée scrutée par les scientifiques	44
L'incroyable mécanique des fluides humains	46
Un Français sur dix souffre de troubles de l'odorat	47
Comment ils ont vécu l'aventure de l'ERC	48
Du lycée au bureau, que deviennent nos réseaux ?	50
Un logiciel pour décrypter la politique	51
STS Forum, le « Davos de la science »	52
Quatre cents gènes dévoilent leur fonction	54



Les promesses
de l'immunologie

60

LES IDÉES 55

La croissance, une affaire d'énergie	56
Peut-on tester les univers parallèles ?	59
« Attention aux solitudes interactives »	62

CARNET DE BORD

Roberto Vargiolu nous raconte un souvenir de recherche 64

LA CHRONIQUE DE DENIS GUTHLEBEN

Astérix à la conquête de l'espace 66

EN PERSONNE



*Où l'on croise un biologiste
médaillé d'or, une physicienne
exploratrice de la Voie lactée,
et un expert de la lumière.*

ILLUSTRATION : DAN PAGE/RAPPART.COM

VIVANT

Le 14 décembre, Éric Karsenti se verra remettre la médaille d'or 2015 du CNRS, plus haute récompense scientifique française. Portrait de ce biologiste, à l'initiative de l'expédition Tara Oceans, récompensé pour ses travaux sur la division cellulaire.

Éric Karsenti, le biologiste et la mer

PAR LOUISE MUSSAT

À bord du Beagle, Charles Darwin avait étudié les espèces terrestres et marines et commencé à imaginer la théorie de l'évolution. À bord du voilier Tara, Éric Karsenti et ses équipes ont mené une étude d'ampleur inédite sur le plancton. Entre 2009 et 2013, au cours d'un périple de 140 000 kilomètres, l'expédition Tara Oceans a collecté 35 000 échantillons. Seuls 20 à 30 % d'entre eux ont à ce jour été exploités, mais leur analyse bouleverse déjà l'état de nos connaissances sur cette population d'organismes dérivants (virus, bactéries, protozoaires...) qui contribue à la séquestration de la moitié du CO₂ de la planète et qui est à la base de la chaîne alimentaire marine. « *C'est la lecture, vers 1995, du voyage extraordinaire du Beagle qui m'a donné envie de monter une expédition à travers les mers du globe* », raconte aujourd'hui le directeur de recherche émérite au CNRS, qui a le look (boucles et barbe argent sur visage doré) de son profil : un biologiste navigateur, accro à la mer depuis son enfance passée à Cayeux-sur-Mer, dans la Somme. Plusieurs responsables scientifiques se relaieront à bord de Tara pour superviser la collecte et l'étude des échantillons. Aguerri aux colères de la mer, Éric Karsenti prend en charge les traversées les plus sportives...

Si excitant soit-il, l'épisode Tara n'est qu'une éclatante parenthèse dans la brillante carrière de ce chercheur,

lauréat 2015 de la médaille d'or du CNRS. Une carrière passée à comprendre les mécanismes qui régulent le cycle de la division cellulaire. Au sein de ce cycle, la mitose est à la base du vivant : toutes les cellules d'un organisme doivent se diviser, intensément, durant la croissance, mais aussi à l'âge adulte pour le renouvellement des tissus.

Une carrière démarrée sur les chapeaux de roue

Après une thèse de doctorat menée à l'Institut Pasteur dans le laboratoire du docteur Stratis Avrameas (en parallèle de laquelle il dispense des cours de voile en Bretagne pendant trois à quatre mois par an), Éric Karsenti est détaché à l'université de Californie, à San Francisco, dans l'équipe de Marc Kirschner, de 1981 à 1984. « À l'époque, on ne connaissait pas grand-chose sur les facteurs qui, telles des horloges, règlent le cycle cellulaire (d'une division à l'autre) et déclenchent la mitose, explique le scientifique. Nous savions que les microtubules, ces petits tubes protéiques qui forment le squelette de la cellule, ont la faculté de s'organiser juste avant la division cellulaire en une structure appelée fuseau mitotique. En tirant sur les chromosomes, au préalable dupliqués, les microtubules du fuseau séparent les deux jeux de chromosomes homologues et les positionnent aux deux pôles du fuseau, permettant ainsi la formation de deux cellules filles. La communauté pensait alors qu'une structure cellulaire particulière que l'on retrouve aux pôles du fuseau, le centriole, induisait l'assemblage des microtubules et la bipolarité du fuseau en mitose. Avec Marc Kirschner, nous avons utilisé les centrioles isolés en tube à essai par Tim Mitchison et avons découvert que, même sans leur concours, ledit assemblage avait lieu. Nous en avons déduit que ce dernier était provoqué non par les centrioles, mais par les chromosomes eux-mêmes. C'était une telle surprise qu'au début personne ne nous a crus ! »

Ce scepticisme a quand même duré un certain temps... « Comme toujours en science, et c'est normal, il a fallu travailler dur pour accumuler les évidences expérimentales confirmant cette première observation. »

“C'est la lecture du voyage extraordinaire du Beagle qui m'a donné envie de monter une expédition.”

« Comme toujours en science, et c'est normal, il a fallu travailler dur pour accumuler les évidences expérimentales confirmant cette première observation. »



© J. GIRARDOT/TARAEXPEDITIONS.ORG

De 2009 à 2013, Éric Karsenti a sillonné les mers du globe à bord de Tara pour mesurer les effets du réchauffement climatique sur le plancton.



© F. PLAS/BIENSIGNIS PHOTOTHÈQUE

Fort de cette première découverte alors qu'il n'est que post-doctorant, Éric Karsenti s'envole pour Heidelberg, en Allemagne, au Département de biologie cellulaire de l'European Molecular Biology Laboratory (EMBL). Nous sommes en 1984 et une autre question le taraude : quel est le facteur qui enclenche la condensation des chromosomes, étape indispensable à la mitose ? C'est que, en dehors de cette phase fugace qu'est la division cellulaire, l'ADN ne se trouve pas sous la forme des chromosomes que l'on représente souvent comme des bâtonnets ou des X. La plupart du temps, les brins d'ADN sont déroulés et forment une masse au sein du noyau. Pour vous faire une idée du capharnaüm, imaginez des milliers de bobines de fil totalement déroulées sur un immense tapis. Imaginez maintenant que vous vouliez partager tous ces fils en deux quantités strictement égales : il vous faudra d'abord enrouler toutes les bobines.

Au cœur de la cellule, c'est la même chose : avant d'être partagé en deux lots, l'ADN des chromosomes doit être rembobiné. Mais quelle protéine tient le rôle de chef d'orchestre de ce fastidieux rangement ?

Des recherches au cœur de la cellule

À l'époque, Paul Nurse vient de comprendre qu'il s'agit en fait d'un couple de protéines : la kinase cdc2 (enzyme activant d'autres protéines en leur ajoutant du phosphate) et une cycline qui active cette dernière. Une fois activée, la kinase active à son tour d'autres protéines, responsables de la condensation de l'ADN au sein des chromosomes et de l'assemblage du fuseau. Pour cette découverte, Paul Nurse obtiendra le prix Nobel en 2001. « *Au même moment, Marcel Dorée avait commencé à purifier la kinase à partir d'œufs de xénope à l'EMBL dans mon ...*

“Du chaos
microscopique
émerge une structure
ordonnée, quasi
macroscopique,
c’est fascinant !”

... laboratoire, travail qu’il termina avec un étudiant à Montpellier. Selon moi, il aurait dû être associé à ce prix Nobel », remarque le biologiste.

Avec lui, à Heidelberg, Éric Karsenti poursuit le travail de Paul Nurse et précise comment la kinase entre en action. Les deux chercheurs démontrent qu’elle reste inhibée jusqu’à ce que la concentration de cycline atteigne un certain seuil, mais aussi qu’elle se désactive elle-même après dix minutes. « Avec cette kinase qui s’auto-inhibe, j’ai commencé à réfléchir aux phénomènes d’auto-organisation en biologie, raconte le chercheur. En travaillant sur le fuseau mitotique pendant la même période, j’ai compris avec mes étudiants qu’un phénomène de ce type se mettait en place : à un moment du cycle cellulaire, des sortes de moteurs liés aux microtubules adoptent un comportement collectif et organisent ces petites briques en fuseau. Du chaos microscopique émerge une structure ordonnée, quasi macroscopique, c’est fascinant ! »

Peu après, au milieu des années 1990, Éric Karsenti fait évoluer le Département de biologie cellulaire (« un peu trop xx^e siècle »), dont il prend la direction à la suite de Kai Simons. Lui qui avait initialement l’intention de ne rester que trois ans en Allemagne y passera finalement un quart de siècle. « Ma femme est repartie en France au bout de dix ans. La vie de famille à distance n’était pas facile, mais on a tenu bon : j’ai fait beaucoup d’allers-retours, et elle a été très compréhensive ! » C’est que le challenge à relever à Heidelberg est enthousiasmant : le chercheur y encourage la transdisciplinarité en le renommant Département de biologie cellulaire et de biophysique. « Si l’on veut vraiment saisir un phénomène comme l’auto-organisation dans la cellule, il nous faut travailler avec des physiciens et des statisticiens, pour le quantifier, ou encore avec des spécialistes de l’imagerie, pour mieux l’observer. Il est essentiel de croiser les compétences ! », insiste Éric Karsenti.

Des découvertes majeures sur le plancton

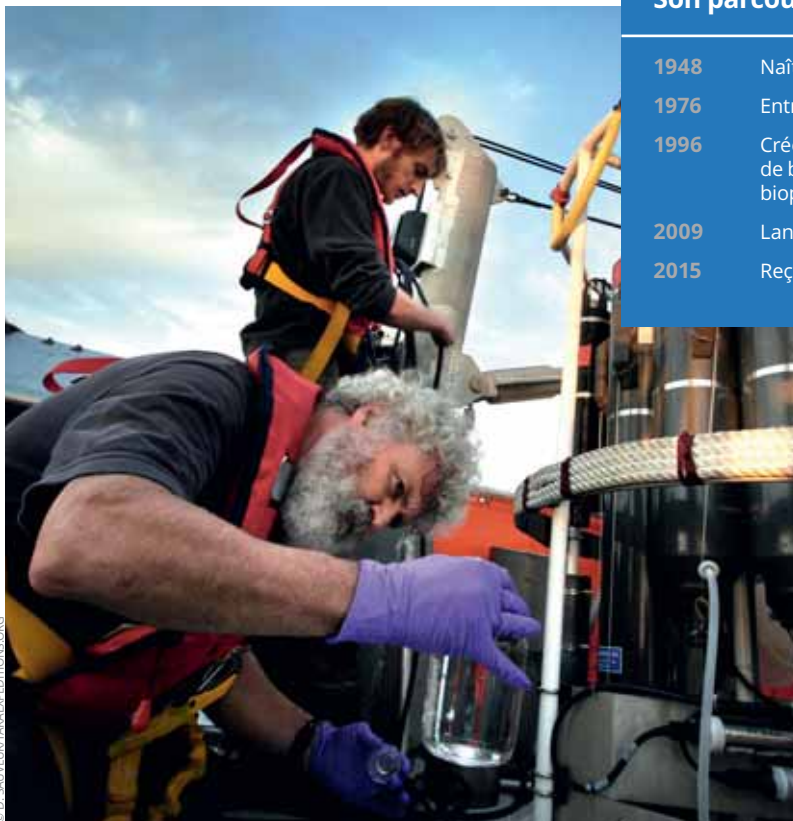
Sur l’océan, même consigne : à bord de Tara, les biologistes croisaient des ingénieurs, des informaticiens, des océanographes, des experts en imagerie quantitative. « C’est la force de l’expédition », souligne le biologiste. Ce qui a permis à ses acteurs de faire des découvertes majeures sur le plancton : grâce aux échantillons récoltés avec Tara, les chercheurs sont déjà parvenus à caractériser l’ensemble de la diversité des virus, des bactéries et des petits eucaryotes des premières stations analysées. Parmi ces derniers,

ils ont comptabilisé 150 000 genres différents, alors que seuls 10 000 étaient connus. Contrairement à ce que l’on pensait, leur population est beaucoup plus diverse que celle des bactéries. Un groupe de l’EMBL a également caractérisé 40 millions de gènes bactériens. Il s’agit du recensement le plus exhaustif établi à ce jour.

« Nous avons aussi découvert qu’un tourbillon énorme de 400 kilomètres de diamètre et de 4 000 mètres de profondeur – les anneaux d’Agulhas –, qui traverse l’Atlantique d’est en ouest en emprisonnant des organismes, forme au fil du temps un nouvel écosystème, qui évolue indépendamment de l’environnement extérieur, ajoute le chercheur. Encore un phénomène d’auto-organisation où de petites entités adoptent un comportement collectif et forment ainsi une structure de plus grande échelle. » Et encore un épisode au cours duquel le biologiste navigateur a uni sa passion pour le vivant à celle de l’océan. ▀

Son parcours en 5 dates

- 1948 Naît à Paris le 10 septembre
- 1976 Entre au CNRS
- 1996 Crée le Département de biologie cellulaire et de biophysique de l’EMBL
- 2009 Lance le projet Tara Oceans
- 2015 Reçoit la médaille d’or du CNRS



▀ Éric Karsenti recueille des échantillons d’eau prélevés avec la rosette CTD. Celle-ci est entourée d’un châssis qui peut transporter jusqu’à 32 bouteilles.

Hélène Courtois

Et au milieu coulent les galaxies...

Astrophysique. En dressant les contours du superamas de galaxies qui abrite notre Voie lactée, Hélène Courtois faisait il y a un an une découverte majeure. Elle vient d'être nommée membre senior de l'Institut universitaire de France.

PAR GRÉGORY FLÉCHET

Le 4 septembre 2014, Laniakea faisait la une de la prestigieuse revue *Nature*¹. Ce nom d'origine hawaïenne signifiant « horizons célestes immenses » désigne désormais le supercontinent extragalactique dans lequel nous vivons. « D'une largeur de 500 millions d'années-lumière, ce superamas qui rassemble plus d'un million de galaxies s'apparente à un gigantesque réseau hydrographique où les plus grandes galaxies attirent les plus petites sous l'effet de la gravitation, un peu comme des bassins versants », résume Hélène Courtois. Astrophysicienne à l'Institut de physique nucléaire de Lyon², elle dirige l'équipe Cosmic Flows à l'origine de cette découverte retentissante. Cet été, elle démontrait aussi l'existence d'une « super-autoroute cosmique »³ permettant aux petites galaxies d'être propulsées en orbite autour de galaxies plus massives comme la Voie lactée. Tandis que la simulation numérique de la naissance de Laniakea réalisée par son équipe sera publiée dans quelques jours.

Ses années passées à cartographier la voûte céleste pour en révéler ses frontières et son architecture lui valent aujourd'hui la reconnaissance de ses pairs : en avril dernier, elle est ainsi devenue la sixième astrophysicienne membre senior de l'Institut universitaire

de France depuis sa création, en 1991. Il y a vingt ans, elle soutenait une thèse sur le Grand Attracteur, une anomalie gravitationnelle localisée dans le superamas Laniakea : « Cette structure que personne n'avait jamais pu observer avait été nommée ainsi car de nombreuses galaxies semblaient attirées vers cette zone de l'Univers qu'on imaginait comme une énorme masse sphérique et obscure. »

8 000 galaxies répertoriées

À l'époque, la doctorante ne parvient pas à trouver de meilleure explication. Mais la jeune astrophysicienne est du genre pugnace. « La quête de connaissances a toujours été une obsession pour moi. » Devenue enseignante-chercheuse en cosmologie, elle décide en 2006 de renouveler cette question de recherche. Elle met alors sur pied une équipe d'une dizaine d'astronomes. Répartis aux quatre coins de la planète dans les observatoires les plus performants jamais construits, ils traquent sans relâche les galaxies. Six ans plus tard, ils ont réussi à mesurer la vitesse de 8 000 d'entre elles. Un patient travail de modélisation de ces données permettra ensuite à Hélène Courtois et à son équipe d'établir une carte des flux des galaxies dans la région du Grand Attracteur. Et de faire voler en

éclats l'image d'amas sphérique très dense que s'en faisaient les astrophysiciens : « Nous avons démontré qu'il s'apparente davantage au vallon central d'un continent céleste vers lequel s'écoulent cinq rivières de matière. »

Une passion communicative

Ce saut conceptuel a un peu chamboulé la vie de la chercheuse. « Je reçois désormais tellement d'e-mails qu'il m'est impossible de répondre à tous », avoue-t-elle. Mais de séminaires en conférences, elle a, une année durant, raconté avec passion l'épopée scientifique qui l'a conduit à la découverte de Laniakea. « Cela fait partie des missions des chercheurs de diffuser leurs résultats », estime-t-elle. Elle y parvient si bien qu'en juin dernier elle remportait le prix 2015 du Festival du film de chercheur⁴ pour son court-métrage présentant le travail quotidien de l'équipe pour obtenir ses résultats. Désormais, une bonne partie de son temps est consacrée à enrichir le catalogue de galaxies du projet Cosmic Flows. « Pour démontrer que le concept des bassins versants de matière s'applique à d'autres superamas de galaxies, il nous faut pousser l'exploration jusqu'à un milliard d'années-lumière de la Terre. » Une quête vertigineuse loin d'effrayer l'astrophysicienne. ||

1. « The Laniakea Supercluster of Galaxies », R. B. Tully et al., *Nature*, 4 septembre 2014, vol. 513 : 71-73. 2. Unité CNRS/UCBL. 3. « Planes of Satellite Galaxies and the Cosmic Web », N. I. Libeskind et al., *MNRAS*, 1^{er} septembre 2015, vol. 452 (1) : 1052-1059. 4. Organisé par le CNRS et l'université de Lorraine.

John Dudley, la fibre lumineuse

MATIÈRE

Photonique. Du scanner du supermarché à l'écran de nos smartphones, les technologies photoniques sont partout. Explications avec John Dudley¹, physicien à l'initiative de l'Année internationale 2015 de la lumière.

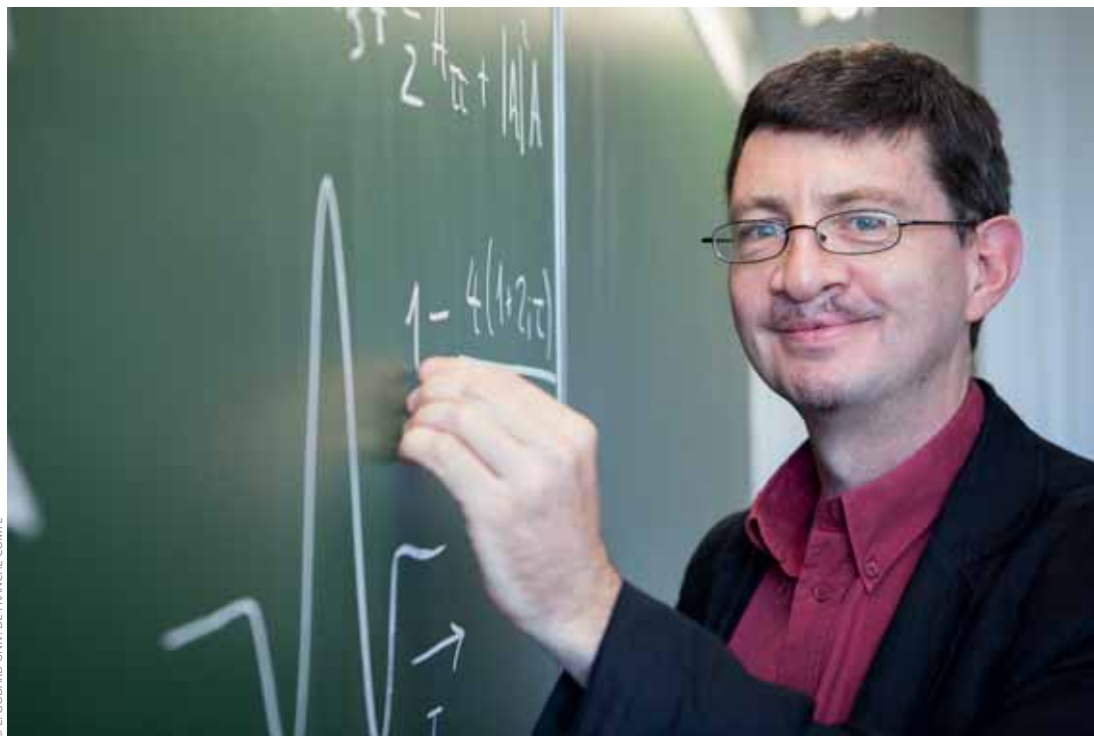
PROPOS RECUEILLIS PAR LAURE CAILLOCE

Pourquoi une Année internationale de la lumière ?

John Dudley : Parce que les années internationales décrétées par les Nations unies sont une formidable chambre d'écho. Mon raisonnement, quand j'ai eu cette idée en 2009, a été le suivant : on ne parle jamais assez de science, or la lumière est multidisciplinaire et permet de parler de domaines différents de la science. Surtout, les exemples tirés de l'optique sont très visuels et peuvent facilement accrocher les non-spécialistes, et même faire l'objet d'installations artistiques. Entre l'idée et sa réalisation, il a fallu faire énormément de démarches dans de multiples commissions nationales et internationales... Ce n'est qu'en 2013 que l'assemblée générale des Nations unies a donné son accord à cette année de la lumière et que je suis devenu le président du comité international qui s'en occupe.

Vous dites que la lumière est partout, pouvez-vous nous donner des exemples ?

J. D. : Les techniques photoniques se retrouvent aussi bien en recherche



© L. GODARD-UNIV. DE FRANCHE-COMTÉ

fondamentale que dans les objets de notre vie quotidienne. L'écran plat de nos smartphones et ordinateurs utilise des diodes électroluminescentes (LED) bleues développées dans les années 1990 pour remplacer les bons vieux tubes cathodiques. L'information que nous envoyons sur le Net voyage sous forme de signal lumineux dans les réseaux de fibres optiques. Autre technologie photonique, le laser, inventé dans les années 1960, se retrouve aussi bien dans les scanners utilisés aux caisses des supermarchés que dans les usines automobiles où il sert à découper avec précision les pièces métalliques. En santé, on l'utilise pour corriger les problèmes de vue, mais aussi dans le traitement du cancer, en complément de la chimiothérapie : c'est la thérapie photodynamique.

Quel est le principe de cette thérapie ?

J. D. : Le patient doit absorber au préalable une molécule photosensibilisante. Celle-ci pénètre dans toutes les cellules du corps, y compris les cancéreuses, mais ces dernières l'éliminent moins vite que les cellules saines et peuvent donc être détruites par laser sans risque de dommages collatéraux.

Vous êtes vous-même chercheur en photonique. Sur quoi travaillez-vous aujourd'hui ?

J. D. : J'étudie la propagation de la lumière dans les fibres optiques. Je regarde notamment comment amplifier la lumière dans une fibre optique en créant des « vagues » similaires aux vagues scélérates qui se créent sur l'océan. Les vagues scélérates sont ces vagues géantes qui se forment au

1. John Dudley est chercheur à l'institut Femto-ST et professeur à l'université de Franche-Comté. Il est président du comité international de l'Année de la lumière et vice-président du comité français. 2. et 3. Unité CNRS/UCBL. 4. Unité CNRS/UCBL/ENS de Lyon.

milieu d'une mer calme, en l'absence de tempête, et sont capables de faire chavirer des bateaux si ceux-ci ont le malheur de se trouver sur leur route... Sur la mer, comme dans les fibres optiques, il existe un phénomène qui s'appelle l'instabilité non linéaire : une petite vague se forme de manière spontanée et s'autoamplifie. Grâce à ces travaux en optique pure, et sans que nous l'ayons programmé, nous en savons plus aujourd'hui sur la formation de ces vagues scélérates, la longueur d'onde et la profondeur d'océan nécessaires pour qu'elles se forment. C'est la magie de l'optique qui nous conduit sur des terrains parfois étonnants ! Ainsi, nous avons également créé un système optique qui simule les processus des trous noirs et piège la lumière. À quoi cela va-t-il servir, on ne le sait pas encore, mais cela peut avoir un impact sur les études en astrophysique et sur la compréhension de ce phénomène. ■

Le CNRS à la Fête des lumières

Du 5 au 8 décembre, les 324 bandes lumineuses de *Platonium* vont illuminer la cour de l'hôtel de ville de Lyon. Cette œuvre imaginée par les artistes Éric Michel et Akari-Lisa Ishii est le résultat d'une technologie consistant à tisser ensemble fibres optiques et fibres synthétiques. Ces bandes créées par l'entreprise lyonnaise Brochier Technologies, spécialiste de la soie, sont aussi étudiées par une équipe de l'Institut de recherches sur la catalyse et l'environnement de Lyon² pour dépolluer l'environnement. D'autres éléments de l'œuvre évoquent les recherches de l'Institut Lumière Matière³ et de l'Observatoire de Lyon⁴. Conçu dans le cadre de l'Année internationale de la lumière, *Platonium* a été produit par le CNRS, avec le soutien de l'université de Lyon et de l'université Claude-Bernard Lyon-I.

» www.lumiere2015.fr
» www.cnrs.fr/platonium



© E. MOREL/DELEGATION PMA

Nicolas Castoldi, nommé délégué général à la valorisation

Jusqu'ici directeur des affaires juridiques, Nicolas Castoldi a été nommé délégué général à la valorisation du CNRS et conseiller juridique du président Alain Fuchs. À ce titre, il devient membre du directoire de l'organisme. Cette fonction nouvelle, créée afin de renforcer le pilotage de l'ensemble des activités du CNRS en matière de valorisation et de transfert, recouvre trois missions principales : l'accélération et la

simplification des processus de valorisation, l'affirmation d'une relation partenariale fluide et structurée dans ce domaine et une maîtrise renforcée des coûts financiers associés à cette mission. Myriam Fadel, ingénieure de recherche, est nommée aux fonctions de directrice des affaires juridiques, en remplacement de Nicolas Castoldi.

TÉLEX _ TÉLEX _ TÉLEX _ TÉLEX _ TÉLEX _ TÉLEX _ TÉLEX _ TÉLEX _ TÉLEX _ TÉLEX _

Président du comité des très grandes infrastructures de recherche, Gabriel Chardin a été nommé chargé de mission pour le spatial auprès du directeur général délégué à la science du CNRS.

La biologiste Margaret Buckingham, médaille d'or du CNRS en 2013, fait partie des trois nouveaux membres du conseil scientifique de l'ERC. Composé de 22 membres, celui-ci est chargé de définir la stratégie de l'ERC.

Deux chercheurs liés au CNRS ont été récompensés par Inria en octobre : Véronique Cortier, du Laboratoire lorrain de recherche en informatique et ses applications (Loria), a obtenu le prix Inria-Académie des sciences du jeune chercheur, tandis que Benoît Perthame, directeur du laboratoire Jacques-Louis-Lions, a reçu le grand prix Inria-Académie des sciences.

Patrick Mounaud a été nommé délégué régional de Paris-Villejuif. Cette nouvelle délégation, créée en juillet 2015, est issue de la fusion des délégations Paris A et Île-de-France Est.

Didier Houssin, président d'IFP Énergies nouvelles, a été désigné comme nouveau président de l'Alliance nationale de coordination de la recherche pour l'énergie (Ancre).

Ivan Balansard, vétérinaire au CNRS, chargé de mission au Bureau de l'expérimentation animale de l'Institut des sciences biologiques du CNRS a été élu président du Groupe interprofessionnel de réflexion et de communication sur la recherche (Gircor). Il succède à François Lachapelle.

Nomination

Valérie Masson-Delmotte devient coprésidente au Giec

Début octobre, la réunion plénière du Giec a élu les membres du comité exécutif de son nouveau bureau, dont la présidence est confiée au chercheur coréen Hoesung Lee. La climatologue française Valérie Masson-Delmotte accède au poste de coprésidente du groupe 1 du Giec. Elle aura la responsabilité, aux côtés de son homologue chinois, Panmao Zhai, de coordonner les travaux de plusieurs centaines de scientifiques sur la synthèse des observations, l'analyse des causes et des mécanismes des changements climatiques, et les projections d'évolution future du climat. Valérie Masson-Delmotte est chercheuse au Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement (LSCE)¹.



© D. ALLARD/REA



© J. FOLEY/DAL/LEEMAGE

Serge Gruzinski, un historien au sommet

Fin août, Serge Gruzinski est devenu le premier lauréat du Prix international de l'histoire, lors du 22^e Congrès international des sciences historiques qui se tenait à Jinan, en Chine. Directeur de recherche émérite au CNRS et directeur d'études à l'EHESS, membre du laboratoire Mondes américains² qu'il a longtemps dirigé, Serge Gruzinski est un spécialiste de l'Amérique latine au XVI^e, XVII^e et XVIII^e siècle.

Pionnier dans la réflexion sur l'histoire globale, il a

notamment travaillé sur les notions de « métissage » et de « circulations » des cultures à travers les frontières. Auteur de nombreux livres dont *L'Histoire, pour quoi faire ?*, paru en 2015 chez Fayard, il a également été commissaire de l'exposition « Planète métisse » qui s'est tenue au musée du quai Branly en 2008-2009. Le 9 novembre, Serge Gruzinski s'est vu remettre, au siège du CNRS, la montre qui accompagne ce prix CISH-Jaeger-LeCoultre.

Des femmes de science à l'honneur

La Fondation L'Oréal a remis une bourse à 20 jeunes femmes scientifiques afin de soutenir leurs travaux de recherche. Cette année, 17 d'entre elles travaillent ou poursuivent leur thèse dans des unités CNRS ou associées.



© S. CARDINAL/FONDATION L'OREAL

1. Unité CNRS/CEA/UVSQ. 2. Unité CNRS/EHESS/Univ. Paris Ouest Nanterre La Défense/Univ. Paris-I Panthéon Sorbonne.

En bref

LES PRIX BETTENCOURT SCHUELLER DÉVOILÉS

La Fondation Bettencourt Schueller a dévoilé le palmarès 2015 de ses prix qui récompensent la recherche biomédicale. Sur 20 lauréats, 17 ont effectué leurs travaux au sein de laboratoires liés au CNRS. Parmi eux, Thomas Lecuit, directeur de recherche au CNRS, se voit attribuer le prix Liliane Bettencourt pour les sciences du vivant. La cérémonie se tiendra les 4 et 5 février 2016.

>> www.fondationbs.org

LE BELGE ADRIEN DELIÈGE GRAND GAGNANT DE MT180

La Sorbonne a accueilli le 1^{er} octobre la grande finale internationale du concours « Ma thèse en 180 secondes », dont le CNRS est partenaire. Adrien Delière, doctorant en mathématiques à l'université de Liège, a reçu le 1^{er} prix du jury. Alexandre Artaud, doctorant en physique et gagnant de la finale française, a reçu le 2^e prix du jury ainsi que le prix du public. Abdelkader Meni Mahzoum, étudiant en biologie à l'université Sidi Mohamed Ben Abdellah de Fès, a décroché, lui, le 3^e prix du jury.



© D. PELLUCI/CNRS

BRUNO DAVID DEVIENT PRÉSIDENT DU MNHN

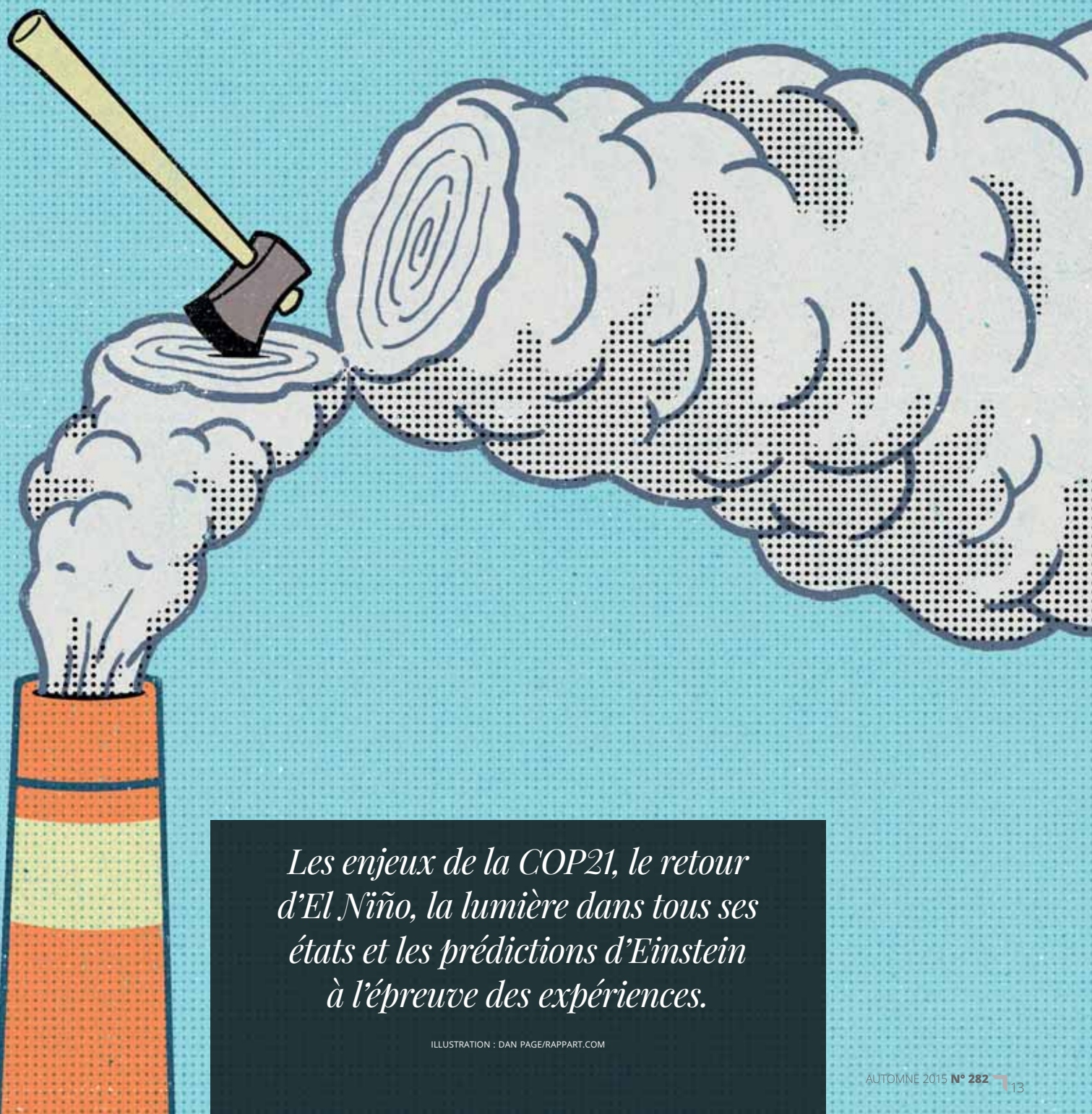
Directeur de recherche au CNRS, Bruno David a été nommé le 1^{er} septembre président du Muséum national d'Histoire naturelle (MNHN), dont il présidait déjà le conseil scientifique depuis six ans. Spécialiste de biologie marine, il prend la direction de l'établissement à un moment charnière de son histoire, l'ensemble



© S. PICAS/MNHN

de ses sites étant à nouveau ouvert au public : le zoo de Vincennes depuis 2014 et le musée de l'Homme depuis octobre 2015 (*lire aussi p. 40*).

GRAND FORMAT



*Les enjeux de la COP21, le retour
d'El Niño, la lumière dans tous ses
états et les prédictions d'Einstein
à l'épreuve des expériences.*

ILLUSTRATION : DAN PAGE/RAPPART.COM



Climat : l'heure de vérité



TERRE

La 21^e Conférence de l'ONU pour lutter contre le changement climatique (COP21) débute à Paris le 30 novembre. Objectif : aboutir à un accord universel et contraignant permettant de lutter contre le réchauffement climatique et accélérer la transition vers des sociétés sobres en carbone. *CNRS Le journal* fait le point sur les enjeux de cet événement sans précédent.

UNE ENQUÊTE RÉALISÉE PAR MATHIEU GROUSSON, LAURE CAILLOCE ET GRÉGORI FLÉCHET



D

u 30 novembre au 11 décembre prochains, le monde a rendez-vous avec l'avenir de la Terre à Paris. La France accueille la 21^e Conférence de l'ONU pour lutter contre le changement climatique ou COP21. Avec un objectif inédit : conclure le premier accord universel et contraignant applicable à partir de 2020 aux 195 pays membres de la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques (CCNUCC). « *Notre responsabilité est historique, car nous sommes la première génération à prendre conscience du problème et la dernière à pouvoir agir* », a résumé Laurent Fabius, ministre des Affaires étrangères et du Développement international et président de la conférence, sur le site Internet de l'événement. De fait, l'urgence est simplement totale.

Depuis le début de l'ère industrielle, la température moyenne de la Terre a augmenté de près de 1 °C. Et, si rien n'est fait, le climat de notre planète pourrait totalement déraiper d'ici à la fin du siècle, avec des conséquences environnementales, économiques et sociales dramatiques. Dans ce contexte, l'objectif de la COP21 est double : limiter le réchauffement à 2 °C et mettre l'humanité sur le ...

10% de la surface continentale terrestre sont désormais touchés par des températures extrêmes.

... chemin de l'adaptation à un climat qui, quoi qu'il en soit, ne sera plus celui que nous avons connu. Pour y parvenir, la communauté scientifique est sur tous les fronts. C'est elle qui a tiré la sonnette d'alarme. Elle est désormais aux avant-postes des solutions.

Certes, le climat de la Terre subit des modifications périodiques. Ainsi, les variations régulières des paramètres orbitaux de la Terre sur son axe et autour du Soleil permettent de rendre compte des cycles glaciaires et interglaciaires. À ceci près que, si ces évolutions naturelles se produisent sur des échelles de temps comprises entre 1 000 et 10 000 ans, le réchauffement

auquel nous assistons aujourd'hui se produit à une vitesse fulgurante. Précisément, la température moyenne de notre planète a augmenté de 0,85 °C entre 1880 et 2012. Et la majorité de cette hausse s'observe depuis 1950. Ainsi, 2014 a été l'année la plus chaude depuis 1880. Et il est possible que 2015 batte un nouveau record. Et les dix années les plus chaudes enregistrées depuis 130 ans, 1998 mis à part, l'ont été après 2000.

On pourra toujours objecter que 0,85 °C ne représente pas grand-chose. Mais qu'on ne s'y trompe pas. Comme le précise Pascale Delecluse, directrice de l'Institut national des sciences de l'Univers du CNRS, « *seuls quelques degrés séparent une ère glaciaire d'une ère interglaciaire. Ainsi nous sommes bien en train d'assister à un bouleversement climatique majeur et sans précédent par sa vitesse* ».

La cause de cette élévation globale de la température de notre planète ? « *Il est désormais extrêmement probable que les activités humaines soient la cause principale du réchauffement climatique* », indique Sylvie Joussaume, du Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement (LSCE)¹. Combustion de gaz et de pétrole, déforestation, agriculture intensive, depuis le début de l'ère industrielle, les activités humaines rejettent dans l'atmosphère des quantités de plus en plus importantes de gaz à effet de serre, principalement du dioxyde de carbone et du méthane.

La concentration de CO₂ au plus haut

Or la surface de la Terre, chauffée par l'ensoleillement reçu, émet un rayonnement infrarouge absorbé en partie par ces gaz. Ces derniers réémettent à leur tour un rayonnement infrarouge vers la surface et qui la réchauffe. C'est l'effet de serre. Précisément, la concentration de CO₂ était de 270 parties par million à la fin du XIX^e siècle. Elle est désormais de 400 parties par million, soit la plus forte concentration depuis 800 000 ans, tel que l'ont notamment montré les chercheurs du CNRS en analysant en 2008 les gaz piégés dans la glace antarctique extraite dans le cadre du forage glaciaire Epica.

Et les conséquences du réchauffement se font déjà sentir. Fonte des glaciers continentaux et des calottes polaires, fonte de la banquise arctique en été (30 % depuis 1980), dilatation thermique des océans : le rythme d'élévation du niveau de la mer est désormais de 3,3 millimètres par an contre de 1 à 2 millimètres durant les derniers millénaires. Les épisodes caniculaires sont plus fréquents : les températures extrêmes qui ne touchaient que 1 % de la surface continentale terrestre concernent désormais près de 10 %. Enfin, les océans s'acidifient à un

1. Unité CNRS/CEA/UVSQ-IPSL. 2. Unité Droits international, comparé et européen (CNRS/Aix-Marseille Univ./Univ. de Toulon/Univ. de Pau et des Pays de l'Adour).

La mobilisation autour du climat

De nombreux événements – scientifiques, climatiques et culturels – ont conduit, au fil du temps, à une mobilisation internationale sur le changement climatique.



© J. BOLLIVIER/MEDIA COMMONS

1824

Joseph Fourier postule que la Terre serait beaucoup plus froide si elle était uniquement chauffée par le Soleil : des particules dans notre atmosphère doivent renvoyer de l'énergie à la surface de la Terre.

Température globale
moyenne annuelle

13,6°C

1850

Le niveau estimé de CO₂ dans l'atmosphère est de 290 parties par million (ppm), d'après des mesures effectuées dans la glace au XX^e siècle.

290 ppm



Atoll de Funafuti dans le Pacifique. Ses habitants craignent que le réchauffement climatique rende l'archipel inhabitable.

L'analyse des carottes de glace (projet Epica) fournit aux chercheurs de précieux renseignements sur le climat du passé.



© L. AUGUSTINCNIS PHOTOHEQUE

rythme sans équivalent depuis 300 millions d'années du fait de la dissolution du CO_2 excédentaire dans les eaux de surface des océans. Avec des conséquences mal connues, mais inquiétantes sur les êtres vivants.

L'inévitable hausse des températures

Or, si les émissions continuaient au rythme actuel, on peut s'attendre à une élévation de la température comprise entre 2,6 et 4,8 °C, avec une valeur moyenne de 3,7 °C, par rapport à la période 1986-2005. Et entre 0,3 et 3,1 °C pour les autres scénarios. Des chiffres issus des prédictions de 27 modèles numériques globaux du système Terre, dont deux auxquels contribue le CNRS, celui de l'Institut Pierre-Simon-Laplace et celui du Centre national de recherches météorologiques-Centre européen de recherche et de formation avancée en calcul scientifique. Par ailleurs, toujours selon la synthèse des connaissances opérée par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (Giec), dans le cas le moins favorable, on peut s'attendre à une élévation de presque 1 mètre du niveau de la mer à l'horizon du siècle.

Afin de remettre l'humanité sur une trajectoire climatique vertueuse, les 195 parties de la CCNUCC ont adopté une démarche originale : avant la conférence, chaque pays doit rendre publique une contribution à l'effort global décidée à l'échelle nationale, une INDC pour Intended Nationally Determined Contributions, dont une synthèse devait être présentée le 1^{er} novembre. À la date du 8 septembre 2015, 58 pays représentant 60 % des émissions de gaz à effet de serre en 2012 avaient rendu leur copie. À titre d'exemple, les États de l'Union européenne se fixent un objectif de réduction de 40 % de ses émissions en 2030 par rapport au niveau de 1990. Et se placent dans une logique d'atteindre entre - 80 et - 95 % d'ici à 2050. « À partir de là, on peut s'attendre au mieux à un traité énonçant des principes fondamentaux et un objectif global, plus un second volet reprenant les contributions des parties, analyse Sandrine Maljean-Dubois, du Centre d'études et de recherches internationales et communautaires². L'idéal serait un accord flexible et incitatif permettant une révision à la hausse des contributions au fil du temps. »



© PUBLIC DOMAIN MARK 1.0 / WIKIMEDIA COMMONS

1896

Svante Arrhenius calcule que la diminution du CO_2 atmosphérique pourrait entraîner une baisse des températures de 4 °C. Il a été le premier à émettre l'idée que l'activité humaine pouvait affecter les températures.

Le « grand smog » de Londres, dû principalement à la pollution au charbon, aurait été responsable de la mort de 12 000 personnes.

1952



© CENTRAL PRESS/HULTON ARCHIVE / GETTY IMAGES



© I. SWAGORNSKY/COURTESY / AIP EMILIO SEGREVISUAL ARCHIVES

1956

Norman Phillips (deuxième à gauche) développe l'un des premiers modèles climatiques.



... Sur le fond, pourquoi 2 °C ? « C'est un nécessaire étendard politique », admet Hervé Le Treut, directeur de l'Institut Pierre-Simon-Laplace. Mais pas seulement : « C'est aussi l'horizon au-delà duquel la Terre devient réellement une planète différente avec des dangers difficiles à cerner. » Car plus la température moyenne augmente, plus les processus physiques en jeu dans la machine climatique risquent de dépasser des seuils au-delà desquels le système s'emballé : arrêt de la ventilation profonde océanique, fonte totale de la banquise arctique en été, impossibilité pour l'océan d'absorber plus de carbone sous l'effet de l'élévation de sa température..., avec des conséquences incontrôlables et irréversibles pour les milieux.

Une marge de manœuvre très étroite

« Chacun de ces seuils n'est pas nécessairement franchi au-delà de 2 °C d'élévation de la température moyenne, précise Pascale Delecluse. Mais au-delà, on place le climat sur une trajectoire irréversible. » Jean-Louis Dufresne, du Laboratoire de météorologie dynamique³, complète : « Plus le réchauffement est important, plus on s'éloigne du climat connu et moins on a confiance dans notre capacité à prévoir et donc à anticiper ces bouleversements. » D'un mot, on entre dans l'inconnu. Pas plus de 2 °C est du reste un objectif ambitieux au regard des réalités. Un seul chiffre : pour l'atteindre, les émissions de dioxyde de carbone d'origine humaine ne doivent pas dépasser 3 000 milliards de tonnes, quand 2 000 milliards de tonnes ont déjà été relâchées depuis le début de l'ère industrielle. « La marge de manœuvre est étroite, insiste Sylvie Joussaume. Pour tenir les 2 °C, il faudra réduire d'ici à 2050 l'ensemble de nos émissions de 40 à 70 % par rapport à 2010. Et atteindre la neutralité carbone d'ici à la fin du siècle. » Philippe Ciais, du LSCE, précise : « En tenant compte des incertitudes des modèles sur la sensibilité du climat aux gaz à effet de serre

et la capacité des terres et des océans à réabsorber une fraction du carbone émis, disons que cet objectif, qui revient également à baisser nos émissions de 3 à 6 % par an tout au long du siècle, donne une probabilité supérieure à 70 % de rester sous les 2 °C. » Et ce alors même que, « si l'humanité émettait de 1 à 2 milliards de tonnes de carbone par an en 1950, nous en sommes désormais à 10 milliards de tonnes », ajoute Hervé Le Treut.

En principe, cet objectif qui constitue le volet « atténuation » du futur accord de Paris est tenable. Comme l'a montré le dernier rapport du Giec, sur l'ensemble des trajectoires économiques étudiées, on parvient à une stabilisation du climat dans 60 % des cas. Cependant, cela est possible à la seule condition d'une action forte et immédiate, et parfois avec un dépassement temporaire des 2 °C. Et à un coût macroéconomique de 4 % de PIB sur le siècle, correspondant à une année de retard de croissance.

Mais comme le fait remarquer Franck Lecocq, directeur du Centre international de recherche sur l'environnement et le développement⁴, « ces projections reposent sur des hypothèses fortes : d'une part la possibilité de piéger le CO₂ à grande échelle au milieu du siècle, d'autre part une reforestation massive ». Or, si la première technique qui fait l'objet de recherches notamment au CNRS sur les matériaux permettant de stocker du carbone est encore balbutiante, la seconde pose la question générale encore peu étudiée et incertaine de l'usage des sols⁵.

Un environnement modifié en profondeur

C'est du reste un objectif qui plonge malgré tout l'humanité dans un monde transformé. Comme le détaille le dernier rapport du Giec, des zones polaires aux récifs coralliens en passant par les forêts ou les espaces côtiers, l'ensemble des milieux sont déjà et seront de plus en plus touchés par les effets du réchauffement global. Et ce sur tous les ...

3. Unite CNRS/ENS/École polytechnique/UPMC. 4. Unité CNRS/École des ponts ParisTech/Agro ParisTech/EHESS/Cirad. 5. <http://presse.inra.fr/Ressources/Communiqués-de-presse/Lancement-d-un-GIS-CAS>



Jean Jouzel, climatologue⁶

« Les gouvernements sont au pied du mur »

est une date butoir. C'est cette échéance que les gouvernements ont choisie pour prendre des engagements pour l'après-2020. Le protocole de Kyoto, qui s'engageait à réduire de 5% les émissions de CO₂ par rapport à 1990, couvrait la période 2008-2012. Copenhague devait prendre le relais sur la période 2013-2020 et s'est soldé par un demi-échec : si les gouvernements n'ont pas pris d'engagements chiffrés en termes d'émissions de CO₂, ils ont affirmé leur volonté de limiter à 2 °C le réchauffement à long terme de la planète. Maintenant, ils sont au pied du mur et doivent prendre les décisions fortes qui permettront de respecter cet objectif.

Pourquoi ce seuil de 2 °C est-il si important ?

Il est désormais trop tard pour empêcher le réchauffement. Mais on peut essayer de limiter les dégâts. Pour le moment, la hausse est telle qu'on l'avait prédite il y a vingt ans ; et si rien n'est fait pour réduire nos émissions de gaz à effet de serre, la température de la Terre augmentera de 4 à 5 °C d'ici à la fin du siècle. On parle là d'un changement radical de climat, avec des conséquences désastreuses sur les écosystèmes et les sociétés humaines... Rappelons que 5 °C, c'est l'écart moyen de température entre la

dernière période glaciaire et la période chaude que nous connaissons depuis 10 000 ans ! Limiter la hausse à 2 °C maximum par rapport à l'ère préindustrielle devrait nous permettre de nous adapter pour l'essentiel. Certes, les récifs coralliens seront mis à mal, les pertes de biodiversité seront inévitables et le niveau de la mer montera de 40 centimètres d'ici à la fin du siècle... mais disons que c'est encore gérable. Au-delà, tout deviendrait extrêmement problématique – on parle de millions de réfugiés climatiques, de la répétition d'événements extrêmes de type cyclones ou canicules... mais aussi de difficultés accrues sur le plan des ressources en eau. Rester au-dessous de cette limite signifie qu'il nous reste 800 milliards de tonnes de CO₂ à émettre jusqu'à la stabilisation de notre climat – soit moins de 25 années d'émissions au rythme actuel ! Pour y arriver, il est indispensable d'agir dès aujourd'hui : infléchir la hausse des émissions de CO₂ de 15 à 20 % d'ici à 2020, puis diviser nos émissions par deux au moins entre 2020 et 2050 et viser le zéro émission à horizon 2100... Cela demande un changement complet de mode de développement pour tendre vers des sociétés sobres en carbone mais aussi en énergie. **II**

PROPOS RECUEILLIS PAR L. C.

Vous avez été, avec votre confrère Hervé Le Treut notamment, à l'origine d'un grand colloque sur le climat organisé en juillet, à Paris⁷. De quoi s'agissait-il exactement ?

C'était une manière pour nous, les scientifiques, d'apporter notre contribution à la COP21. Il était important que la communauté scientifique internationale se mobilise et redise à la fois le rôle clé de la recherche et l'urgence qu'il y a à prendre des décisions. La COP21 est en effet le lieu des négociations entre les gouvernements du monde. C'est une réunion entre politiques, à laquelle les scientifiques ne sont pas conviés – si ce n'est en tant que conseils, dans les coulisses. Avec ce colloque qui a réuni plus de 2 000 scientifiques de tous les pays et proposé 130 sessions d'interventions, nous souhaitions faire le point sur les connaissances actuelles sur le climat, mais aussi discuter des solutions concrètes et des innovations qui permettront de s'adapter au réchauffement climatique et d'en limiter les impacts.

Il n'y a pas de colloque scientifique avant toutes les COP. Pourquoi en avoir organisé un cette année ?

C'est loin d'être systématique, en effet. Le dernier a été organisé en 2009, avant la Convention de Copenhague... En organiser un cette année nous paraissait indispensable, parce que 2015



D'ici à 2050, près de 250 millions de personnes pourraient devenir des réfugiés climatiques, dont 20 à 30 millions pour le seul Bangladesh.

6. Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement.

7. Colloque « Notre avenir commun sous le changement climatique ».



... continents. Particulièrement l'Arctique, du fait d'un réchauffement plus fort aux hautes latitudes, l'Afrique, qui fait face à des défis multiples, les petites îles, dont la ligne de côte et les ressources en eau douce sont fragiles, et les grands deltas asiatiques, particulièrement sensibles aux risques accrus d'inondations. Avec des conséquences sur les secteurs clés de l'économie (accès à l'eau, approvisionnements énergétiques, rendements agricoles, mouvements de populations...), la santé, la sécurité et la pauvreté.

L'humanité face à un tournant majeur

La diversité de ces enjeux nécessite la mobilisation de toutes les disciplines scientifiques qui sont désormais mobilisées pour y répondre. « C'est essentiel afin d'opérer la transition d'une science qui expose les problèmes à une science des solutions », analyse Sébastien Treyer, de l'Institut du développement durable et des relations internationales. Le succès de la conférence « Notre avenir commun sous le changement climatique » en est la meilleure preuve (lire p.19). Cette conférence internationale a été initiée par la communauté scientifique française, au premier rang de laquelle le CNRS et ses partenaires, et s'est tenue à l'Unesco

du 7 au 10 juillet dernier, en forme de préambule scientifique à la conférence de Paris. Inaugurée par Ségolène Royal, ministre de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, et chargée de construire la position de l'Europe et d'animer la société civile lors de la COP21, elle a rassemblé 2 200 chercheurs et mis en avant l'étendue du spectre des

disciplines désormais au chevet du climat. « Elle a permis de dire avec clarté aux décideurs l'ampleur des défis, mais également la mobilisation de toute la communauté scientifique pour trouver des solutions pour atténuer le réchauffement et s'adapter à ses conséquences », précise Sébastien Treyer.

Avant toute chose, il convient d'abord de parvenir à penser la situation dans laquelle se trouve désormais plongée l'humanité. « Nous sommes à un tournant majeur : l'humain fait désormais résolument partie de la chaîne causale qui modifie la nature, et le dérèglement climatique le place face à un enjeu tellement vaste et général qu'en première instance, on imagine n'avoir dessus aucune prise, explique Sandra Laugier, philosophe et directrice adjointe scientifique de l'Institut des sciences humaines et sociales (INSHS). Par ailleurs, il est clair désormais que le progrès ne pourra plus consister à trouver des solutions complètes, mais à essayer de vivre "avec" le moins mal. De ce point de vue, la philosophie aide à ramener cette situation à des situations que l'on peut penser et donc éventuellement traiter. »

Des modèles de prédiction à améliorer

L'une des conditions est aussi de puiser dans les sciences humaines de quoi penser la complexité de cette nouvelle donne globale : « On feint de faire comme si toute l'humanité faisait face à un avenir commun. En réalité, il recouvre des intérêts très divergents, en particulier du fait des inégalités environnementales, économiques et sociales fortes entre les pays. Les sciences humaines et sociales sont ainsi là pour analyser cette complexité et donner un peu de réalisme face aux grandes déclarations. Car il est plus facile de penser une fin du monde ou la catastrophe globale dans 100 ans ou 1 000 ans que de se préoccuper de difficultés immédiates dans toute leur diversité », ajoute la scientifique.

“On feint de faire comme si toute l'humanité faisait face à un avenir commun.”



1988

L'Organisation météorologique mondiale (OMM) et le Programme des Nations unies pour l'environnement (PNUE) créent le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (Giec).



1992

Signature, lors du Sommet de la Terre de Rio, du premier protocole de réduction des émissions dans le cadre la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques (CCNUCC). Les conférences annuelles des parties (COP) sont également programmées.

356,38 ppm



1997

Extension de la CCNUCC, le Protocole de Kyoto fixe aux pays industrialisés des objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre. Il est rejeté par plusieurs pays, y compris les États-Unis.

363,71 ppm

À l'autre bout du spectre disciplinaire, il est par ailleurs primordial que les climatologues affinent leurs prévisions, afin notamment de pouvoir analyser au fil du temps les propositions des pays et garantir leur compatibilité avec les trajectoires souhaitables d'atténuation ou qui rendent possible l'adaptation. Pour ce faire, plusieurs fronts : celui des données qui sont encore en quantités trop restreintes, notamment en Arctique et dans les régions tropicales. Par ailleurs, « *de gros efforts sont encore à fournir pour mettre en forme et rendre compatible l'ensemble des données mondiales* », ajoute Philippe Ciais.

Également raffiner toujours plus la modélisation des processus, comme celle de la dynamique de la calotte. « *Il y a vingt ans, on estimait qu'il faudrait 100 000 ans pour que les calottes fondent et que cela affecte le climat. Or les observations satellitaires et sur le terrain ont révélé une dislocation bien plus importante, d'où un important enjeu de compréhension et de représentation des phénomènes pour une meilleure implémentation dans les modèles numériques* », explique Pascale Delecluse. Idem avec le cycle du carbone : « *Actuellement, la moitié des émissions est absorbée par les sols, la végétation et les océans. Or on sait que ce chiffre est amené à évoluer dans le mauvais sens du fait de l'élévation des températures sans que l'on puisse dire avec certitude dans quelles proportions.* » Enfin, l'amélioration et la validation des modèles numériques de prédiction du climat sont au menu des climatologues. Afin qu'avec des prévisions plus fiables, ainsi qu'en améliorant leur résolution spatiale, ces modèles puissent d'une part produire des informations précises pays par pays, d'autre part renseigner précisément sur l'évolution dans le temps de l'occurrence de phénomènes locaux extrêmes tels les cyclones.

Le CNRS s'engage

L'atténuation du changement climatique et l'adaptation à ses effets sont l'affaire de tous. Raison pour laquelle le CNRS multiplie les actions sur tout le territoire auprès du plus large public. L'organisme sera notamment présent du 4 au 10 décembre au Grand Palais, à Paris, où une grande exposition est organisée en marge des négociations de la COP21. « *Il s'agit d'un événement multiacteur sur les solutions face au changement climatique rassemblant des entreprises, des ONG, des collectivités locales et des chercheurs* », détaille Agathe Euzen, déléguée scientifique à l'Institut écologie et environnement (Inee) et coordinatrice COP21/CNRS. Dans le même esprit, CNRS Éditions s'apprête à publier un ouvrage consacré au changement climatique.



« *Rassemblant les contributions d'une cinquantaine de scientifiques et d'autres acteurs, il vise à fournir les éléments pour comprendre les enjeux liés au changement climatique et à proposer des solutions économiques, environnementales, sociales, techniques et juridiques* », explique Agathe Euzen. « *À travers diverses manifestations sur l'ensemble du territoire, ce sont plus de 2 000 chercheurs qui se mobilisent pour aider à faire émerger une réflexion sur les enjeux climatiques à l'échelle de la société tout entière* », ajoute Stéphanie Thiébault, directrice de l'Inee.

De fait, l'analyse dans le détail des impacts du changement climatique est une priorité absolue pour engager l'humanité sur le chemin d'une adaptation durable. Un exemple avec l'impact de la montée des océans sur les petits États insulaires qui font figure de premières victimes du réchauffement et ce à très court terme. Or la synthèse des observations sur des centaines d'îlots coralliens indique que, sur ...

La vague de chaleur mortelle qui s'abat sur l'Europe sensibilise l'opinion publique au problème du réchauffement climatique.

2003



© P. VERDY/AFP



2004

Sortie du *Jour d'après*, premier blockbuster qui a pour toile de fond le changement climatique. Le film est un succès planétaire.

© CENTROPOLIS ENTERTAINMENT / T. COVINO / PRESS AGENCY

Le Protocole de Kyoto prend effet, mais il est bloqué par les pays non signataires et des lobbies industriels.

2005



© S. KULIKOV/INTERPRESS/AFP PHOTO



© H. FAGUET/CNRS PHOTOTHÈQUE

Ces chercheurs de l'Écotron européen de Montpellier mesurent, dans un environnement contrôlé, les échanges de gaz entre le sol et l'atmosphère pour évaluer les impacts futurs du changement climatique.

Les centrales à charbon, comme celles de Niederaussem, en Allemagne, dégagent des émissions extrêmement polluantes.



... les 30 à 100 dernières années, les trois quarts de ces îles ont conservé leur superficie, voire se sont agrandis. « À ce stade de l'histoire, le principal facteur d'évolution est en réalité la capacité des récifs coralliens à alimenter ces îles en sédiments, et pas la hausse du niveau de la mer », explique Virginie Duvat, du Laboratoire Littoral, environnement et sociétés⁸. Non pas que ce résultat incite à l'inaction. Bien au contraire. Mais il indique que l'adaptation durable à la hausse du niveau de la mer sur quelque littoral que ce soit ne peut en aucun cas passer par la construction d'ouvrages de protection, telles des digues, qui justement empêchent l'apport de sédiments... Plus généralement, « il plaide pour des trajectoires d'adaptation robustes et flexibles qui devront nécessairement s'échelonner dans le temps au gré de l'évolution des impacts », ajoute la géographe. « La science est résolument entrée dans l'ère de l'analyse fine », complète Sébastien Treyer.

Pour ce faire, la « boîte à outils » des scientifiques doit être multifonction. Outils économiques et financiers par exemple. Pour l'heure, l'accord de Paris doit déterminer le financement de l'adaptation au changement climatique. En 2009, les pays développés ont pris l'engagement de mobiliser d'ici à 2020 100 milliards par an sur fonds publics et privés pour permettre aux pays en développement de lutter contre le dérèglement climatique et de s'engager dans un développement durable. Mais, comme le précise Franck Lecocq, « il faudra bien plus, et ce dans un contexte budgétaire contraint ». D'où les réflexions des économistes pour proposer des mécanismes financiers innovants afin de favoriser les investissements dans des projets bas carbone. L'économiste met aussi en avant le concept novateur de cobénéfice. Un exemple : « La pollution atmosphérique engendrée par la combustion de pétrole et de gaz engendre un coût important pour la santé et la productivité agricole,

8. Unité CNRS/Univ. La Rochelle. 9. Adopté le 22 mars 1985, le Protocole de Montréal impose la suppression de l'utilisation des CFC (chlorofluorocarbones) et autres substances appauvrissant la couche d'ozone. À ce jour, il a été signé par 197 pays, ce qui en fait le premier protocole environnemental à atteindre la ratification universelle.

Le prix Nobel de la paix est décerné au Giec et à Al Gore « pour leurs efforts de collecte et de diffusion des connaissances sur les changements climatiques provoqués par l'homme et pour avoir posé les fondements pour les mesures nécessaires à la lutte contre ces changements ».



© M. GARTENJUN PHOTO

Une tempête d'une extrême violence, Xynthia, s'abat sur l'Europe de l'Ouest.



© B. GUAY/AFP

2007

2009

2010

Échec des négociations au Sommet de Copenhague qui visaient l'adoption d'accords contraignants pour la réduction des émissions de CO₂.

389,85 ppm

387,37 ppm

© C. JACKSON/GETTY IMAGES/AFP



notamment en Chine et en Inde. Le dernier rapport du Giec indique que la réduction des émissions de gaz à effet de serre rapporterait un cobénéfice de l'ordre de 0,6 % du PIB. » Par conséquent, la réduction des émissions de gaz à effet de serre serait à la fois bénéfique pour le climat, mais également pour l'économie de ce pays.

Comment faire changer les comportements ?

Autre front de connaissance indispensable du changement : les politiques publiques dont dépendent la planification et la mise en œuvre des grandes infrastructures, mais aussi pour une part les comportements de tout un chacun. Ainsi, Antoine Bozio, directeur de l'Institut des politiques publiques, plaide pour un changement de perspective quant au rôle de la fiscalité. « Dans la perspective des évolutions nécessaires pour faire face aux changements climatiques, une partie de la fiscalité devra non plus être considérée comme une source de revenus, mais comme un levier permettant un rééquilibrage entre "gagnants" et "perdants". » Condition selon lui d'une évolution des comportements.

Car in fine, ce sont bien les comportements de tous qui devront changer. « Cela ne peut pas se résumer à des gestes verts, même importants, comme fermer le robinet pendant que l'on se lave les dents », précise Hervé Le Treut. « C'est une vraie question pour les sociologues, explique Sébastien Treyer. Qu'est-ce qui, dans une société, permet d'induire un changement des comportements, tel celui observé lorsque la cigarette a été interdite dans les lieux publics ? » Sandra Laugier ajoute : « C'est aussi une question pour les historiens, mis à contribution pour déterminer des points de bascule équivalents à celui devant lequel nous nous trouvons. »

À l'autre bout de la chaîne, la communauté scientifique est également active pour ouvrir des perspectives

nouvelles en matière de négociations multilatérales et de gouvernance internationale. Sandrine Maljean-Dubois met ainsi en avant l'ensemble des outils juridiques désormais à destination des décideurs pour avancer : « Au-delà d'un accord universel, on peut imaginer des coopérations renforcées dans le cadre de clubs de pays ou bien des accords sectoriels. »

Cette spécialiste du droit international et européen de l'environnement pointe aussi les manques de la gouvernance mondiale : « Biodiversité, économie, questions sociales, la gouvernance mondiale est très fragmentée. Il est par exemple dommageable que le protocole de Montréal⁹ sur l'ozone soit déconnecté des accords sur le climat, ou que ceux-ci soient sans lien avec l'Organisation mondiale du commerce, qui a la mainmise sur la question de la propriété intellectuelle des technologies propres. De plus en plus de travaux académiques se penchent sur ces verrous et la façon de les dépasser. »

Alors que de nombreux observateurs pointent l'insuffisance des INDC de nombreux pays, la planète sera-t-elle vraiment au rendez-vous à Paris en décembre ? Pour Philippe Ciais, « nous avons étudié les propositions déjà disponibles. En l'état, les chances de parvenir à l'objectif de 2 °C sont minces, mais elles ne sont pas nulles ». Hervé Le Treut ajoute : « Dans de nombreux pays, ces propositions ont suscité des débats importants. Du reste, ce n'est pas neutre pour un pays de s'engager sur quinze ans, il faut valoriser l'effort. Et, au-delà des ambitions qu'affichera le futur accord, le juger à sa capacité à créer une dynamique. » Une chose est sûre, les scientifiques seront au rendez-vous ! ■ M. G.

“Les chances de parvenir à l'objectif de 2 °C sont minces, mais elles ne sont pas nulles.”



2012

L'ouragan Sandy déferle sur la côte est des États-Unis. Cet ouragan est le deuxième plus coûteux de l'histoire du pays.

393,82 ppm

14,6 °C

2013

La température moyenne mondiale est de 14,6 °C. C'est la plus élevée depuis des milliers d'années.

396,48 ppm

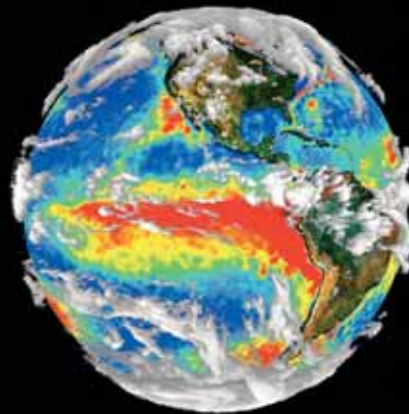


2015

L'objectif de la COP21 est de conclure un accord qui limite la hausse des températures à 2 °C par rapport à la période préindustrielle.



Après cinq ans d'absence le phénomène El Niño est réapparu dans l'océan Pacifique tropical. Ce nouvel épisode devrait affecter de nombreuses régions du globe, au moins jusqu'au printemps 2016.



Anomalie de la température de la mer et de la couverture nuageuse durant l'épisode El Niño 1997-1998.

L'enfant terrible du climat est de retour

Perturbation de la mousson dans le Sud-Est asiatique, inondations en Amérique centrale, sécheresse en Indonésie et en Australie, hivers plus humides ou plus froids qu'à l'accoutumé dans d'autres régions... Tel est le cortège de bouleversements climatiques qui devrait affecter la planète dans les prochains mois. Car cela ne fait désormais plus l'ombre d'un doute : un épisode El Niño de forte intensité

est en cours. Les climatologues australiens et américains ont annoncé le retour du phénomène dès le printemps dernier après avoir constaté que la température de la surface de la mer s'était élevée de 1 °C au-dessus de la normale dans l'ouest et le centre du Pacifique tropical. Toutefois, cette seule indication ne suffit pas à présager de l'arrivée d'un El Niño de grande ampleur, comme le rappelle Éric Guilyardi, du Laboratoire d'océanographie et du climat : expérimentations et approches numériques¹⁰, à Paris : « Depuis le début des années 2000, la

corrélation entre l'accumulation d'eau chaude dans le Pacifique et le retour d'El Niño est nettement moins évidente, la circulation atmosphérique jouant en fait un rôle prépondérant dans le déclenchement puis l'évolution des événements les plus récents. »

Quand les alizés s'essouffent

Pour comprendre le rôle clé de l'atmosphère dans la genèse d'El Niño, il faut tout d'abord avoir à l'esprit que la température de la surface de l'océan Pacifique tropical n'est pas uniforme, mais s'élève graduellement en direction de l'ouest. Alors que les 100 premiers mètres de la colonne d'eau ne dépassent pas 22 °C près des côtes péruviennes, celle-ci avoisine 30 °C au large de l'Indonésie : c'est ce que les climatologues appellent la *warm pool* ou piscine d'eau chaude du Pacifique. « En temps normal, les alizés soufflent

depuis l'est ont tendance à confiner cet important volume d'eau chaude au voisinage de l'archipel indonésien. Mais, lors d'une année El Niño, le régime des alizés faiblit drastiquement, allant même jusqu'à s'inverser, comme c'est le cas cette année », souligne Éric Guilyardi.

Résultat : les coups de vent répétés venant de l'ouest provoquent l'écoulement progressif de ce gigantesque réservoir d'eau chaude vers l'est du Pacifique. Son arrivée le long des côtes péruviennes peu après Noël coïncide alors avec le paroxysme de la perturbation climatique. Le surnom d'El Niño – l'enfant en espagnol – attribué par les pêcheurs de la région fait ainsi référence à la naissance de Jésus. Ce phénomène, de retour tous les trois à sept ans, est pourtant loin d'être un cadeau béni des dieux. « Cette accumulation soudaine d'eau chaude près des côtes du Pérou interrompt la remontée d'eaux froides et riches en nutriments permettant le développement de nombreuses espèces », précise Boris Dewitte, océanographe au Laboratoire d'études en géophysique et océanographie spatiales¹¹, à Toulouse.

Des conséquences planétaires

En bloquant les apports de nutriments tels que le plancton, El Niño va en quelque sorte « stériliser » un écosystème marin d'ordinaire très poissonneux. Les côtes péruviennes sont en effet la principale zone de pêche à l'anchois de la planète et les dizaines de milliers de personnes vivant de cette activité se retrouvent brusquement au chômage technique pour plusieurs mois. L'augmentation de la température de l'océan fragilise par ailleurs les massifs coralliens des îles Galápagos en accentuant leur blanchiment. Les années où l'anomalie climatique est particulièrement marquée, on observe également une recrudescence des cyclones de forte puissance dans le centre et l'est du Pacifique. La température élevée de la surface de l'océan et la stabilité des vents qui accompagnent le phénomène climatique fournissent en effet les deux ingrédients indispensables au renforcement de ces dépressions tropicales.

“Lors d'une année El Niño, le régime des alizés faiblit drastiquement, allant même jusqu'à s'inverser.”

10. Unité CNRS/UPMC/IRD/MNHN. 11. Unité CNRS/IRD/Cnes/UPS. 12. « Increasing Frequency of Extreme El Niño Events Due to Greenhouse Warming », Wenju Cai. et al., *Nature Climate Change*, 2014, vol. 4 : 111-116.

L'Atlantique a aussi son El Niño

Dans la zone intertropicale, directement influencée par El Niño, son potentiel délétère ne se limite pas au milieu marin comme l'explique Boris Dewitte : « *En apportant un air plus chaud et chargé en humidité le long de la côte est du Pacifique, il engendre des pluies diluviennes à l'origine d'inondations et de glissements de terrain dans le nord du Chili, au Pérou et en Équateur.* » Durant l'automne et au cours de l'hiver, les précipitations sont également supérieures à la normale sur une grande partie des États-Unis. En Californie, où la sécheresse sévit depuis quatre ans, on compte beaucoup sur l'arrivée du phénomène pour réapprovisionner des nappes phréatiques au plus bas. « *En s'abattant brusquement sur un sol souvent laissé à nu par les incendies, ces pluies vont avant tout ruisseler vers les cours d'eaux accentuant ainsi le risque d'inondation* », tempère Éric Guilyardi.

Un épisode potentiellement redoutable

À l'autre bout du Pacifique, le refroidissement des eaux à la surface de l'océan empêche la formation de nuages d'altitude chargés de pluie. Le nord-est de l'Australie et les îles d'Asie du Sud-Est, habituellement confrontés à de fortes précipitations, subissent au contraire une sécheresse marquée. En 1997-1998, lors du plus intense El Niño du siècle dernier, l'Indonésie a ainsi perdu 400 000 hectares de rizières. L'île de Sumatra fut pour sa part ravagée par de gigantesques incendies qui détruisirent 2 millions d'hectares de forêt. À l'échelle du globe, on estime que cet épisode aura causé la mort de 23 000 personnes et provoqué 40 milliards de dollars de dégâts dans 27 pays différents.

Ce scénario catastrophe va-t-il se reproduire cette année ? Selon les derniers bulletins d'information diffusés par la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), l'agence américaine chargée de l'étude de l'océan et de l'atmosphère, il y a désormais 95 % de chance que le phénomène actuel se prolonge jusqu'au printemps 2016. La plupart des modèles numériques sur lesquels se basent les chercheurs pour prédire son évolution prévoient, quant à eux, que les eaux de surface du Pacifique Est subiront d'ici à la fin de l'année un réchauffement moyen de 2,5 °C, du même ordre que celui mesuré en 1997-1998.

Malgré cette apparente similitude, les scientifiques préfèrent rester prudents sur les impacts potentiels de l'épisode en court. « *Certaines perturbations comme l'affaiblissement de la mousson dans le sud de l'Inde ou*

Contrairement à son cousin du Pacifique, ce phénomène qui réapparaît tous les trois-quatre ans au niveau du golfe de Guinée est rarement sous le feu des projecteurs. Un manque de notoriété qui doit beaucoup à la physionomie de l'océan Atlantique. Avec à peine 3 000 kilomètres de large au niveau de l'équateur, contre 18 000 kilomètres pour le Pacifique, l'Atlantique emmagasine nettement moins de chaleur à sa surface. En raison de son étroitesse, ce bassin océanique est en outre influencé par les fluctuations de température des continents qui le bordent. Lorsqu'une anomalie climatique de type El Niño s'y installe, son pouvoir de nuisance s'en trouve de fait atténué. « Alors qu'El Niño constitue une perturbation majeure du cycle saisonnier dans le Pacifique, peu marqué dans cette région du globe, les anomalies de température résultant de son alter ego Atlantique demeurent relativement faibles par rapport à celles du cycle des saisons », résume Boris Dewitte.

en Afrique de l'Ouest doivent être perçues comme une augmentation du risque qui ne se vérifie pas toujours », illustre Éric Guilyardi. Au cours de l'événement catastrophique de 1997-1998, les niveaux de précipitations de la mousson indienne sont en effet restés proches de la normale alors qu'ils avaient diminué de 40 % lors de l'épisode moins marqué de 2002.

Une certitude tout de même : sous l'effet d'un réchauffement climatique non contrôlé, les El Niño extrêmes seront plus fréquents. Cela a récemment été confirmé¹² par une équipe internationale dont faisait partie Éric Guilyardi : « *Alors que ce type d'événement survient actuellement tous les quinze ans, nos résultats ont pu montrer sans ambiguïté que cette fréquence doublerait à compter de 2050 si rien n'est fait d'ici là pour enrayer les émissions de gaz à effet de serre.* » Une raison de plus, s'il en fallait une, de tout mettre en œuvre pour lutter contre le changement climatique. **II G. F.**



El Niño engendre des pluies diluviennes à l'origine d'inondations et de glissements de terrain, tel celui qui a eu lieu le 7 septembre 2009, à Santiago, au Chili, et qui a causé la mort de trois personnes.

© A. MARINOVIC/AP PHOTO

POUR EN SAVOIR PLUS

Le site officiel de la COP21
 » www.cop21.gouv.fr

Le site du CNRS pour la COP21
 » www.cnrs.fr/fr/COP21

Notre blog « En route vers la COP21 ! »
 et notre dossier « Les experts du climat »
 » <https://lejournal.cnrs.fr>

Le site « Le climat en questions », créé par l'IPSL
 » www.climat-en-questions.fr

La fresque « Océan Climat »,
 réalisée par Tara, le CNRS et la RATP,
 visible à Paris dans les couloirs
 du métro Montparnasse
 jusqu'en janvier
 » www.cnrs.fr

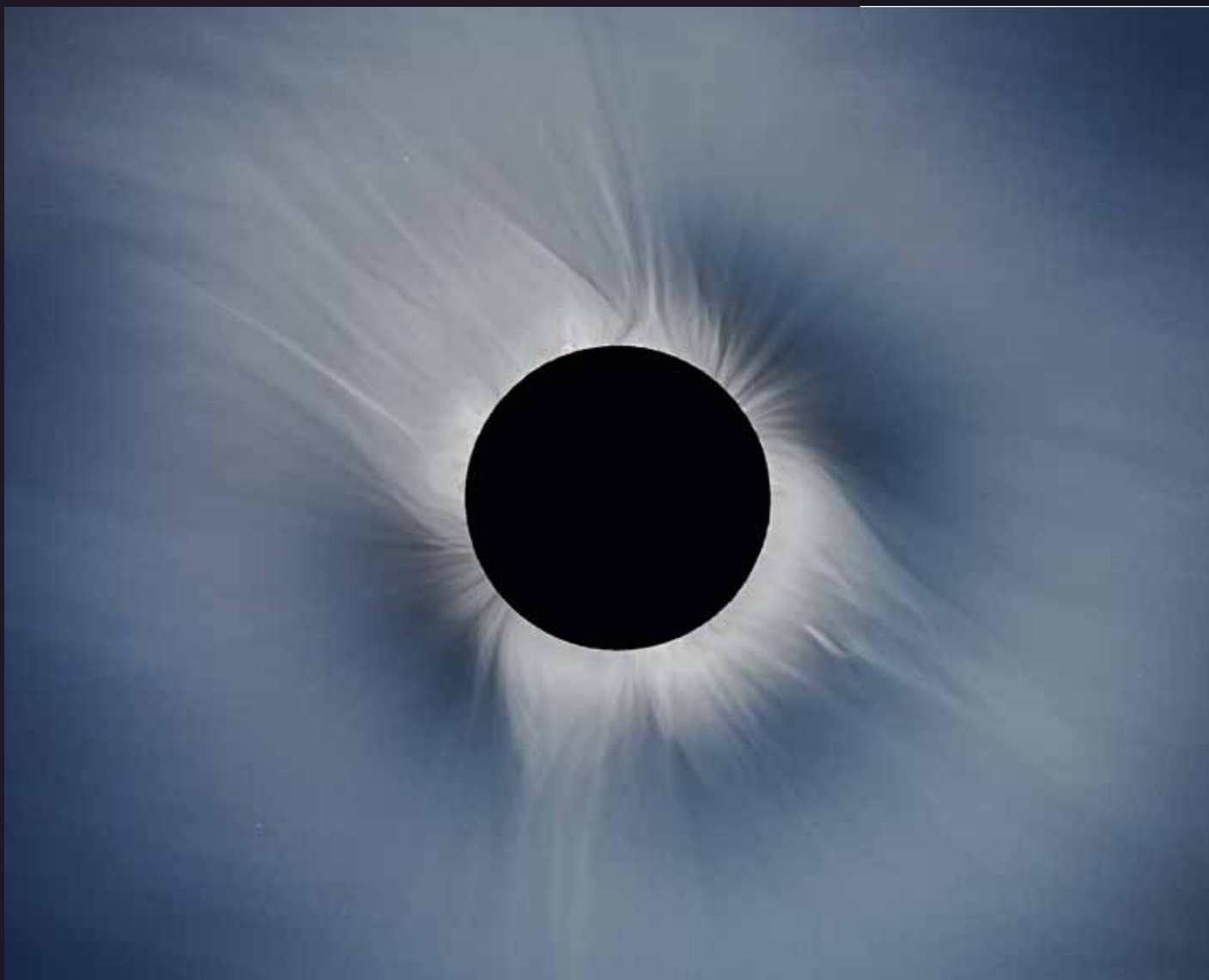
Le site du colloque
 « Notre avenir commun sous
 le changement climatique »
 » www.commonfuture-paris2015.org

La lumière exposée

MATIÈRE

Physique. La lumière ne sert pas qu'à voir les choses, elle permet aussi de les toucher, les traverser, les analyser, les guider, les sculpter, les exciter et même parfois les refroidir. La preuve par l'image en cette fin d'année 2015, proclamée Année internationale de la lumière par l'ONU afin de sensibiliser les citoyens à l'importance, dans leur vie quotidienne, de la lumière et des technologies qui y sont associées. Ces images sont extraites d'une exposition visible sur le campus de Jussieu jusqu'à la fin de l'année.

PAR AUDREY DIGUET



2

2. Couronne solaire pendant l'éclipse de 2010. Constituant une partie de l'atmosphère du Soleil, elle s'étend sur des millions de kilomètres.

3. Aurore boréale observée en Norvège. La couleur verte provient de l'excitation des atomes d'oxygène de la haute atmosphère.

3



1. Architecture de neurones de souris révélée grâce à une protéine fluorescente de méduse.



Le site de l'Année internationale de la lumière
 >> www.light2015.org

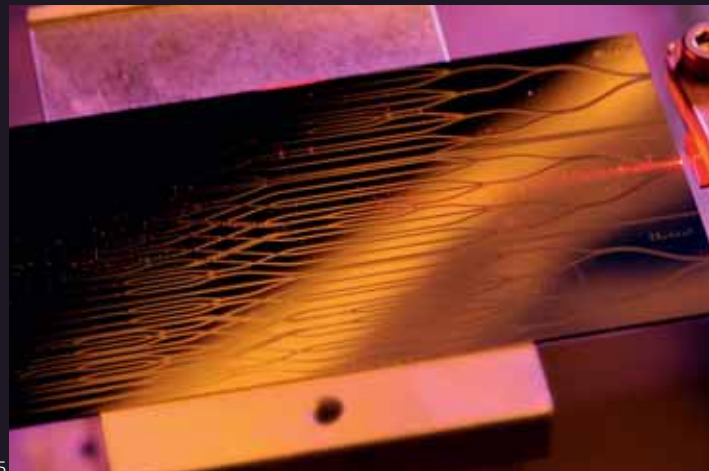
📺 Visionner l'intégralité du diaporama
 sur lejournal.cnrs.fr

4

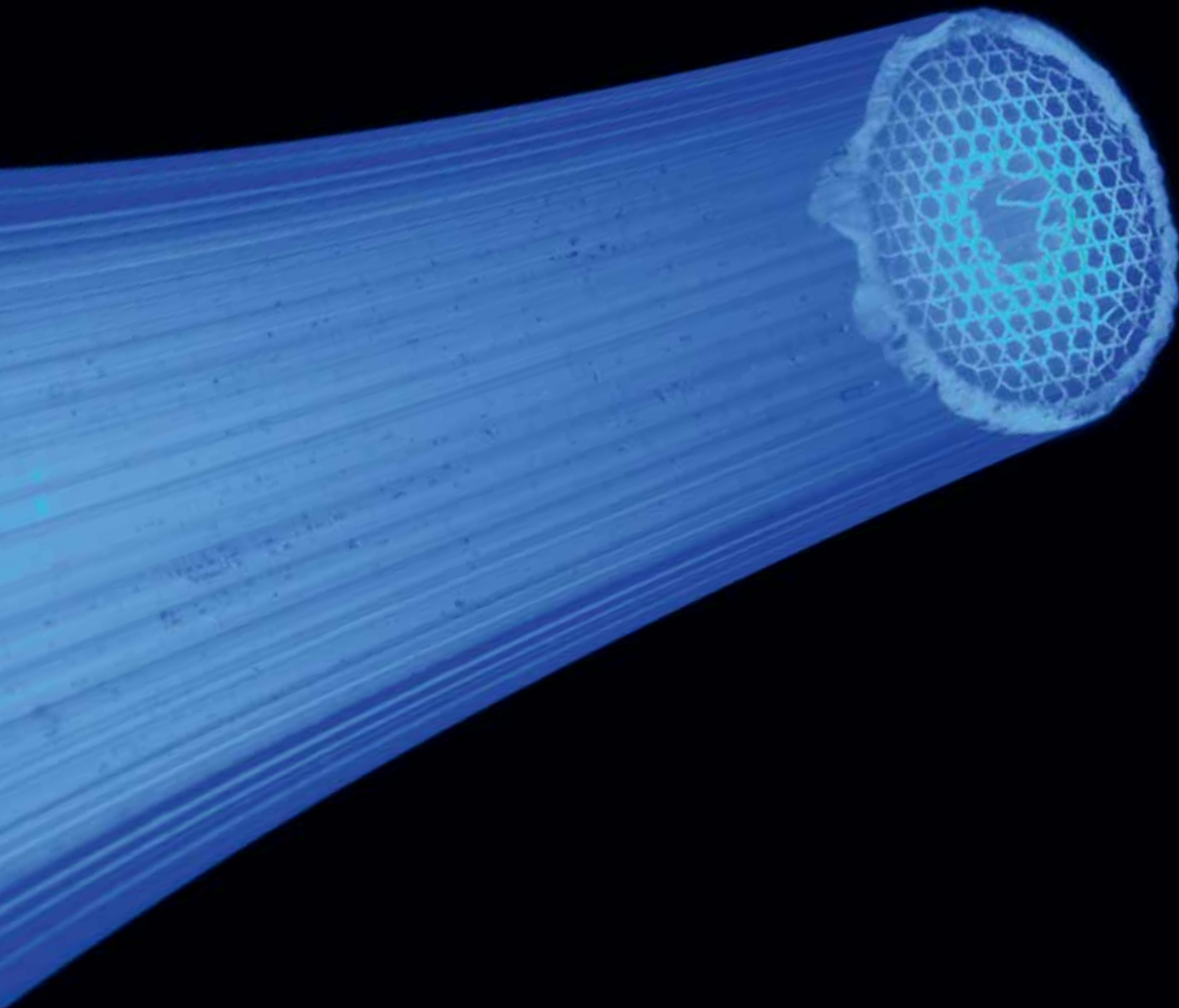
4. Fibre optique microstructurée en cours de fabrication. Elle est composée de plusieurs centaines de capillaires permettant de transporter la lumière.

5. Ce composant d'optique permet de recombiner les faisceaux issus de quatre télescopes pour des mesures d'interférométrie astronomique en très haute résolution.

6. À l'intérieur de cet appareil, un filament de tungstène chauffé à 1 000 °C permet l'évaporation d'une couche d'or qui servira pour des mesures sur des matériaux supraconducteurs.



5

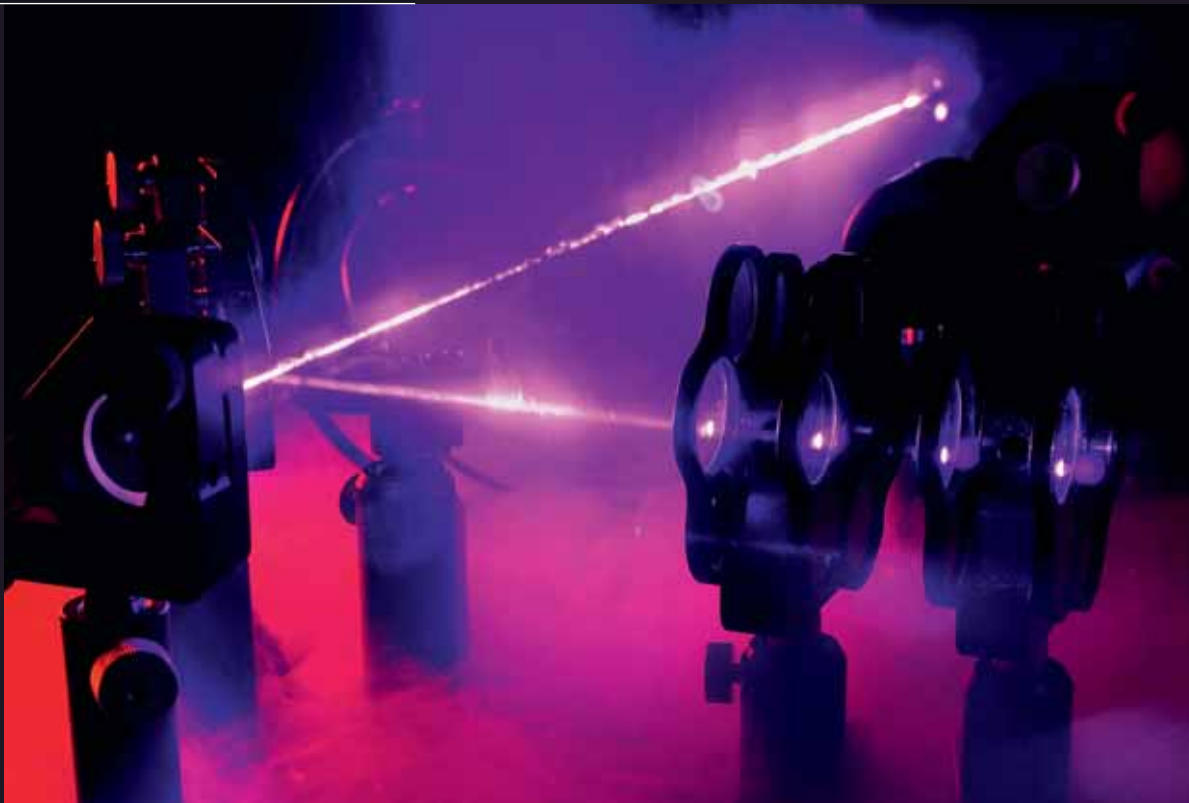


6

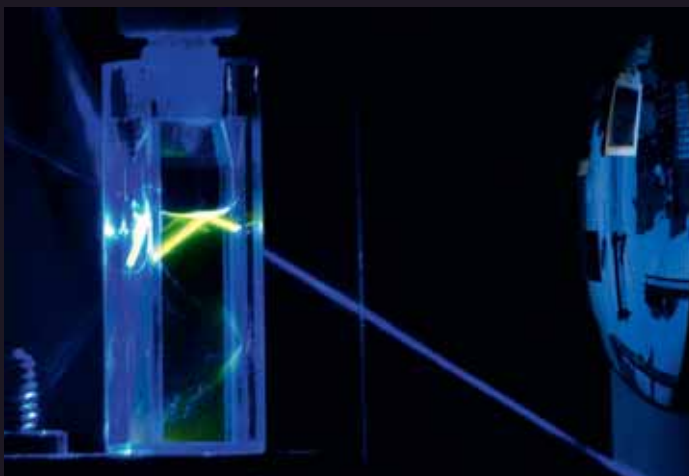


7

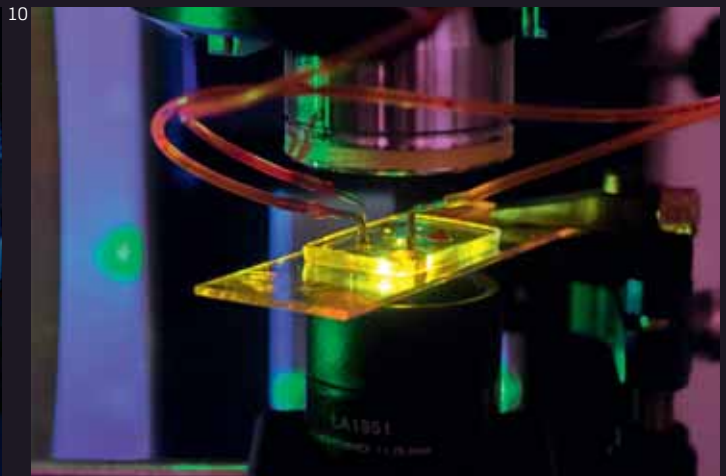
7. Deux objets en verre sont placés devant un polariscope pour contrôler les tensions apparues durant la cuisson. Ici, le cube de gauche a été recuit, pas celui de droite.



8. Analyse d'objets nanométriques par spectroscopie de photoluminescence.

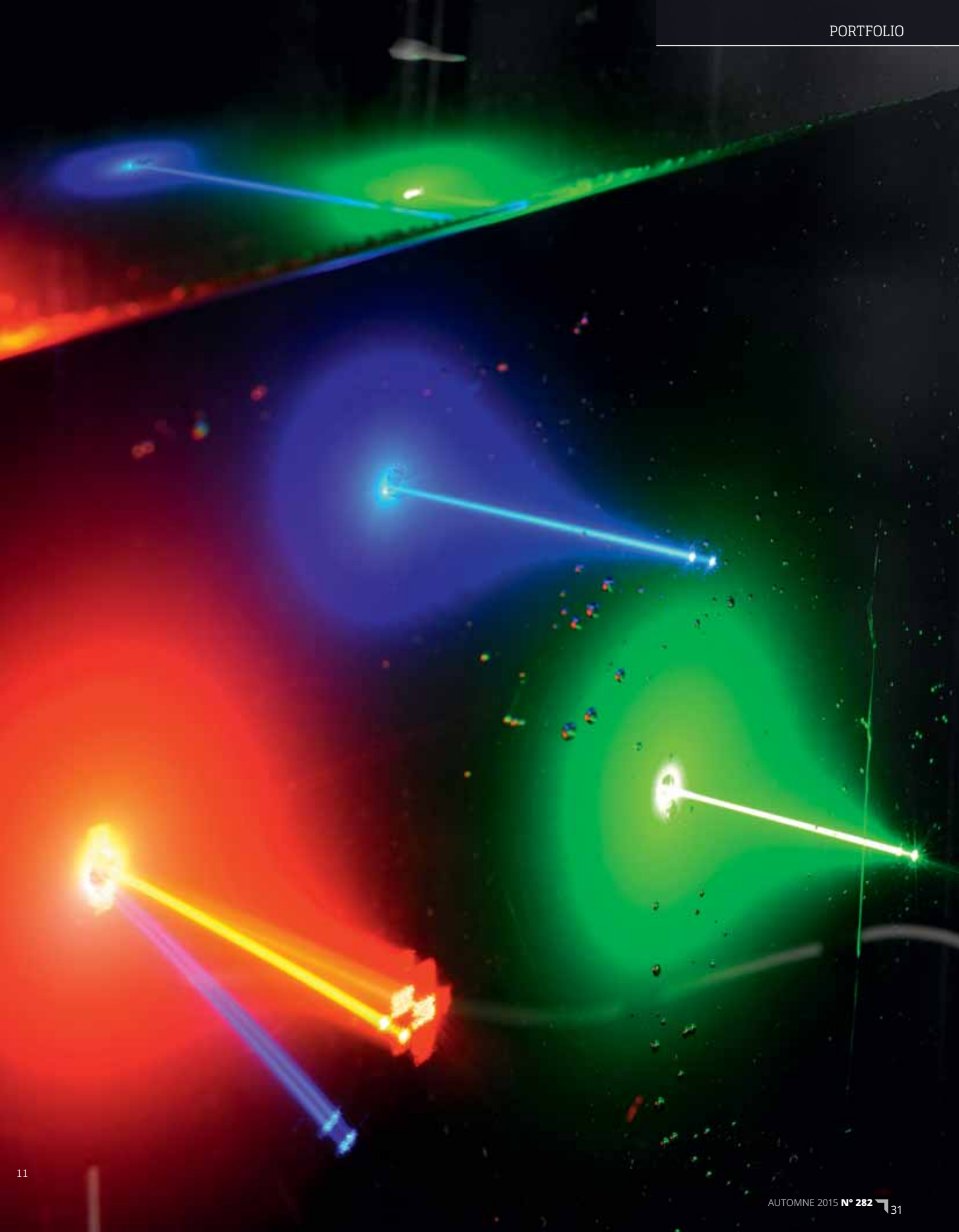


9. Fluorescence d'un chromophore organique, un groupement d'atomes présents dans certains organismes vivants et qui servent à détecter la lumière ou à l'absorber.

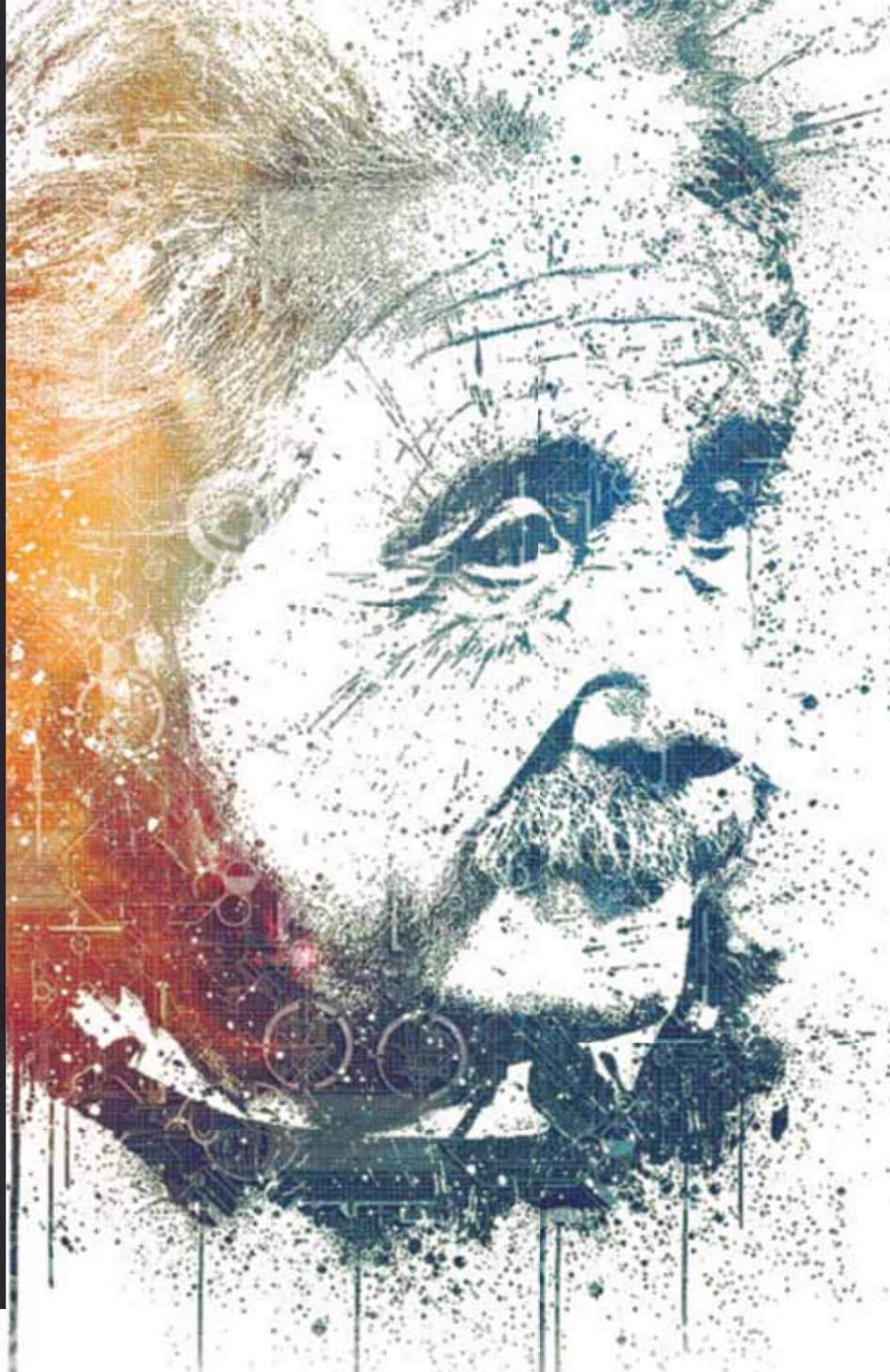


10. Laser aléatoire optofluidique placé sous un microscope. Ce laser servira de source de lumière ou de capteur dans un dispositif miniaturisé d'analyse chimique ou biologique.

11. Cette expérience, dite de fontaine laser, met en évidence le guidage de la lumière dans un jet d'eau et permet de comprendre le fonctionnement des fibres optiques.



Trois articles d'Albert Einstein avaient, dès 1905, révolutionné la physique : le premier postulant l'existence de particules de lumière, qui conduira à la fondation de la mécanique quantique et à l'élaboration des lasers, le deuxième démontrant l'existence des atomes et des molécules grâce à l'étude du mouvement brownien et, enfin, le dernier exposant la théorie de la relativité restreinte et sa célèbre formule $E = mc^2$ établissant l'équivalence entre masse et énergie. Dix ans plus tard, en refondant la théorie classique de la gravitation pour lui substituer sa théorie de la relativité générale, Einstein s'installait définitivement dans le Panthéon des génies universels. À l'époque, l'édifice newtonien suffisait pourtant pour prédire et expliquer la dynamique de n'importe quel corps connu, qu'il soit sur terre ou dans l'espace : aucune observation ou expérience ne le mettait jusque-là en défaut, hormis quelques anomalies mineures constatées dans l'orbite de la planète Mercure. En parvenant à expliquer la trajectoire réelle de Mercure et en prédisant la déviation de la lumière à proximité du Soleil – une prédiction vérifiée dès 1919 par Eddington au cours d'une éclipse totale –, la relativité générale a ainsi rapidement montré qu'elle n'était pas seulement élégante, mais également robuste. Toutefois, nonobstant les innombrables confirmations expérimentales venues depuis valider la théorie avec une précision de plus en plus grande et dans des conditions de plus en plus extrêmes, les chercheurs continuent de mettre à l'épreuve trois de ses prédictions les plus fortes : l'existence des ondes gravitationnelles, la validité du principe d'équivalence et l'influence des corps massifs sur la dilatation du temps. Cent ans après la première présentation par Einstein de la relativité générale devant l'Académie prussienne des sciences à Berlin, *CNRS Le Journal* fait le point sur les dernières validations de la théorie. || Y. P.



UNIVERS



La relativité générale cent ans après

UNE ENQUÊTE RÉALISÉE PAR YAROSLAV PIGENET,
SIMON CASTÉRAN, SYLVAIN GUILBAUD ET JEAN-PHILIPPE BRALY

Les trous noirs tordent-ils le temps?

Cent ans après la formulation de la théorie de la relativité générale par Einstein, les chercheurs se demandent toujours dans quelle mesure la proximité de corps massifs comme les planètes, étoiles et trous noirs ralentit le temps.

Dix ans après avoir, avec la théorie de la relativité restreinte, bouleversé les conceptions établies sur l'immuabilité du temps, Albert Einstein récidivait avec sa théorie de la relativité générale. Alors qu'en 1905 il avait démontré qu'une horloge embarquée dans un véhicule en mouvement « retardera » par rapport à celle restée immobile, en 1915, il prédisait que, tout comme la vitesse, le champ gravitationnel généré par un corps massif ralentissait les horloges ; et cela d'autant plus que l'horloge était proche du corps en question.

Plus d'une quarantaine d'années avant l'envoi des premiers satellites, cette prédiction, appelée « effet Einstein », était aussi audacieuse que difficilement vérifiable. Et ce d'autant plus que cet effet semblait relativement négligeable dans les champs gravitationnels générés par les corps célestes (planètes, étoiles, etc.) observés par les astronomes de l'époque : bien que les trous noirs aient été prédits par les équations de la relativité générale, leur existence ne sera démontrée que dans les années 1970.

Une première validation empirique du phénomène de dilatation temporelle fut apportée en 1959 lors d'une expérience réalisée au sol par les chercheurs de l'université d'Harvard Robert V. Pound et Glen A. Rebka. Nouvelle confirmation en 1976, lorsque la sonde Gravity Probe A, emportant à son bord une horloge atomique ultraprecise, fut envoyée dans l'espace à une altitude de 10 000 kilomètres. Les

données de l'instrument révélèrent que, pour ce dernier, le temps passait plus vite – de l'ordre de 40 microsecondes par jour au plus haut de sa trajectoire – que pour une horloge restée au sol. Cet effet a également dû être pris en compte pour les systèmes de localisation géographique de type GPS, qui se basent sur la comparaison des données temporelles fournies par les horloges atomiques embarquées par une constellation de satellites. Le GPS constitue ainsi non seulement une validation, mais aussi, à ce jour, une des seules applications « grand public » de la théorie de la relativité générale.

Pharao, une horloge ultraprecise

Toutefois, pour les physiciens, la moindre déviation par rapport aux prédictions d'Einstein pouvant ouvrir la voie vers une nouvelle physique, il

est important de repousser le plus loin possible la précision des mesures. C'est dans ce but qu'en février 2017 l'horloge atomique Pharao sera installée à bord de la Station spatiale internationale (ISS), à 400 kilomètres d'altitude. Élément central de l'expérience ACES (pour Atomic Clock Ensemble in Space), elle permettra de vérifier le décalage gravitationnel avec une incertitude cinquante fois plus faible que celle de Gravity Probe A. « Ce sera la première fois qu'une horloge aussi précise sera mise en orbite », se félicite Peter Wolf, responsable de l'analyse des données d'ACES au laboratoire Syrte (Systèmes de référence temps-espace)¹, qui a participé à la conception de Pharao.

Le secret d'une telle exactitude ? Comme toutes les horloges atomiques, Pharao mesure le temps en fonction ...



Vue d'artiste de l'horloge atomique Pharao, qui sera installée à bord de la Station spatiale internationale en 2017. Elle permettra de tester avec une précision inégalée les fondements de la théorie de la relativité générale.

1. Unité CNRS/Observatoire de Paris/UPMC.



“Avec Pharao, ce sera la première fois qu’une horloge atomique aussi précise sera mise en orbite.”

... de l’excitation des atomes, dont l’oscillation équivaut au tic-tac de la trotteuse d’une montre. Mais ici, ces derniers « sont refroidis par laser à une température proche du microkelvin, soit quasiment le zéro absolu », explique Peter Wolf. Ce faisant, « leur mouvement diminue et, lorsqu’ils ne bougent pas, on peut mieux les observer, ce qui nous donne une mesure du temps plus précise ». Ajoutez à cela un système de comparaison par radio entre l’horloge Pharao en orbite et ses jumelles situées au sol, et notre horloge « à jet froid d’atomes » sera capable de quantifier la dilatation temporelle avec une marge d’erreur d’une seconde tous les 300 millions d’années !

Un test ultime en « champ fort »

« La théorie d’Einstein est extrêmement performante dans un champ gravitationnel faible, par exemple quand on l’étudie au voisinage de la Terre », explique l’astrophysicien Guy Perrin, « mais il manque un test : en champ extrêmement fort, comme celui que l’on trouve près d’un trou noir ». Or, juste au centre de notre galaxie, à 26 000 années-lumière, on sait que réside Sagittarius A*, un trou noir supermassif de plus de 4 millions de masses solaires !

L’occasion pour Guy Perrin et son équipe du Laboratoire d’études spatiales et d’instrumentation en astrophysique (Lésia)² de confirmer la présence d’un trou noir et de mesurer ses effets en champ fort, c’est-à-dire à proximité quasi immédiate de l’objet. Vue de la Terre, la taille apparente de Sagittarius A* dans le ciel est équivalente à celle de deux pièces d’un euro posées sur la Lune. « Du coup, explique le chercheur, pour l’observer, il n’y a pas 36 solutions : on a besoin d’un instrument de très grande taille. »

Alors, comment faire ? C’est ici qu’entre en scène l’interféromètre Gravity qui, en combinant la lumière collectée par quatre télescopes du Very Large Telescope (VLT) situés dans le désert d’Atacama, au Chili, permettra dès novembre prochain de disposer de l’équivalent d’un super-télescope de 140 mètres de diamètre. Conçu et développé avec la participation du Lésia, cet instrument donnera ainsi une vision plus précise des étoiles qui gravitent autour de Sagittarius A*.

Outre le mouvement de celles-ci, Gravity mesurera aussi celui de points chauds potentiels. Ces blocs de matière, chauffés par les forces de marée exercées par le trou noir, émettent des flashes lumineux près de son horizon. « Même si la résolution ne permettra pas à Gravity de faire une cartographie de ces points chauds, explique Guy Perrin, en mesurant leur trajectoire, nous pourrons analyser la métrique de l’espace-temps dans cette zone. »

Autrement dit, la manière dont le trou noir déforme l’espace autour de lui, et donc le temps, puisque dans la théorie de la relativité générale d’Einstein, espace et temps forment un même ensemble, le continuum espace-temps.

Vers une nouvelle théorie ?

Pour étudier le ralentissement temporel dû à Sagittarius A*, les chercheurs se penchent aussi sur une autre de ses manifestations : le décalage vers le rouge (redshift) gravitationnel. Les ondes lumineuses sont en effet étirées – leur fréquence diminue – lorsqu’elles sont soumises au champ gravitationnel d’un corps massif. « Ce qui se traduit par un décalage vers le rouge découlant d’une apparente dilatation du temps, comme on l’a observé avec le rayonnement émis par des noyaux de fer dans un disque de matière attiré par un trou noir », rappelle Éricourgoulhon, du Laboratoire univers et théories (Luth)³.

« Si la théorie de la relativité générale fonctionne très bien pour décrire l’horizon du trou noir, elle rencontre ses limites dans la description de la singularité centrale, située au-delà de cet horizon, note cependant ce spécialiste du comportement de la matière en champ gravitationnel fort, médaillé d’argent du CNRS en 2012. Nous aurons donc besoin d’englober la relativité générale dans une théorie plus fine, comme la théorie des cordes ou celle de la gravitation quantique à boucles, ce que nous testerons dans les années qui viennent. » **Y. P. ET S. C.**



Vue d’artiste et cliché du télescope Chandra montrant l’emplacement du trou noir géant Sagittarius A*. L’émission de rayons X est due à l’échauffement de la matière qui accélère en « tombant » dans le trou noir.

2. Unité CNRS/Observatoire de Paris/UPMC/Univ. Paris Diderot. 3. Unité CNRS/Observatoire de Paris/Univ. Paris Diderot.

Ondes gravitationnelles

en vue ?

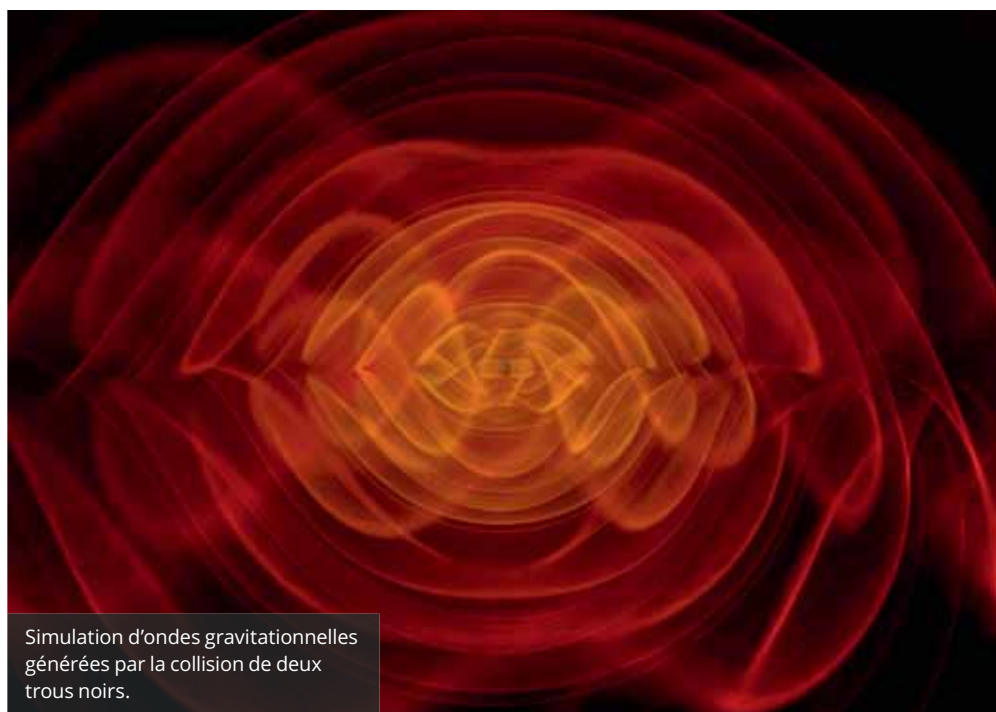
La théorie de la relativité générale prédit l'existence de déformations du tissu de l'espace-temps : des ondes gravitationnelles que les scientifiques espèrent bientôt pouvoir observer.



La chasse aux ondes gravitationnelles est ouverte », lance Catherine Nary Man, de l'Observatoire de la Côte d'Azur. En septembre dernier, le projet Advanced Ligo, implanté aux États-Unis, a effectué ses premières mesures. Son homologue européen, Advanced Virgo, le rejoindra dans cette tâche au printemps prochain. Objectif : effectuer la première détection directe d'ondes gravitationnelles, des déformations de la structure de l'espace-temps dues à des corps massifs et qui se propagent dans l'Univers à la manière des ondes à la surface d'un étang.

Des ondes prédites par Einstein

Ce phénomène a été prédit par Albert Einstein peu après qu'il a formulé la théorie de la relativité générale. Celle-ci stipule que les objets courbent l'espace-temps selon leur masse. Un corps massif en rotation entraîne une propagation de cette courbure tout comme le jet d'un caillou dans un étang provoque la formation d'une onde qui s'étend peu à peu. « Dans un étang, l'amplitude et la fréquence de l'onde créée dépend de la taille du caillou, explique Pierre Binétruy, du laboratoire Astroparticule et cosmologie⁴, à Paris. De même, les caractéristiques des ondes gravitationnelles dépendent en partie de la masse des objets qui les provoquent. » Théoriquement, nous-même, lorsque nous nous mettons en mouvement, devrions générer des ondes gravitationnelles, mais d'une amplitude si ridicule qu'il est illusoire de la mesurer.



Simulation d'ondes gravitationnelles générées par la collision de deux trous noirs.

Pratiquement inobservables, ces phénomènes sont longtemps restés spéculatifs et ont fait l'objet de controverses. En fait, seuls les processus les plus violents de l'Univers sont susceptibles de générer des ondes gravitationnelles observables : des explosions de supernovæ, des systèmes binaires – étoiles à neutrons, trous noirs, etc. – tournent très rapidement l'un autour de l'autre, l'un finissant par s'effondrer sur son compagnon. Enfin, on pense que des ondes gravitationnelles primordiales auraient été émises pendant la phase d'expansion rapide de l'Univers, l'inflation, qui se serait déroulée juste après le Big Bang.

« La détection des ondes gravitationnelles est un défi difficile pour les scientifiques », précise Benoît Mours, du Laboratoire d'Annecy-le-Vieux de

physique des particules⁵. La fausse alerte de l'expérience BICEP 2 est là pour le rappeler. En 2014, les scientifiques de cette expérience réalisée au pôle Sud annoncent l'observation des ondes gravitationnelles primordiales. Cependant, ces mesures effectuées à partir du rayonnement fossile étaient en fait largement brouillées par le bruit causé par les poussières galactiques.

Une détection indirecte dès 1970

Néanmoins, les chercheurs restent quasi certains de l'existence des ondes gravitationnelles. En effet, dans les années 1970, Russell Hulse et Joseph Taylor ont étudié un système binaire d'étoiles à neutrons dont l'une d'entre elles est un pulsar, c'est-à-dire qu'elle émet à intervalle régulier un faisceau d'ondes radio. Ils constatent que la fréquence de ...



Vue aérienne de l'une des branches de l'interféromètre de l'expérience Virgo.

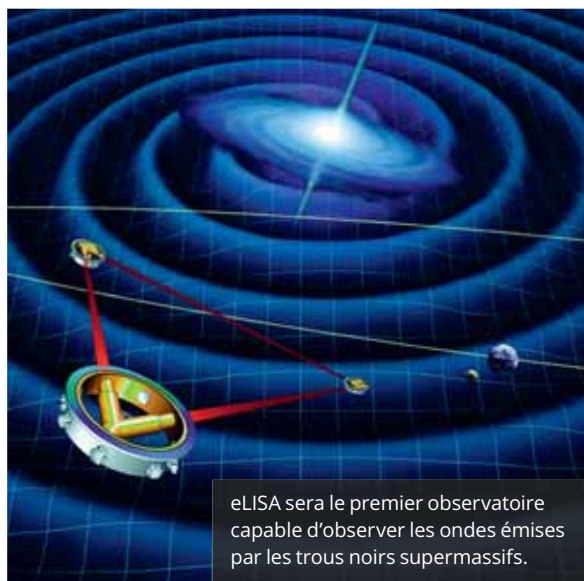
© EGO-VIRGO/IN2P3/CNRS PHOTO THÉRIQUE

... rotation de ce système double augmente, signe d'une perte d'énergie. « *Leurs observations coïncident parfaitement avec les calculs théoriques réalisés à partir de l'hypothèse d'une perte d'énergie par rayonnement gravitationnel*, commente Pierre Binétruy. *Suffisamment pour que cela constitue une preuve.* » Cette découverte a valu le prix Nobel de physique à Hulse et à Taylor en 1993.

Des instruments surpuissants

C'est à cette époque que la conception des détecteurs Virgo et Ligo a démarré pour observer plus directement les déformations de l'espace-temps causées par les ondes gravitationnelles. À l'échelle d'un mètre, cette déformation se traduit par une variation de distance d'un millième de milliardième de milliardième de mètre ! Virgo et Ligo sont de gigantesques interféromètres conçus pour mesurer ces écarts minuscules.

Le principe consiste à séparer un faisceau laser en deux parties dans deux directions perpendiculaires, les « bras » de l'interféromètre. Chaque moitié de faisceau parcourt un trajet de 3 kilomètres (ou 4 dans le cas de Ligo) avant d'être réfléchi par un miroir. Au retour, les faisceaux sont recombinaés et forment une figure d'interférences dont le motif dépend de la longueur relative des bras. Ainsi, une onde gravitationnelle qui perturberait cette distance pourrait être détectée. « *La difficulté est que le*



eLISA sera le premier observatoire capable d'observer les ondes émises par les trous noirs supermassifs.

© ESA

“*La difficulté est que le signal est tellement faible que tout peut le polluer.*”

signal est tellement faible que tout peut le polluer », affirme Catherine Nary Nan. En particulier le bruit sismique, dû aux vibrations déclenchées par les tremblements de Terre mais aussi les phénomènes météo et les activités humaines.

Après une première génération d'instruments, la sensibilité a été boostée dans les versions « advanced »

de Virgo et Ligo. L'instrument européen, construit près de Pise en Italie pourra ainsi « écouter » un volume d'Univers mille fois plus grand, ce qui augmentera le nombre d'ondes gravitationnelles observables. La coopération avec les deux instruments du projet américain permettra de localiser précisément une source dans l'espace.

Une fenêtre inédite sur l'Univers

Les deux motivations principales de cette traque aux ondes gravitationnelles résident d'abord dans la possibilité de tester la théorie de la relativité générale en « champ fort », c'est-à-dire avec des objets de masse extrême, ce qui est difficile à réaliser actuellement. Ensuite, il s'agit d'ouvrir une nouvelle fenêtre à l'observation du ciel, celle de l'astronomie gravitationnelle.

Cependant, toutes les ondes gravitationnelles, par exemple celles en provenance des systèmes de trous noirs supermassifs, ne seront pas observables par Virgo et Ligo. Leur signal, de fréquence inférieure au Hertz, sera noyé dans le bruit sismique. Pour pallier cet obstacle, un projet spatial est étudié : eLISA. Trois satellites formeront un interféromètre, identique sur le principe aux instruments terrestres, mais les « bras » pourront alors atteindre des millions de kilomètres afin d'améliorer la sensibilité de la détection. « *Le plus dur est de s'assurer que les variations de distance que l'on mesurera seront dues à la gravitation et à aucune autre force, électrostatique par exemple* », détaille Pierre Binétruy.

La solution trouvée par les scientifiques sera testée prochainement avec le satellite LISA Pathfinder. Si le succès est au rendez-vous, la voie sera ouverte pour eLISA, qui ne sera pas lancée avant 2030. En attendant, les chercheurs sont optimistes et pensent que Virgo et Ligo détecteront leurs premières ondes gravitationnelles dans les années qui viennent. **II S. G.**

Le principe d'équivalence à l'épreuve

É

février 1971, sur la Lune. L'astronaute américain David Scott lâche en même temps une plume et un marteau : ils atteignent le sol lunaire en même temps. Un hommage à la mythique expérience de Galilée... qui n'a probablement jamais eu lieu ! Retour au XVII^e siècle, en Italie. Du haut de la tour de Pise, le savant italien aurait lâché en même temps une boule de plomb et une boule de bois : toutes deux auraient touché le sol au même moment. Galilée en aurait déduit que dans le vide, tous les corps tombent avec la même accélération, quelle que soit leur masse ou leur composition. Un résultat pour le moins contre-intuitif...

Cette universalité de la chute libre postule en fait l'équivalence entre deux types de masses : la masse grave, qui détermine la sensibilité d'un corps à l'attraction de la gravité, et la masse inerte, qui détermine le degré de résistance d'un corps à une modification de son mouvement. Ainsi, le rapport entre ces deux masses serait toujours le même. Voilà pourquoi tous les corps soumis à un même champ gravitationnel chutent à la même vitesse dans le vide.

Des implications gigantesques

Développée par Isaac Newton dans le cadre de sa théorie de la gravitation en 1686, cette observation sera ensuite érigée en principe par Albert Einstein. En 1915, il en fait même le fondement de sa théorie de la relativité générale qui va révolutionner la physique. Les implications de ce principe d'équivalence sont en effet gigantesques. Tout d'abord, il accrédite l'idée qu'une accélération peut mimer un

Pilier de la théorie de la relativité générale, le principe d'équivalence postule que tous les corps tombent de la même façon. Jusqu'ici, aucune expérimentation n'est parvenue à le mettre en défaut. Mais les physiciens n'ont pas dit leur dernier mot...

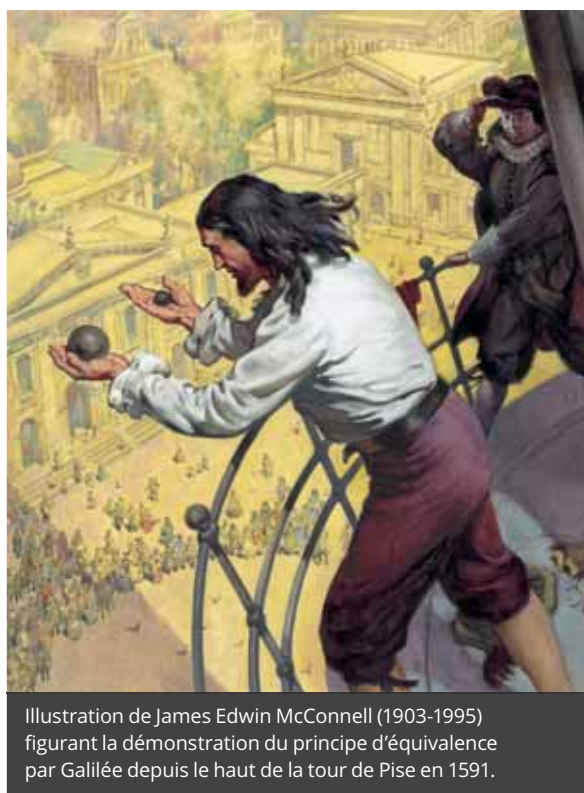


Illustration de James Edwin McConnell (1903-1995) figurant la démonstration du principe d'équivalence par Galilée depuis le haut de la tour de Pise en 1591.

champ de gravitation. Pour l'illustrer, Einstein utilisera l'image d'une grande boîte ou d'une chambre sans fenêtre placée dans l'espace, en dehors de tout champ de gravitation, et subissant une accélération égale à celle de la pesanteur. Son occupant se retrouve alors collé au plancher de la chambre. En l'absence de repère visuel extérieur, il est alors incapable de dire s'il se trouve dans le champ de gravité de la Terre, ou s'il est soumis à une accélération. Et s'il laisse tomber des objets, il les verra suivre exactement la même trajectoire que s'il était dans sa chambre sur Terre.

« Du principe d'équivalence découlera la théorie de la relativité générale selon laquelle la gravitation n'est plus une force qui s'exerce depuis un objet vers un autre, mais une déformation de la structure même de l'espace-temps ! », complète Thibault Damour, physicien théoricien, membre de l'Académie des sciences et professeur à l'Institut des hautes études scientifiques.

Un principe largement validé

Au fil des siècles, nombre d'expériences ont vérifié ce principe d'équivalence. Galilée l'aurait en fait d'abord déduit en chronométrant des boules chutant le long de plans inclinés... Mais, dès 1687, Newton le vérifie en observant que des pendules de même longueur dotés de boules en matériaux différents se balancent bien au même rythme, avec une précision de trois chiffres après la virgule. En 1889, à l'aide de pendules plus sophistiquées (pendules de torsion), le physicien hongrois Loránd Eötvös le confirme cette fois à huit chiffres après la virgule. « En 2008, en raffinant le principe du pendule de torsion avec du béryllium et du titane, le groupe de physiciens américains Eöt-Wash est parvenu à une précision de treize chiffres après la virgule, le record actuel ! », indique Gilles Métris, astronome au laboratoire Géozur⁶.

Alors à quoi bon poursuivre les vérifications ? Parce que, si la théorie de la relativité générale est parfaite pour décrire l'interaction gravitationnelle, elle ne l'est pas pour les trois autres interactions régissant la ...



Einstein à la plage. La relativité dans un transat, Marc Lachièze-Rey, Dunod, avril 2015, 160 p., 14,50 €

De Pythagore à Einstein, tout est nombre. La relativité générale, 25 siècles d'histoire, Nathalie Deruelle, Belin, coll. « Bibliothèque scientifique », sept. 2015, 192 p., 24 €

Sept brèves leçons de physique, Carlo Rovelli, Odile Jacob, sept. 2015, 96 p., 9,90 €

Théories de la relativité, Nathalie Deruelle et Jean-Philippe Uzan, Belin, coll. « Échelles », avril 2014, 674 p., 42 €



Einstein et la relativité générale. Une histoire singulière, film réalisé par Quentin Lazzarotto et produit en partenariat avec l'Institut Henri-Poincaré (IHP), 52 min.

Diffusion le 19 novembre, à 22 h 30, sur RMC Découverte. DVD mis à disposition gratuitement par l'IHP.

Le film sera diffusé en continu dans le cadre de l'exposition qui se déroule du 19 novembre au 19 février dans la bibliothèque de l'IHP, à Paris, du lundi au vendredi, de 10 heures à 18 heures. Entrée libre.

“Notre objectif est de vérifier le principe d'équivalence avec une précision de 15 chiffres après la virgule.”

... physique des particules gouvernées par la mécanique quantique et unifiées dans le fameux « modèle standard ». Or les théories actuellement développées pour tenter d'unifier ces quatre interactions – telle la théorie des cordes – prévoient toutes la violation du principe d'équivalence à un moment donné.

Des projets très ambitieux

Voilà pourquoi de nouveaux projets sont en cours. Et cette fois directement dans l'espace, grâce à des satellites en chute libre permanente loin des perturbations terrestres. Parmi eux, le microsatellite Microscope⁷ du Cnes qui sera mis en orbite à 700 kilomètres en avril 2016. « Notre objectif est de vérifier le principe d'équivalence sur deux matériaux différents – du titane et du platine – avec une précision de 15 chiffres après la virgule ! », lance Gilles Métris, co-investigateur principal de la mission.

Dans la pratique, l'expérience va en fait contraindre les deux masses à suivre exactement la même trajectoire, grâce à un double

accéléromètre électrostatique. « Ainsi, si des accélérations différentes s'avéraient nécessaires, c'est que le principe d'équivalence serait violé », indique Gilles Métris. D'un poids total avoisinant les 300 kilogrammes, le microsatellite sera équipé de micro-propulseurs à gaz froid capables de compenser les plus infimes perturbations de trajectoire qui risqueraient de fausser les résultats. « Si Microscope observe une violation du principe d'équivalence, cela renforcerait la théorie des cordes selon laquelle l'Univers possède des dimensions d'espace supplémentaires, s'enthousiasme Thibault Damour.

Cela implique en effet l'existence d'autres champs que celui de la gravitation, capables de faire varier les constantes de la physique dans le temps et l'espace, constantes qu'on ne sait absolument pas expliquer aujourd'hui. »

Mais, même si Microscope confirmait une nouvelle fois le principe d'équivalence, les physiciens n'ont pas dit leur dernier mot. En effet, d'autres projets spatiaux encore plus ambitieux sont dans les cartons. En attente d'une décision de l'Agence spatiale européenne pour 2018, la mission Stequest⁸ propose de vérifier le principe d'équivalence carrément au niveau atomique, en mettant en chute libre dans l'espace des atomes de nature différente. Aux États-Unis, un projet de mission spatiale nommé Step⁹ était aussi envisagé, visant, grâce à trois paires de matériaux différents à température cryogénique, une précision de 18 chiffres après la virgule ! De quoi mettre un point final à cette formidable épopée scientifique engagée il y a plus de 400 ans. **|| J.-P. B.**



Application du principe d'équivalence : les vols paraboliques simulent l'apesanteur quelques secondes.

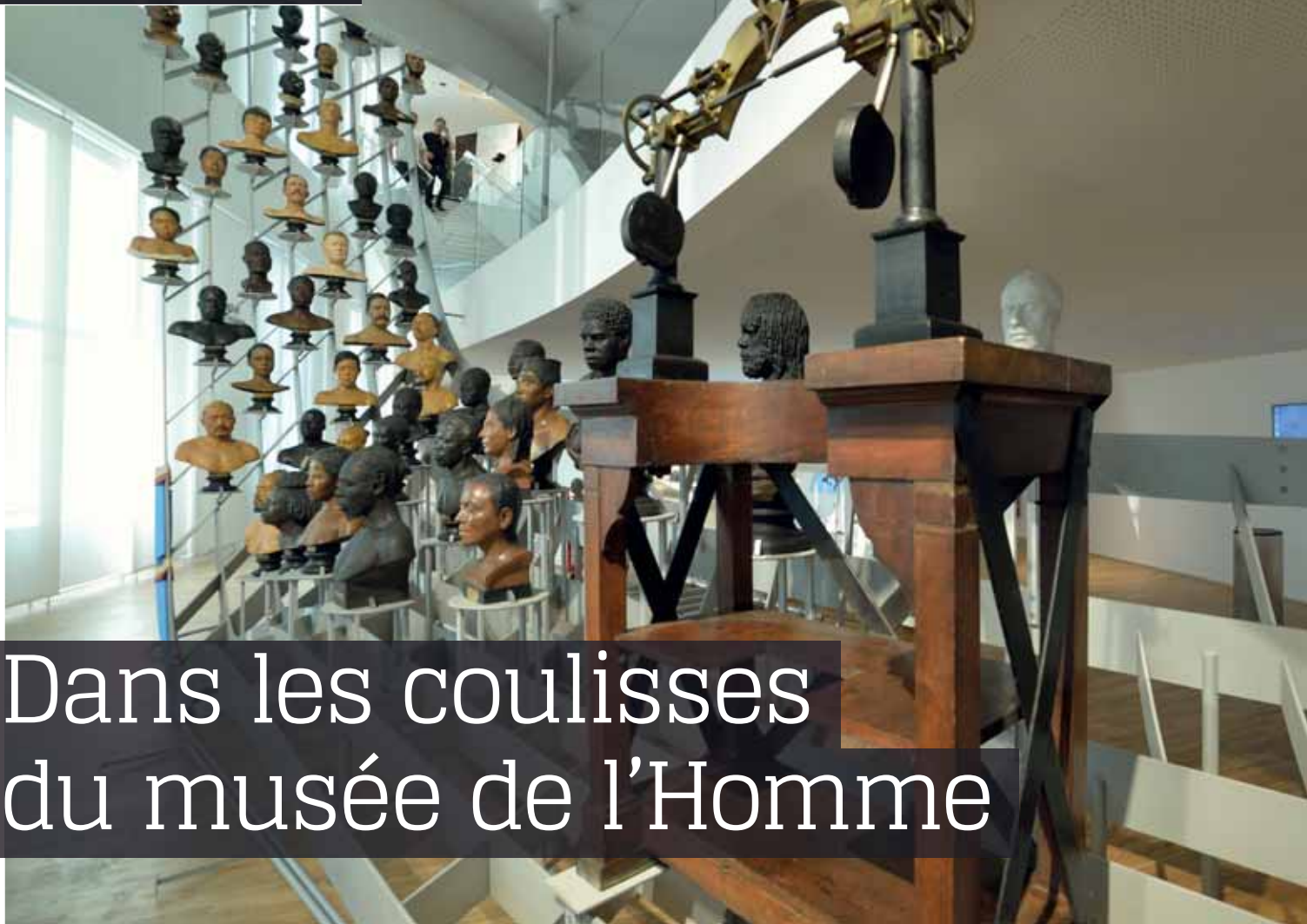
6. Unité CNRS/Observatoire de la Côte d'Azur/Unsa/UPMC/IRD. 7. Microsatellite à traînée compensée pour l'observation du principe d'équivalence. 8. Space-Time Explorer and Quantum Equivalence Principle Space Test. 9. Satellite Test of the Equivalence Principle.

EN ACTION



Après avoir visité le musée de l'Homme, étudié le Bassin méditerranéen et participé à un forum au Japon, on décrypte le langage politique et le rôle de nos gènes.

ILLUSTRATION : DAN PAGE/RAPPART.COM



Dans les coulisses du musée de l'Homme

SOCIÉTÉS



VIVANT



Événement. Le musée de l'Homme a rouvert ses portes le 17 octobre après six ans de travaux. Unique en son genre, ce musée-laboratoire héberge 150 chercheurs qui viendront régulièrement à la rencontre du public.

PAR LAURE CAILLOCE



Vue sur la tour Eiffel, 16 000 mètres carrés orientés sud... L'adresse parisienne de Néandertal et de Cro-Magnon ferait tourner la tête de plus d'un agent immobilier. Après six années de travaux et un investissement de 92 millions d'euros, le musée de l'Homme a enfin réintégré l'aile ouest du palais de Chaillot et ouvert ses portes au public le 17 octobre. Si la localisation de cette institution sous tutelle du Muséum national d'Histoire naturelle (MNHN) n'a pas changé, le propos, lui, a été largement revisité. « *Ce musée créé en 1938 par l'ethnologue Paul Rivet n'avait quasiment pas évolué, rappelle Évelyne Heyer, la commissaire scientifique qui a suivi toute la rénovation¹. Or les sciences de l'Homme ont connu de vrais bouleversements, avec la génétique et les nouvelles méthodes de datation, notamment.* » Le transfert, en 2002, des collections d'ethnologie exposées au musée de l'Homme vers le musée du quai Branly n'a fait que confirmer la nécessité d'un profond relifing.

► Le célèbre crâne de Cro-Magnon dit « le vieillard » est l'une des pièces phares du musée.

Un musée entièrement repensé

C'est donc un musée totalement neuf qui se donne aujourd'hui à voir. Déclinée en trois volets, « Qui sommes-nous ? », « D'où venons-nous ? », « Où allons-nous ? », l'exposition permanente propose d'explorer l'Homme à travers

1. Évelyne Heyer est spécialiste d'anthropologie génétique et professeur au Muséum national d'Histoire naturelle au sein du département Hommes, natures, sociétés. 2. Unité CNRS/MNHN. 3. Unités Écoanthropologie et ethnobiologie (CNRS/MNHN) et Patrimoines locaux (CNRS/IRD).



© PHOTOS : J.-C. DOMENECH/MNHN

▼ Cette rampe de bustes en cire témoigne à la fois de l'unité et de la diversité du genre humain.

▲ Particularité du musée : les chercheurs qui travaillent sur place et que le public pourra rencontrer dans un espace dédié, le Balcon des sciences.

toutes ses facettes : biologique, mais aussi culturelle et sociale. Qu'est-ce qui fait l'Homme, qu'est-ce qui le différencie ou au contraire le rapproche des autres espèces, comment se donne à voir la diversité du genre *Homo* dans le temps comme dans l'espace ? *« S'il aborde évidemment la question de nos origines, le musée de l'Homme n'est pas un musée de la Préhistoire, insiste Évelyne Heyer. Le propos est beaucoup plus large et consacre ainsi une large place au rapport de l'Homme moderne à son environnement et à l'impact de la globalisation sur les sociétés. »*

Cette approche résolument interdisciplinaire n'est pas une coquetterie de muséographe : *« Elle reflète avant tout l'activité des 150 chercheurs, préhistoriens, anthropologues, ethnologues ou encore généticiens qui travaillent dans les coulisses de ce musée et qui ont directement contribué à bâtir le propos scientifique des espaces ouverts aux visiteurs, explique Bruno David, le nouveau président du MNHN (lire p. 12). Nous voulons établir*

un lien très fort entre les missions de diffusion et de recherche de cet établissement. » Car le musée de l'Homme n'est pas un musée comme les autres : fidèle au concept de musée-laboratoire voulu par Paul Rivet, il accueille dans ses locaux le Centre de recherche sur l'évolution de l'Homme et des sociétés, organisé en deux départements – Histoire naturelle de l'Homme préhistorique² et Hommes, natures, sociétés³, tous deux liés au CNRS – auxquels ont été rattachés un tout nouveau centre de génétique humaine ainsi que l'équipe de primatologie jusque-là hébergée au Muséum national d'Histoire naturelle. *« Faire entrer la primatologie au musée de l'Homme envoie un message fort sur le fait que l'Homme est dans le vivant, signale Évelyne Heyer. Autrefois, on faisait une distinction forte entre primates non humains et primates humains, mais aujourd'hui on se rend compte que la frontière entre les deux est de plus en plus floue. »*

Dans leurs locaux flambant neufs, où ils ont emménagé dès décembre 2014, les chercheurs profitent d'une bibliothèque de recherche, d'un accès aux collections – 700 000 objets de la Préhistoire, 30 000 spécimens et représentations du corps humain témoignant de la diversité des Hommes modernes, 6 000 objets illustrant l'appropriation de la nature par les sociétés humaines –, mais aussi et surtout de quatre plateaux techniques dernier cri. Un plateau « imagerie et modélisation 2D/3D », doté (entre autres) d'un scanner surfacique 3D et d'un équipement

“Le cliché d'une évolution linéaire menant des grands singes à l'Homme moderne a vécu.”

photogrammétrique, leur permettra d'archiver les fossiles, de les comparer plus facilement et surtout de les manipuler sans risque. Le plateau « paléogénomique et génétique moléculaire humaine », équipé d'un amplificateur d'ADN, offre la possibilité d'analyser aussi bien l'ADN ancien prélevé sur les fossiles que les échantillons rapportés du terrain par les anthropologues et les ethnologues. Le plateau « datation et caractérisation des matériaux » (faune et flore fossiles, outils en pierre...) comprend notamment une salle de datation à l'uranium-thorium permettant de remonter le temps jusqu'à 600 000 ans et une salle blindée destinée à étudier l'enregistrement du champ magnétique terrestre fixé dans les objets et les sédiments archéologiques... Enfin, le plateau « audiovisuel » ambitionne d'exploiter les milliers d'enregistrements et de films rapportés du terrain par les chercheurs ou issus des collections du musée.

Un parcours, trois questions

Pour l'heure, tous, du paléoanthropologue (qui étudie les fossiles humains) à l'ethnoécologue (qui explore les relations des sociétés humaines à leur environnement) en passant par le paléoclimatologue ou le géologue (qui s'intéressent aux milieux dans lesquels l'Homme évolue), sont tendus vers une même perspective : voir comment les visiteurs vont réagir aux espaces qu'ils ont conçus pour eux, en collaboration avec l'équipe muséographique du musée.

Volontairement située en début de parcours, la première interrogation, « Qui sommes-nous ? », interpelle directement le visiteur. *« C'est tout de même le seul musée dont nous sommes aussi l'objet ! »,* remarque Évelyne Heyer. Cires anatomiques, crânes, objets tirés des très riches collections ...



© P. TOURNÉBEL/MNHN



► Cette yourte figure à la fois l'habitat mongol et sa version pour touristes occidentaux.

... du musée permettent d'envisager l'Homme dans ce qui le définit : la pensée, la vie en société, le langage ou encore le corps... « *Le corps humain n'est jamais nu*, commente Marie Merlin, chef de projet au sein de l'équipe muséographique du musée. *Tatouages, parures ou déformations volontaires servent à le magnifier en fonction des époques et des cultures.* » Ainsi, ce moulage du crâne (volontairement allongé de la mathématicienne Sophie Germain pointe sur une tradition qui a perduré en France jusqu'au début du XIX^e siècle. Le langage, autre particularité de l'Homme, est lui envisagé de façon résolument ludique : une gigantesque langue en résine dans laquelle le visiteur est invité à pénétrer permet de découvrir les techniques de chant de dizaines de populations à travers le monde, tandis qu'un immense planisphère interactif permet d'écouter une trentaine d'idiomes parlés sur la planète parmi les 7 000 aujourd'hui recensés.

Deuxième volet de l'exposition permanente, « *D'où venons-nous ?* » retrace l'histoire de nos origines à la lumière des dernières découvertes scientifiques. « *Le cliché d'une évolution linéaire menant des grands singes à l'Homme moderne a vécu*, rappelle Évelyne Heyer. *Nous montrons au contraire que cette évolution est buissonnante et a vu coexister plusieurs espèces d'Hommes en même temps.* » Pour illustrer ce foisonnement d'espèces, des fossiles de nos grands ancêtres sont présentés, comme celui de Toumai, le premier prétendant à la lignée humaine, ou de Lucy, jeune australopithèque découverte par Yves Coppens

en 1974. « *Nous avons fait le choix de replacer ces fossiles dans leur environnement, entourés d'outils fabriqués à l'époque* », raconte Marie Merlin. Pour la toute première fois, les originaux des crânes éponymes de Néandertal et de Cro-Magnon sont présentés au public, dans l'« abri des ancêtres ». Trésor du paléolithique supérieur, l'original de la Vénus de Lespugue, cette célèbre statuette féminine en ivoire de mammouth, est également exposée aux côtés de la Vénus impudique ou des « bâtons percés ».

« *Où allons-nous ?* », dernière partie du musée, interroge le devenir de l'humain et de sa planète. Quelle empreinte laissons-nous sur l'environnement, avec la surpêche, la déforestation, le réchauffement climatique... ? La question de la globalisation y est également abordée sous l'angle de l'ethnologie – ou comment, partout sur le globe, les populations se réapproprient les objets de la mondialisation. Exemple avec cet ensemble de plats en vannerie traditionnelle sahraouie faits à partir de... plastique recyclé, ou cette véritable yourte mongole séparée en deux univers distincts : d'un côté, l'habitat traditionnel mongol, de l'autre, le nouvel hébergement à la mode pour Occidentaux en quête d'authenticité.

Véritable innovation du musée de l'Homme version 2015, le Balcon des sciences fait le lien entre les espaces muséographiques et les chercheurs qui travaillent en coulisses. Cet espace qui propose au public de découvrir les dernières actualités des sciences de l'Homme et les méthodes de travail des scientifiques accueillera toutes les semaines un chercheur pour répondre aux interrogations des visiteurs. On est un musée-laboratoire ou on ne l'est pas ! II

► Buste de la mathématicienne Sophie Germain dont le crâne a été déformé volontairement.



EN BREF

LE STATUT DU CNRS ÉVOLUE

Le 18 septembre, un décret sur l'organisation et le fonctionnement du CNRS est paru au *Journal officiel*. Celui-ci conforte l'organisme dans ses missions nationales, enrichit sa mission en matière d'information scientifique et technique et affirme son rôle d'expertise et d'évaluation. Une nouvelle compétence est aussi confiée à l'organisme en matière d'achat. Pour en savoir plus, lire l'entretien avec Nicolas Castoldi réalisé par *CNRS Hebdo* : >> <http://bit.ly/1RoFJND>

L'ÉTAT DE LA SCIENCE

Le rapport de conjoncture 2014 du Comité national de la recherche scientifique vient d'être publié par CNRS Éditions. Rédigé par 900 membres du comité, cette analyse de la conjoncture scientifique est pour la première fois accessible à tous sur un site dédié : >> <http://rapports-du-comite-national.cnrs.fr>

TESTER LES ÉNERGIES MARINES

Le 25 août a été inauguré SEM-REV, premier site au monde d'essai en mer pour les énergies marines renouvelables, raccordé au réseau électrique. Situé au large du Croisic et piloté par Centrale Nantes et le CNRS, il doit permettre de mettre au point et tester des démonstrateurs et prototypes tels que des éoliennes offshore ou des démonstrateurs houlomoteurs.

NUMÉRIQUE

Un cryptage révolutionnaire pour sécuriser le cloud

PAR JULIEN BOURDET

Omniprésent sur Internet, le chiffrement de données permet de transmettre des informations de façon sécurisée. Mais, lorsqu'il s'agit d'analyser les données stockées sur le **cloud**, les méthodes de cryptographie conventionnelles ne sont plus adaptées. Certes, vous pouvez chiffrer les données avant de les envoyer sur le serveur. Mais vous ne pouvez rien en faire (retoucher les photos, faire des calculs...) sans les décrypter, ce qui les rend visibles par des tiers non autorisés (hébergeur, pirate informatique...).

Une nouvelle forme de cryptage promet désormais de remédier à ce problème : la cryptographie homomorphe. « C'est un peu l'équivalent de la chambre noire du photographe, explique David Pointcheval, responsable de l'équipe de cryptographie du Département d'informatique de l'École normale supérieure¹, à Paris. *Le cloud travaille à l'aveugle sur les données que vous avez chiffrées avant de vous retourner le résultat final dont vous seul possédez la clé de déchiffrement.* »

Calculer sans avoir à décrypter

Il y a peu de temps, ce tour de passe-passe était jugé impossible. Mais, en 2009, l'Américain Craig Gentry invente la première méthode de cryptographie dite totalement homomorphe. « Jusqu'ici, les méthodes de

CLOUD

Service où les données informatiques manipulées sont stockées sur le réseau.

cryptographie permettaient d'effectuer soit des additions soit des multiplications sur les données chiffrées, mais jamais les deux opérations à la fois », précise David Pointcheval. C'est cette prouesse qu'a réalisée Craig Gentry.



© KTSDESIGN/FOCALIA

Bientôt des applications ?

Les algorithmes de cryptographie homomorphe restent cependant très difficiles à mettre en œuvre. La raison ? Lors du chiffrement des données, celles-ci subissent une énorme inflation : un seul bit du message à coder se transforme en plusieurs millions de bits. Résultat, là où plusieurs millions d'opérations élémentaires peuvent être effectuées par seconde sur les données brutes, on ne peut réaliser que quelques opérations par seconde sur les données chiffrées.

Mais les scientifiques mettent régulièrement au point de nouveaux

schémas de codage qui permettent d'améliorer l'efficacité de la cryptographie homomorphe. Un seul exemple : au lieu de chiffrer un seul bit à la fois, on regroupe plusieurs bits afin de les manipuler simultanément, ce qui permet de réduire la quantité d'information à traiter. Grâce à ce procédé, et bien d'autres, de multiples applications pourraient bientôt voir le jour. Au-delà de la protection des données, on peut imaginer offrir plus d'anonymat aux internautes. On pourrait ainsi faire une recherche sur Google et recevoir les réponses sans que le moteur de recherche ne sache quel était l'objet de la requête !

Une autre idée consisterait à construire une barrière de confidentialité entre les publicitaires et les consommateurs. Un service fondé sur la cryptographie homomorphe permettrait de cibler les individus tout en s'assurant que les publicitaires ne connaissent rien de ces personnes. Même chose pour nos données médicales. On pourrait demander un examen de ces informations sans rien dévoiler de leur contenu. Le rêve d'un futur où notre vie privée serait totalement préservée se rapproche un peu plus. II



Lire l'intégralité de l'article sur lejournal.cnrs.fr

1. Unité CNRS/ENS/Inria.

START UP CONNEXION

ÉDITION #2

Les rencontres investisseurs
et chercheurs-entrepreneurs

CANDIDATEZ

DU 19/10/2015
AU 16/01/2016

www.rue-aef.com/SC2016

Rendez-vous aux RUE
Salon de l'Enseignement supérieur et de la Recherche

LE 25 MARS 2016

PALAIS DES CONGRÈS • PARIS

La Méditerranée scrutée par les scientifiques

La Méditerranée est un milieu fragile qui subit de plein fouet les pollutions atmosphériques, les rejets d'origine anthropique ou encore les effets du changement climatique. Depuis 2010, elle fait l'objet d'un vaste programme d'étude pluridisciplinaire, Mistrals. Coordonné par le CNRS, il réunit un millier de chercheurs de 26 pays différents. Un grand colloque s'est tenu à Marseille du 20 au 22 octobre afin de faire un point à mi-parcours sur ces recherches prévues jusqu'en 2020. *CNRS Le journal* vous en livre les premiers résultats.

PAR LAURE CAILLOCE



» www.mistrals-home.org

Des aérosols très présents

Les aérosols, ces microparticules solides ou liquides en suspension dans l'air, se retrouvent en grandes quantités dans l'atmosphère méditerranéenne. Ils ont pour effet d'amplifier les phénomènes climatiques extrêmes de la région, renforçant l'intensité des canicules et diminuant les précipitations.

Des pollutions qui viennent de loin

Située à la croisée de plusieurs routes météorologiques, la Méditerranée pâtit de l'influence des sources de pollution qui la bordent : Europe au nord et Sahara au sud. Mais les chercheurs ont découvert qu'elle est aussi sous l'influence de sources bien plus lointaines : l'Amérique du Nord à l'ouest et l'Asie à l'est. Dans ce dernier cas, c'est la mousson asiatique qui ouvre une véritable passerelle météorologique aux polluants – gaz à effet de serre, polluants gazeux et aérosols – entre l'Inde et la Méditerranée orientale.

► Instruments pour la caractérisation de la pollution et de ses impacts, station d'Ersa, en Corse.



© G. ROBERTS

Des écosystèmes côtiers perturbés

La Méditerranée est une mer semi-fermée particulièrement sensible aux activités humaines (urbanisation, tourisme, trafic maritime...). L'observation systématique de 22 paramètres physico-chimiques et de plus de 1 000 espèces biologiques a permis de construire un indice de perturbation des

écosystèmes dans tout le Bassin méditerranéen. Résultat : les zones où les écosystèmes marins sont les plus exposés sont les côtes catalanes, le golfe du Lion, la mer Adriatique, la mer Égée, les côtes égyptiennes, le golfe de Gabès et la côte algéro-tunisienne. Les zones de haute mer sont moins touchées.

▼ Système de prélèvement d'eau de mer, appelé rosette.

© X. DURRIEU DE MADRON/MERIMEX

Un réchauffement perceptible

Les projections climatiques régionales réalisées montrent que les événements intenses de type crues ou canicules augmentent en fréquence et en intensité avec le réchauffement climatique – de l'ordre de quelques pourcents par degré de réchauffement. Elles confirment l'apparition de périodes sèches plus longues et de vagues de chaleur plus intenses.

Les climats du passé décryptés

Les carottages effectués dans les dépôts sédimentaires indiquent que la température des eaux de surface en Méditerranée a régulièrement diminué au cours des derniers siècles et que ce refroidissement s'est interrompu au début de l'ère industrielle. Depuis, les températures montrent une forte augmentation, au-delà des valeurs de l'optimum médiéval (1 000-1 300 apr. J.-C.). Autre phénomène intéressant : depuis plus de 3 000 ans, chaque fois qu'un épisode de sécheresse extrême s'est produit, des bouleversements politiques majeurs ont eu lieu. Or les sécheresses actuelles sont plus intenses que tous ces épisodes passés...

▲ Reconstitution de crues des derniers millénaires à partir de l'étude de dépôts sédimentaires.



© L. DEZILEAU/PALÉOMEX

Des crues et pluies intenses qui s'expliquent

En observant les fortes précipitations et les crues rapides en Méditerranée nord-orientale, mais aussi la réponse de la mer au mistral et à la tramontane, les chercheurs ont mis en évidence le rôle clé des massifs montagneux de l'arc méditerranéen (Alpes, Massif central...) et des îles dans la formation des pluies intenses. Ces travaux pourraient permettre d'améliorer les modèles de prévision du temps et du climat, voire de mieux anticiper les épisodes cévenols comme ceux qui ont frappé récemment le Sud de la France.

© CINES/STRATHEM VITO, 2010

L'incroyable mécanique des fluides humains

VIVANT  MATIÈRE 

Santé. Pour prédire l'évolution des maladies vasculaires, guider le geste du chirurgien ou détecter le paludisme, les médecins se tournent aujourd'hui vers les physiciens spécialistes de l'écoulement des fluides.

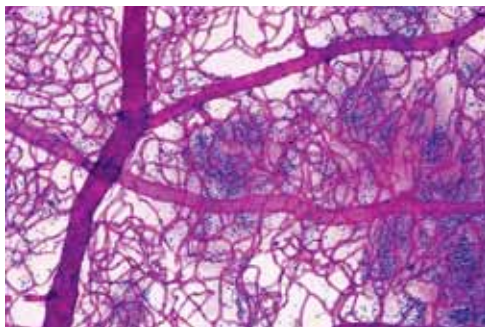
PAR JULIEN BOURDET

Pour mieux comprendre le fonctionnement du corps humain, il faut être capable de représenter les organes qui le composent, mais aussi les fluides qui le parcourent. C'est pourquoi les physiciens prêtent aujourd'hui main-forte aux médecins. Grâce à la mécanique des fluides, ils modélisent la manière dont les fluides biologiques s'écoulent dans le réseau sanguin et les voies aériennes. Avec, à la clé, la possibilité d'améliorer les diagnostics médicaux et d'adapter les traitements.

Dépister les risques d'athérosclérose

Considérer les poumons et le système vasculaire comme des objets régis par la mécanique des fluides, voilà une idée loin d'être évidente il y a encore quinze ans. Mais aujourd'hui, de plus en plus de médecins comprennent les bénéfices qu'ils peuvent tirer de cette approche. Un exemple révélateur : l'athérosclérose. Cette maladie vasculaire se caractérise par le dépôt d'une plaque composée essentiellement de graisses sous la paroi interne d'une artère.

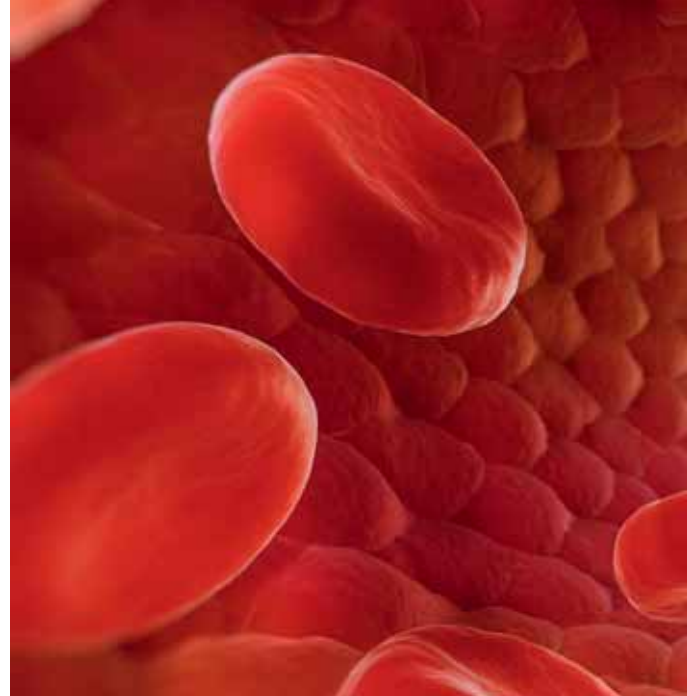
Grâce aux simulations numériques et aux maquettes du réseau sanguin réalisées par les physiciens, on sait maintenant que le développement de ce trouble est lié en grande partie aux contraintes mécaniques qui s'exercent sur les parois des artères. « En aval d'une bifurcation du réseau sanguin, le flux ralentit, explique Gwennou Coupier, du Laboratoire interdisciplinaire de physique¹, à Saint-Martin-d'Hères. Résultat : certaines cellules, les globules blancs en particulier, qui ne sont pas emportées par le courant à cet endroit, pénètrent dans la paroi de l'artère, favorisant ainsi la croissance d'une plaque, à l'origine de la maladie. » Forts de ce constat, les médecins peuvent désormais élaborer un diagnostic précoce de cette affection pour des sujets à risque. À partir de la



© DOCTOCH/AGE/BSIP

▼ Les chercheurs modélisent la manière dont les fluides s'écoulent dans le réseau sanguin et les voies aériennes.

► Réseau des capillaires de l'œil. Les globules rouges doivent se déformer pour circuler dans ces vaisseaux parfois deux fois plus petits qu'eux.



morphologie de leurs vaisseaux reconstituée par IRM, on simule l'écoulement sanguin dans ce réseau. Et on peut alors définir les zones à surveiller en priorité.

La modélisation peut aussi guider les chirurgiens. « Aujourd'hui, dans le cas de l'athérosclérose, on décide d'opérer un patient selon des critères moyens de taux d'obstruction des artères, précise Gwennou Coupier. Or, en mesurant précisément la contrainte mécanique qui s'exerce sur la paroi de l'artère touchée, on dispose d'un critère plus fin pour prendre la bonne décision. » Les modèles servent aussi à orienter le chirurgien dans le choix des différentes techniques possibles.

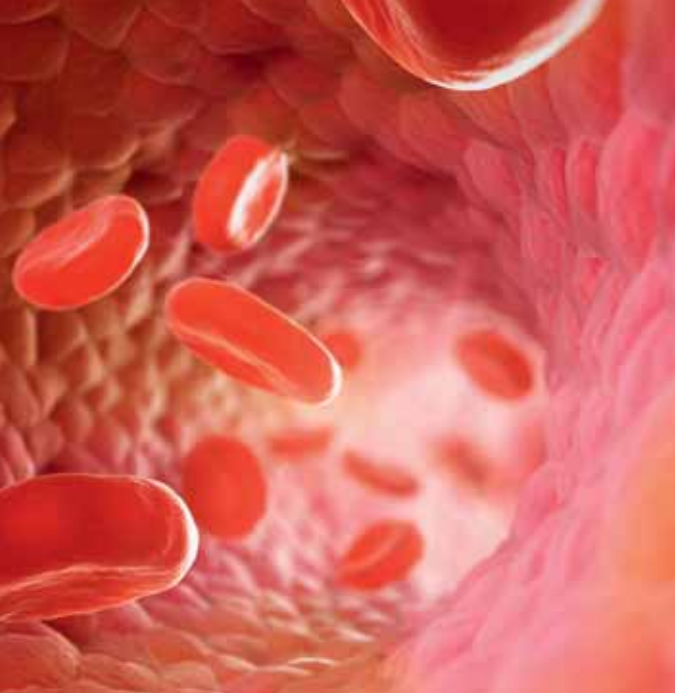
Bien d'autres pathologies peuvent être traitées par cette approche biomécanique : les sténoses, ces rétrécissements inhabituels de vaisseaux, ou encore les anévrismes, ces dilatations anormales de la paroi d'une artère. Objectif des physiciens dans ce dernier cas : évaluer la répartition des pressions et la résistance des parois pour situer le point faible et tenter de prédire où et quand l'anévrisme va céder. Une fois le diagnostic posé, les calculs permettent là encore de planifier le geste chirurgical.

Dans leur quête d'une description complète des écoulements biologiques, les physiciens ne se focalisent pas seulement sur les plus gros vaisseaux. Ils étudient aussi le déplacement du sang dans des capillaires de quelques micromètres de diamètre seulement. « À cette échelle, le fluide ne s'écoule plus de manière homogène, précise Anne-Virginie Salsac, du laboratoire Biomécanique et bioingénierie², à Compiègne. Cela est dû au fait que le sang est composé de cellules, et notamment de globules rouges, en suspension. Pour se frayer un chemin dans les capillaires, qui à certains endroits sont deux fois plus petits qu'eux, ces derniers doivent se déformer. De leurs déformations dépendront les propriétés de l'écoulement sanguin. »

Diagnostiquer le paludisme

Les scientifiques souhaitent tirer parti de cette observation pour diagnostiquer certaines maladies tel le paludisme. « Le moustique responsable de cette maladie injecte un parasite qui modifie les propriétés mécaniques des globules rouges, explique Magalie Faivre, de l'Institut des nanotechnologies

1. Unité CNRS/UJF. 2. Unité CNRS/UTC. 3. Unité CNRS/UCBL/Centrale Lyon/CPE Lyon/INSA Lyon.



© SCIENCE PICTURE COMPANY/BSIP

de Lyon³. Ces derniers, qui étaient mous et déformables, deviennent rigides. Résultat : ils se bloquent dans les capillaires, avec des conséquences parfois graves. »

D'où l'idée de la chercheuse et de son équipe de développer un dispositif qui utilise la déformabilité des globules rouges pour détecter la présence du paludisme. « Notre dispositif microfluidique est constitué d'un canal de taille micrométrique qui se rétrécit à intervalle régulier, explique-t-elle. On y injecte du sang et on mesure le déplacement de chaque globule rouge d'un bout à l'autre du canal : capables de se déformer facilement, les globules sains vont vite ; les globules infectés, eux, vont beaucoup plus lentement. »

Aujourd'hui, l'équipe teste son outil avec du sang dont une partie des globules rouges a été modifiée pour imiter les cellules infectées par le parasite. L'année prochaine, les essais commenceront sur des échantillons de sang pathologique. Et d'ici à cinq ans, les chercheurs espèrent tester le dispositif, qui à terme fera la taille d'une carte à puce, dans les pays touchés par le paludisme.

Une fois opérationnelle, la technique présentera de nombreux atouts. Premier avantage : on sera quasiment certain de la présence du parasite. Ce qui n'est pas le cas avec la technique biochimique qui vise à détecter une protéine libérée par le parasite. « On n'est pas à l'abri de faux positifs avec cette méthode, car la protéine peut persister dans le sang même quand les parasites ont été éliminés par des médicaments », souligne Magalie Faivre. Autre avantage : en mettant en évidence deux types de globules rouges, on pourra mesurer la proportion de cellules infectées. Un paramètre important pour choisir le traitement à administrer. Encore une découverte qui prouve que la mécanique des fluides n'a pas fini de faire progresser la médecine. ||



Lire l'intégralité de l'article sur lejournald.cnrs.fr

VIVANT

Un Français sur dix souffre de troubles de l'odorat

PAR LAURE CAILLOCE

Le chiffre vient de tomber : 9% des Français souffriraient de troubles olfactifs. C'est le résultat de la plus vaste étude sur l'olfaction jamais menée dans l'Hexagone et à laquelle *CNRS Le journal* s'est associé¹. « Un tiers souffre d'un déficit sévère, qu'on appelle anosmie, et deux tiers d'un déficit plus léger, l'hyposmie », raconte Moustafa Bensafi, du Centre de recherche en neurosciences de Lyon². Ce chiffre inédit ne surprend pas totalement le scientifique : « Jusqu'à présent, les études menées aux États-Unis et en Allemagne sur des échantillons plus restreints donnaient 5% pour l'une et 20% pour l'autre. On est donc dans un moyen terme. » Autre résultat de cette étude menée auprès de 4500 hommes et femmes âgés de 4 à 89 ans : à l'instar de la vue ou de l'audition, l'odorat lui aussi subit l'outrage des ans. « La prévalence des troubles olfactifs augmente à partir de 50 ans pour atteindre 20% de la population après 65 ans », indique le chercheur. Les hommes et les femmes ne sont cependant pas logés à même enseigne : seules 16% des femmes de plus de 65 ans seraient affectées contre 25% des hommes. Le pourquoi reste encore à déterminer... D'autres résultats devraient émerger de cette étude riche de plus de 100 paramètres : âge, sexe, poids, cycle menstruel ou grossesse pour les femmes, mais aussi profession, lieu d'habitation ou encore addiction au tabac. « On soupçonne l'odorat d'avoir une influence directe sur notre façon de nous alimenter, indique Moustafa Bensafi. Les récepteurs olfactifs situés dans le nez sont également sollicités par la voie rétro-nasale – par le palais pour le dire simplement! – et participent pleinement au plaisir de la dégustation. » Les chercheurs notent d'ores et déjà un recours plus fréquent aux condiments chez les personnes souffrant de déficit olfactif. « Comme si elles essayaient de compenser la perte de goût des aliments en provoquant de nouvelles sensations. » Les résultats de cette étude sur l'olfaction sont disponibles sur www.olfaction.cnrs.fr. ||

▲ Comme le goût, l'olfaction participe pleinement au plaisir de la dégustation.



© K. KASMAJSKI/CORBIS

1. *CNRS Le journal* s'est associé à cette étude en distribuant plusieurs dizaines de milliers de tests via son édition papier de l'automne 2014. 2. Unité CNRS/Inserm/UCBL/Univ. Jean-Monnet Saint-Étienne.



© DR

Élisabeth Herniou



Damien Laage

© E. LAAGE/COGNE



Fanny Meunier



Raphaël Granier de Cassagnac

© X. TENNEN/WIKIMEDIA COMMONS/CC BY-SA 3.0

Comment ils ont vécu l'aventure de l'ERC

Europe. Grâce à cette bourse d'excellence, les jeunes chercheurs expérimentent la gestion de projets d'envergure.

PAR CLAIRE DEBÔVES

Rien n'est parfait, mais rien ne vaut l'ERC ! » Le mot de Damien Laage, lauréat Starting Grant 2012-2016 de l'European Research Council (ERC) résume bien l'état d'esprit des chercheurs face à ce programme européen parmi les plus prisés. Et pour cause, puisqu'il permet de réaliser un rêve : travailler sur le sujet de son choix pendant cinq ans grâce à une bourse qui dépasse souvent le million d'euros. Qu'est-ce que cela change dans la vie d'un chercheur ?

Pour Fanny Meunier, Starting Grant 2008-2013, « décrocher l'ERC est extraordinairement stimulant, cela donne envie de réussir ». D'un point de vue scientifique, tout d'abord. Avec son projet SpiN, consacré à la compréhension de « la parole bruitée », un sujet nouveau situé au carrefour de la linguistique, de la psycho-acoustique et de la médecine, elle a pu se frotter pour de vrai à l'interdisciplinarité. « En suivant des pistes parallèles et en explorant de nouvelles approches, ce que

l'on fait peu en temps normal, j'ai découvert une recherche moins élitiste », explique-t-elle. Une recherche plus ouverte donc et qui rend possible l'erreur, comme le raconte Damien Laage, porteur d'un projet sur la catalyse enzymatique dans les solvants organiques (EOS) : « *Nous sommes partis avec le modèle standard de la littérature, qui s'est révélé largement faux au bout de deux ans. Mais ce résultat est aussi une avancée scientifique et nous avons rebondi et développé un nouveau modèle.* »

Une opportunité unique

L'ERC offre aussi aux chercheurs un contexte de travail idéal avec la possibilité, rare, de constituer leur propre équipe. « *Les ingénieurs et techniciens (IT) parmi les plus motivés de mon laboratoire se sont passionnés pour mon projet, ce qui a créé une belle synergie avec les jeunes chercheurs recrutés sur le contrat. Mon ERC a été un véritable travail collectif et je suis très*

reconnaissante à tous ceux qui y ont contribué », indique Élisabeth Herniou, Starting Grant 2007-2014 pour son projet « Genovir : adaptation des génomes viraux à l'immunité des insectes ».

Avec des équipes de quatre à sept personnes, chaque bourse ERC crée de l'emploi scientifique... qui parfois débouche sur des postes fixes, notamment dans l'équipe de Fanny Meunier. Toujours est-il qu'étant attribuée d'abord à un individu, l'ERC a des répercussions importantes sur le porteur du projet. « *Cette bourse nous confère une reconnaissance incontestée, une visibilité sur notre thématique ainsi qu'une dimension internationale »,* constate Damien Laage. Concrètement, l'ERC s'apparente à un accélérateur de carrière : recrutement à un poste stable et passage dans le corps des directeurs de recherche en sont les signes les plus fréquents.

La rançon du succès

Cependant, l'ERC ne se résume pas à un conte de fées, les chercheurs en découvrent aussi les effets collatéraux négatifs. Tout d'abord, au moment où

1. Financement supplémentaire accordé aux lauréats ERC pour asseoir le potentiel innovant des idées résultant de leurs projets de recherche exploratoire.

Une cellule pour accompagner les lauréats

il se voit distingué, l'heureux lauréat peut paradoxalement se retrouver isolé. « Dans notre système, on n'est pas habitué à ce qu'un jeune ait autant de moyens tout d'un coup », note Damien Laage. Ensuite, cet apport financier n'est pas sans conséquence sur le laboratoire tout entier. « Même si cela n'a pas été mon cas, je pense qu'une ERC peut déstabiliser un laboratoire. Le regard que l'on porte sur vous change immédiatement et il faut garder la tête froide », ajoute Raphaël Granier de Cassagnac, lauréat Starting Grant 2010-2015 pour son projet d'étude du plasma de quarks et de gluons dans le cadre de l'expérience CMS du LHC. Pour Fanny Meunier l'expérience a parfois été difficile : « En 2008, la question des retombées d'une bourse ERC sur les laboratoires était nouvelle : moyens, postes, prestige, etc., autant de sujets qui peuvent créer des convoitises, voire du rejet. » Autre impact possible, l'ERC en poche, « on n'est plus prioritaire pour les financements alors que des budgets complémentaires sont parfois nécessaires », signale Damien Laage.

Le syndrome de Cendrillon

Quid de l'après-ERC ? « Aux douze coups de minuit, il ne reste plus que la citrouille, sourit Damien Laage, qui incite ses collègues à ne pas se reposer sur leurs lauriers. Il faut absolument continuer à déposer des projets. » Par exemple, Élisabeth Herniou a sollicité les services du CNRS (service partenariat et valorisation et filiale de valorisation Fist SA) pour candidater à une ERC Proof of concept¹. « J'ai monté un projet de brevet grâce à l'aide du CNRS. C'est une démarche totalement différente, avec des aspects de business et de marketing... C'était la suite inattendue, mais logique, de mes résultats ! »

Malgré tout, de l'aveu unanime des chercheurs, suivre un projet ERC pendant cinq ans est extrêmement formateur. « Les difficultés rencontrées et surmontées font partie d'un

« Certains chercheurs considèrent que le CNRS leur impose des contraintes administratives trop rigoureuses dans le cadre des projets européens. En fait, loin d'être plus royaliste que le roi, le CNRS cherche en permanence à alléger ces contraintes fixées par les instances européennes. Il existe déjà de nombreux dispositifs aidant comme la cellule Europe, les correspondants en institut, les services partenariats et valorisation en région ainsi que les ingénieurs projets européens. Pour aller plus loin, nous venons de créer une cellule ERC pilotée par Patrick Netter, ancien directeur de l'Institut des sciences biologiques, chargé de mission auprès du président sur les projets d'excellence

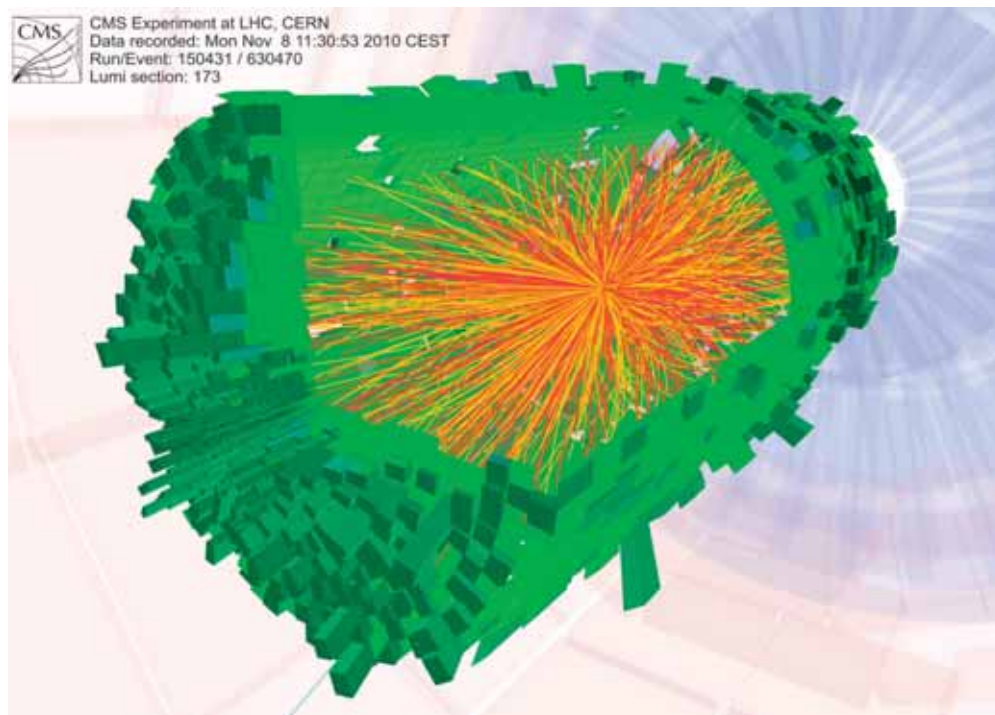
européens. Composée de responsables de la Direction Europe de la recherche et coopération internationale (Derci) et de la Mission pilotage et relations avec les délégations régionales et les instituts (MPR), cette cellule facilitera encore les relations entre délégations régionales et porteurs de projet ERC. »

PHILIPPE ROUSSIGNOL,
point de contact national ERC



Contactez la cellule ERC :

✉ cellule-erc@cnrs-dir.fr



apprentissage... finalement très utile pour la suite de notre parcours, assure Élisabeth Herniou. Nous passons un cap au niveau scientifique en même temps que nous apprenons à recruter et à gérer une équipe, à assumer les aspects financiers et administratifs, qui sont loin d'être négligeables. »

Une aide administrative concrète

À cet égard, l'administration du CNRS apporte une aide concrète. « Les gestionnaires en laboratoire, à la délégation, les services partenariat et valorisation ont été à l'écoute et m'ont

accompagnée dans ces nouvelles activités », raconte Fanny Meunier. De même, les chercheurs soulignent tous l'importance du kick-off meeting, réunion de lancement du projet ERC qui permet aux scientifiques et aux administratifs partenaires du projet de faire connaissance. « Avoir de bonnes relations avec nos interlocuteurs administratifs est essentiel. On trouve toujours des solutions, assure Raphaël Granier de Cassagnac. Par exemple, j'ai pu enseigner six mois aux États-Unis tout en continuant à gérer le projet. » II

► Une des premières collisions plomb-plomb observée par le détecteur CMS dans le cadre du projet de Raphaël Granier de Cassagnac.



Du lycée au bureau, que deviennent nos réseaux?

PAR LAURE CAILLOCE

SOCIÉTÉS

Sociologie. Vingt ans durant, des chercheurs ont suivi un groupe de lycéens de Caen afin de définir comment l'entrée dans la vie adulte avait un impact sur le réseau relationnel, et réciproquement. Un anniversaire célébré ces jours-ci avec ces jeunes devenus quadras.

technologique avec un bac pro en ligne de mire ; un tiers se trouvait en stage d'insertion professionnelle.

Premier constat : la taille et la nature du réseau varient considérablement d'un individu à l'autre. « *Le plus petit réseau compte 6 personnes, famille comprise, et le plus grand, 132!* », s'étonne encore Claire Bidart. Certains réseaux sont dits denses : les relations d'une même personne se fréquentent entre elles. D'autres sont plus dispersés : on fréquente

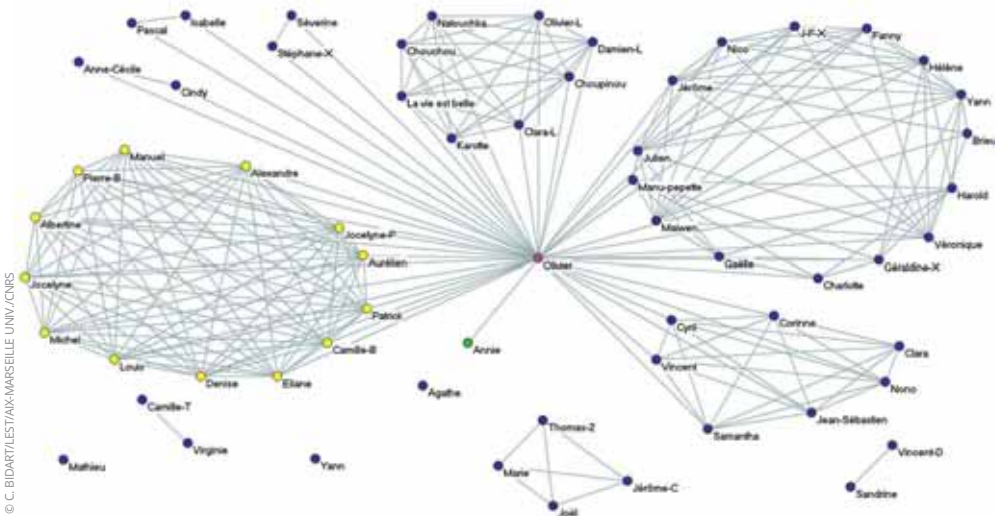
ses amis un par un. « *Un réseau dense donne une forte inscription sociale, commente la sociologue, mais il peut se révéler limitant. Un réseau segmenté fournit l'opportunité de recueillir des avis différenciés, des informations inédites et d'être plus innovant dans ses choix de vie.* »

Deux facteurs clés

Comme le pressentait la sociologue, l'âge est un facteur clé dans l'évolution des réseaux. À la sortie du lycée, les jeunes perdent une grande partie de leurs connaissances. Moins nombreuses, les relations gagnent en qualité, les jeunes adultes privilégiant les liens avec les « vrais » amis et la famille. L'installation en couple marque une autre étape : on partage

ses relations avec son partenaire et le réseau s'enrichit de ses amis et de sa famille. L'arrivée d'un enfant réactive, elle, les liens familiaux et homogénéise les réseaux, avec l'irruption d'autres couples de jeunes parents. La catégorie sociale est l'autre déterminant clé. Les jeunes adultes dont les parents sont de catégorie socioprofessionnelle supérieure ont en moyenne des réseaux plus grands et plus dissociés. « *Dans ces milieux, on a toujours vu les parents ramener du monde à la maison*, note Claire Bidart. *Surtout, plus on a de loisirs, plus on a de chances de nouer des relations diversifiées.* »

Enfin, le Panel de Caen montre le rôle essentiel des liens dits faibles. « *Pour certaines décisions importantes, comme faire un enfant, certaines personnes préféreront demander un conseil à des collègues par exemple, qui auront un regard plus détaché* », note la sociologue. Ces liens faibles, peuvent également illustrer d'autres « ailleurs » possibles, que ce soit sur le plan personnel ou professionnel. Attention cependant : si les liens faibles apportent de l'information nouvelle, ce sont les liens forts qui conditionnent la réussite d'un projet en apportant un soutien matériel et affectif. ■



Le réseau des relations d'Agnès, ici simplifié, est le plus grand de l'étude, avec 132 personnes. Pour une question de lisibilité, Agnès n'y figure pas.

Quand elle a démarré son projet, en 1995, la sociologue Claire Bidart¹ était loin d'imaginer qu'elle continuerait de publier des articles sur le « Panel de Caen » vingt ans après. Ce groupe de lycéens a été étudié sur le long terme afin de déterminer les évolutions des réseaux d'amis et relations de chacun au moment du passage à l'âge adulte... Et ce n'est pas fini : une nouvelle vague d'enquêtes vise maintenant à évaluer l'influence de Facebook sur le réseau relationnel².

Plus de 10 000 relations répertoriées

Le réseau relationnel, c'est l'ensemble des liens que l'on tisse avec sa famille, ses amis, camarades de classe, collègues, copains du foot... Pour le voir évoluer dans le temps, la chercheuse et son équipe ont réalisé tous les trois ans une « photographie » du réseau de chacun des panélistes. Au total, 287 réseaux ont été dessinés et plus de 10 000 relations ont été décrites par les chercheurs. Afin de disposer d'un échantillon diversifié, la sociologue a choisi ses « témoins » dans trois univers distincts. Un tiers s'apprêtait à passer son bac général ; un tiers était en filière

1. Laboratoire d'économie et de sociologie du travail (CNRS/Aix-Marseille Univ.). 2. L'étude sur Facebook est menée en collaboration avec le Lisst de Toulouse, dans le cadre du Labex SMS. Les premiers résultats seront publiés courant 2016.

SOCIÉTÉS

NUMÉRIQUE

Un logiciel pour décrypter la politique

PROPOS RECUEILLIS PAR LYDIA BEN YTZHAK

Vous avez reçu un Google Award pour votre logiciel « Event thread extraction for viewpoint analysis », capable de représenter les opinions des courants politiques et de leurs membres. En quoi consiste le traitement automatique des langues (TAL) ?

Xavier Tannier : Il s'agit d'une discipline de l'intelligence artificielle qui a pour but d'analyser le langage humain. Des exemples d'applications sont la traduction automatique, la correction orthographique, le résumé automatique, l'extraction d'information, la fouille de texte. Mon laboratoire, le Limsi¹, travaille sur presque tous ces domaines, ainsi que sur le traitement du langage parlé. Je m'attache, pour ma part, à l'analyse de grandes quantités de textes pour en extraire des informations pertinentes pour une situation donnée. L'outil que nous avons créé permet d'organiser des textes de façon à mieux décrypter les opinions et les rapports de force dans le monde politique.

Comment est née l'idée de ce projet ?

X. T. : Il s'agit d'une collaboration avec Ioana Manolescu, de l'Inria, et l'équipe des Décodeurs du journal *Le Monde*, dirigée par Samuel Laurent, qui se consacre au *fact checking*. Cette pratique très répandue dans les journaux consiste, par exemple, à vérifier la véracité des déclarations d'un homme politique. Le TAL est particulièrement adapté à l'analyse des articles de

presse. Je travaille sur la notion d'événement. Ainsi, si l'utilisateur veut la liste des événements importants sur le Printemps arabe, le système va chercher les articles de journaux, définir ce qui est le plus important et fournir une chronologie (projet ANR Chronolines).

Quel type d'informations traitez-vous ?

X. T. : Nous collectons un maximum de données pour étudier ces phénomènes parmi des articles de presse, des déclarations de personnalités politiques, des sites Web et des comptes Twitter. Le but étant de collecter sur un événement ou un sujet les déclarations et de les répartir sur l'échiquier politique. Nous allons nous concentrer sur les éléments de langage ou sur les réactions des partis qui sont assez diserts sur les événements sensibles, et repérer ainsi ceux qui s'écartent du discours imposé à des fins de stratégie politique. Souvent, on a un courant principal affiché par un parti et deux ou trois personnalités qui vont tenir un langage complètement différent au sein de ce même parti. Sur le sujet de la laïcité, on peut le mesurer, et c'est encore plus visible sur des sujets tels que le mariage pour tous.

Votre matériel de départ est toutefois très formaté...

X. T. : En effet, nous prenons en compte seulement les tweets liés aux comptes des personnalités politiques. Le vocabulaire y est un tout petit peu plus débridé, mais cela

reste relativement contrôlé. On pourrait imaginer que ce type d'outil participe à l'uniformisation de la pensée, mais on constate déjà que le *fact checking* empêche les politiques de transmettre des chiffres erronés. Le but de cette application est d'aider les journalistes et les citoyens à comprendre comment et pourquoi les politiques ne disent pas ce qu'ils pensent, mais répètent ce qui est formaté selon chaque parti. Typiquement, ce projet permettra de remarquer comment, sur une question européenne, des partis qui tout oppose en apparence adoptent la même ligne.

Quel est l'état d'avancement du projet et sera-t-il commercialisé ?

X. T. : Le projet récompensé en tant que tel n'existe pas encore. Nous en sommes à la phase de collecte de fonds, qui commence plutôt bien puisque l'Agence nationale de la recherche vient d'accepter de financer ce programme (projet ANR ContentCheck). Le Google Award, qui offre un soutien financier sur un an pour un travail en cours, est symboliquement très important pour nous, mais moins que l'ANR en termes de retombées financières. Je pense que l'application sera gratuite, elle n'a pas vocation à être commercialisée dans l'immédiat, car il s'agit d'un travail de recherche. ||



Lire l'intégralité de l'interview sur lejournal.cnrs.fr

1. Laboratoire d'informatique pour la mécanique et les sciences de l'ingénieur du CNRS.

STS Forum, le « Davos de la science »

International. Chaque mois d'octobre, le Japon réunit des personnalités de la recherche, de la politique et de l'industrie venues du monde entier. Retour sur cet événement peu médiatisé mais très prisé.

PAR LOUISE LIS

Rendez-vous le 2 octobre 2016. Les participants au forum Science and Technology in Society (STS) ont pris date pour la prochaine session de ces rencontres qui se déroulent depuis douze ans à Kyoto, au Japon, chaque premier dimanche d'octobre sous la présidence vigilante de son fondateur, Koji Omi. À 83 ans, l'ancien ministre des Finances en 2006-2007 du précédent gouvernement Abe peut se flatter d'avoir réussi son pari : attirer plusieurs centaines de personnalités influentes du monde entier issues de la recherche, de la politique et des affaires pour un « Davos de la science » dans l'ancienne capitale impériale. Rien dans ce rendez-vous annuel n'est laissé au hasard.

Un rendez-vous inclassable

Peu connu, peu médiatisé, le STS Forum n'en reçoit pas moins chaque année un panel impressionnant de présidents d'université et d'organismes de recherche parmi lesquels le MIT, le CNRS, Leibniz-Gemeinschaft, l'Institute for Basic Science (IBS), Karolinska Institutet, Riken, l'Académie des sciences russe et son homologue de Singapour, pour deux jours de débats et de rencontres avec un aréopage de ministres et grands noms de l'industrie. Coca-Cola y côtoie E.ON et Lockheed, ainsi que quelques-uns des fleurons de l'industrie japonaise. Quelques-uns mais pas tous. Car c'est une des règles instaurée par Koji Omi : pas plus de 30 % de Japonais. Un quota qui n'a pas été sans provoquer des grincements de dents, rappelle



▼ Cérémonie d'ouverture du STS Forum.



malicieusement Hiroshi Matsumoto, président du Riken et coprésident avec le président du CNRS, Alain Fuchs¹, du Global Summit of Research Institute Leaders, rencontre associée au forum depuis quatre ans.

Mais un « Davos de la science » pour quoi faire ? « Pour disposer d'un cadre de travail où les scientifiques, les politiques et les industriels parlent à égalité », répond Koji Omi pour qui « le progrès scientifique est à la fois une bonne et une mauvaise chose. Tout dépend du problème posé ». Cette vision mâtinée de pensée orientale, qui rappelle constamment que les questions scientifiques doivent être abordées par leurs deux faces – sombre et lumineuse – est la marque de fabrique originelle du STS Forum, assure

► Chercheurs participant à un groupe de travail sur la thématique de l'océan.

1. Alain Fuchs est également membre du conseil du STS Forum qui réunit 81 personnalités issues de 28 pays. Ce conseil se réunit trois fois par an, dont une à Washington en janvier avec la NAAAS, une au printemps en Europe et une en octobre au Japon.

Yu Serizawa, la directrice des affaires internationales du forum. Le court propos qui ouvre le programme de 2015 signé Koji Omi ne s'intitule-t-il pas « Lights and shadows » ?

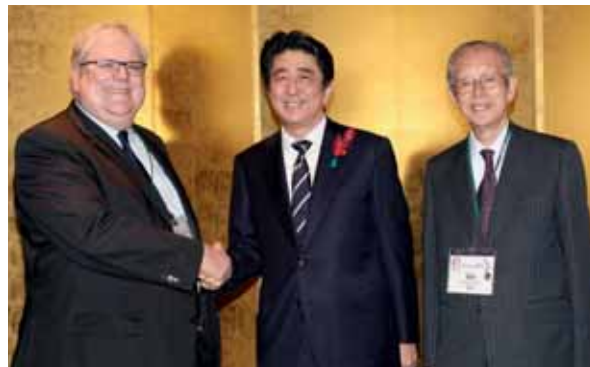
Objectif : partager les expériences

Nul ne peut s'inscrire au forum, on y est invité. Les participants n'y expriment pas une position officielle de leur organisme ou entreprise, mais leurs vues personnelles et leurs opinions. Les gouvernements et autres *policy makers* forment la troisième partie de ce triptyque. La discrétion du STS Forum n'a rien de volontaire. C'est le sort de ces grands rendez-vous internationaux qui échappent aux logiques éditoriales, remarque Yu Serizawa. Après avoir travaillé de longues années pour le World Economic

Forum de Davos, celle-ci a été appelée par Koji Omi pour réaliser le STS Forum. Même s'il est traditionnellement ouvert par des chefs de gouvernement – comme cette année avec le Premier ministre japonais, Shinzo Abe, le vice-Premier ministre de la Fédération de Russie, Arkady Dvorkovich, le Premier ministre du Sri Lanka, Ranil Wickremesinghe, ainsi que le Premier ministre français, Manuel Valls –, le forum n'a rien d'un rendez-vous politique. Basé au Japon, il brasse un public international. Scientifique dans son approche, il est sans doute trop généraliste pour attirer les journalistes spécialisés. Avec une cinquantaine de débats et près d'un millier de participants, le STS Forum est inclassable. Ce qui n'enlève rien à son succès.

Chacun y participe avec ses préoccupations en tête. On y guette l'innovation, les nouvelles tendances en même temps qu'on profite pour y faire, en marge du forum officiel, son propre marché (notamment les politiques). Comme cette ministre sud-

africaine qui profite de l'occasion pour passer commande de formations. Ou assurer la promotion d'une réalisation d'envergure, comme John R. Delaney, de l'université de Washington, venu présenter Neptune, un gigantesque observatoire souterrain. Mais l'essentiel relève du *networking* et du partage d'expériences. À la tête d'une institution récente, créée pour donner de l'assise et du poids à la recherche de base, Doochul Kim, président de l'IBS de Corée, « est venu apprendre » et « partager de l'expérience entre présidents », expériences qui « peuvent devenir des collaborations ». Néoparticipant, le président du Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO), l'Australien Larry Marshall, partage les motivations de son collègue coréen. « Nous sommes loin du monde et nous avons absolument besoin de cette diversité de



▼ Le président du CNRS, Alain Fuchs, le Premier ministre japonais, Shinzo Abe, et le fondateur du forum, Koji Omi.

perspectives », résume-t-il. Le STS Forum lui offre l'occasion de se recentrer sur l'Asie.

Trop asiatique le STS Forum ? Voilà « huit ou neuf ans » que Matthias Kleiner, président de la Leibniz-Gemeinschaft, est fidèle à ce rendez-vous qui offre selon lui « un réseau établi ». Mais, s'il est vrai que les Asiatiques sont nombreux au forum, Matthias Kleiner juge, lui, que « les États Unis y jouent un rôle important ». Or il estime qu'il doit « rester attractif pour les Européens ». Le président de la Leibniz-Gemeinschaft aimerait aussi y voir davantage de jeunes scientifiques.

Rien d'inattendu dans les débats, qui sont ceux de leur temps : le futur énergétique, sous tous ses aspects, la médecine régénérative, l'océan, les villes intelligentes, la population, les ressources, l'Internet des objets, etc. La robotique, chère aux Japonais, comme toutes les déclinaisons possibles autour de l'innovation abondent dans le programme. Et c'est précisément ce qui intéresse le directeur général de Gemalto (leader en sécurité informatique), Olivier Piou, qui fréquente les rencontres depuis une dizaine d'années. Il assure y avoir introduit la thématique de la sécurité digitale il y a déjà cinq ou six ans, quand elle faisait encore peu parler d'elle.

Une grande liberté de parole

Loin d'être figé, le STS Forum s'est étoffé au fil des ans pour mériter encore plus son titre de « Davos de la science ». En 2012, le Global Summit a été créé. Il réunit désormais une vingtaine de participants le temps d'une journée de travail très informelle. Sujet de l'année : les relations entre organismes de recherche et universités. « L'échange d'expériences a montré qu'il s'agissait d'une préoccupation partagée avec une grande diversité de dispositifs de collaborations. La solution française de la mixité (UMR) intéresse beaucoup de monde », relève Alain Fuchs. La liberté de parole est frappante : l'un critique son système « trop bureaucratique » tandis qu'un autre estime que « la qualité baisse parmi les chercheurs sous contrat car ceux-ci sont trop courts ». Les directeurs de la technologie (Chief Technology Officers) disposent eux aussi d'un temps de rencontre spécifique tandis qu'un « atelier » est également organisé entre chaque grand rendez-vous dans différentes régions du monde afin de faire vivre le forum. Après la Chine et la Thaïlande, la prochaine étape sera Bruxelles. Le recentrage européen est à l'œuvre. II





Lire l'intégralité de l'article
sur lejournal.cnrs.fr

Quatre cents gènes dévoilent leur fonction

VIVANT

Biologie. Des chercheurs effectuent actuellement l'analyse systématique des gènes de la souris, dont nous partageons 90 % du génome, afin d'identifier le rôle de chacun d'entre eux. Ils viennent de publier leurs premiers résultats.

PAR LAURE CAILLOCE

Si l'on a depuis longtemps identifié les 25 000 gènes portés par l'ADN de la souris, les chercheurs sont loin de connaître le rôle de chacun. « À peine un tiers des gènes est associé à une fonction », reconnaît Yann Héroult, directeur de l'Institut clinique de la souris¹, à Strasbourg, un centre de recherche spécialisé dans le diagnostic clinique et la création de lignées mutantes de souris. Les quatre centres de recherche européens du programme Eumodic, dont fait partie la Clinique de la souris, ont donc décidé de passer au crible le génome du rongeur. La première étude, publiée en ligne le 27 juillet dans *Nature Genetics*², s'est attaquée à 449 gènes inconnus ou mal connus des chercheurs, révélant la fonction de plus de 80 % d'entre eux.

Une batterie de tests

Pour connaître la fonction d'un gène, la méthode la plus efficace consiste à supprimer celui-ci chez un groupe d'individus et à observer les conséquences de ce manque sur l'organisme par

rapport à une population de contrôle. Ainsi, 449 lignées de souris mutantes ont été créées, chacune étant privée d'un seul gène. Une batterie de vingt examens standardisés a été parallèlement mise au point afin de déceler les déficiences provoquées par l'absence de chacun des gènes étudiés. « Ces examens fonctionnels, peu invasifs, permettent de tester aussi bien la morphologie, le métabolisme, le système cardio-vasculaire que les troubles du comportement ou les fonctions sensorielles comme l'audition », énumère Yann Héroult. Les travaux du consortium Eumodic ont abouti à une moisson de découvertes. « Sur les 179 gènes analysés qui n'étaient reliés à aucune fonction, 42 ont pu être associés à de nouvelles maladies chez l'homme », se félicite le biologiste.

Des gènes multicartes

Grâce à ce travail, on en sait également plus sur le fonctionnement de nos gènes. « On savait que les gènes pouvaient être impliqués dans plusieurs fonctions. On a ici la confirmation à grande échelle que cette faculté, appelée pléiotropie, n'est pas l'exception, mais bien la règle dans le génome », s'enthousiasme Yann Héroult. Autre révélation : contrairement à ce que l'on croyait, l'hétérozygotie ne protège pas d'éventuelles déficiences. Pour le découvrir, les chercheurs ont désactivé soit une copie du gène étudié, soit les deux copies chez 43 lignées de souris mutantes. Résultat : le taux de défaut observé est le même, qu'il subsiste une copie du gène ou pas.

Encouragés par ces résultats, les scientifiques se sont lancés dans l'analyse de 5 000 gènes supplémentaires. Ce projet international, démarré en 2011 dans le cadre de l'IMPC (International Mouse Phenotyping Consortium), devrait livrer ses résultats d'ici à deux ans. « Nous pensons décrypter l'ensemble des gènes d'ici une dizaine d'années », indique Yann Héroult, qui précise que toutes les données produites sont libres de droits et mises à disposition de la communauté scientifique. « Nous espérons que les chercheurs du monde entier vont se saisir de cette base de données et pousser plus loin les analyses pour les gènes qui les concernent directement. » **||**

HÉTÉROZYGOTIE

Chaque gène existe en double chez les mammifères. Quand les deux copies sont différentes, l'individu est dit hétérozygote pour ce gène.

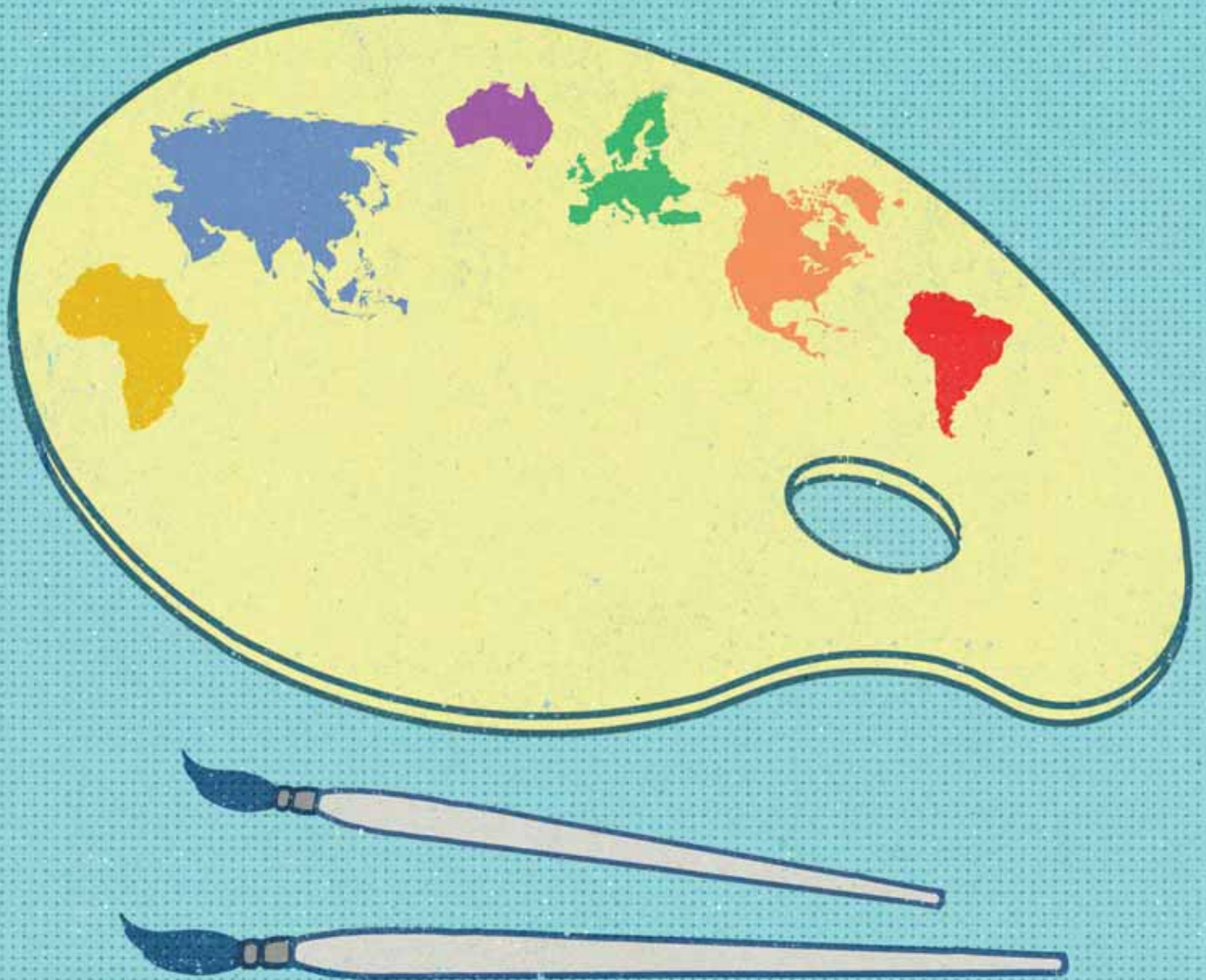
▲ Pour déceler les déficiences provoquées par l'absence d'un gène, les souris ont été soumises à une batterie d'examens dont des tests de perception.



© P. LATRON/INSERM

1. L'Institut clinique de la souris fait partie de l'Institut de génétique et de biologie moléculaire et cellulaire (CNRS/Inserm/Univ. de Strasbourg). 2. « Analysis of Mammalian Gene Function Through Broad-Based Phenotypic Screens Across a Consortium of Mouse Clinics », M. Hrabě de Angelis et al.

LES IDÉES



Comprendre le lien entre énergie et croissance, tester les univers parallèles, parier sur l'immunologie et se méfier des solitudes interactives.

La croissance, une affaire d'énergie



SOCIÉTÉS



TERRE



Selon l'économiste Gaël Giraud¹, la croissance dépend avant tout de notre aptitude à consommer de l'énergie. Il nous explique pourquoi.

PROPOS RECUEILLIS PAR LYDIA BEN YTZHAK

Pouvez-vous nous expliquer sur quoi se fonde le lien fort que vous établissez entre consommation d'énergie et croissance ?

Gaël Giraud : Avant de considérer la croissance du PIB, il est important de prendre un peu de recul ! Il y a environ 12 000 ans, les populations du Croissant fertile se sédentarisent à la faveur de l'invention de l'agriculture. Cette étape majeure a deux effets : elle permet d'extraire de la biosphère une quantité importante d'éléments nécessaires à la vie humaine et elle autorise l'augmentation des naissances. D'où une explosion de la population. Or qu'est-ce que l'agriculture sinon l'appropriation de la photosynthèse à des fins favorables à la reproduction de l'humanité ?

N'est-il pas un peu abusif de parler d'économie ou de croissance dans ce contexte ?

G. G. : Pas forcément... En tout cas, ces deux termes deviennent légitimes à partir de la deuxième grande étape, au tournant du XI^e siècle. Cette époque voit la mise en place d'un protocapitalisme : naissance de villes autonomes, émergence des marchands, élaboration des premiers réseaux bancaires. Or quel changement sépare radicalement cette période de la féodalité antérieure ? La multiplication des moulins sur le territoire européen. De nouveau, il s'est agi de dompter une forme d'énergie qui, jusqu'alors, n'était exploitée que de manière marginale. Troisième étape : les révolutions industrielles qui s'étalent du milieu du XVIII^e siècle à la fin du XIX^e. Une fois encore, l'essentiel consiste en la découverte de manières inédites d'exploiter les énergies fossiles. Ces trois jalons historiques majeurs montrent que l'usage de l'énergie s'accompagne nécessairement de technologies nouvelles, de formes neuves de capital productif et de nouveaux métiers. L'énergie ne produit donc pas de la prospérité par magie : la technique, le capital et le travail lui sont complémentaires. C'est cette complémentarité qui, d'après mes travaux, est au cœur de la croissance économique que nous avons connue depuis deux siècles.

Comment mesurez-vous la dépendance du PIB vis-à-vis de l'énergie ?

G. G. : Pour évaluer cette dépendance, les économistes parlent d'élasticité du PIB par rapport à l'énergie : la plupart l'estiment à 8-10 %. Pourtant, l'analyse de séries temporelles



© J. CHATVIERPANSION/REA

1. Chef économiste à l'Agence française de développement et directeur de la chaire « Énergie et prospérité ». 2. Gaël Giraud a préfacé l'édition française de *L'imposture économique* de Steve Keen (Éditions de l'Atelier, octobre 2014). 3. Unité CNRS/UJF/Univ. Savoie Mont Blanc/IRD/Ifsttar.



► Raffinerie de pétrole à Houston au Texas.



Lire l'intégralité de l'interview sur lejournal.cnrs.fr

consommation d'énergie fossile. Premièrement, le dérèglement climatique qu'induit l'émission de carbone. Deuxièmement, la raréfaction du flux d'énergie fossile que nous pouvons extraire du sous-sol. En effet, il ne fait aucun doute qu'il reste encore énormément de carbone sous terre. Si nous déstockons tout le charbon disponible, nous achèverons de mettre le climat sens dessus dessous. Par ailleurs, le flux de ce que nous pouvons extraire du sous-sol en une journée avec les techniques conventionnelles plafonne, depuis 2005, autour de 87 millions de barils/jour, comme l'a admis l'Agence internationale de l'énergie.

L'exploitation de ressources comme les gaz et huiles de schiste ne change-t-elle pas la donne ?

G. G. : La question de savoir si les techniques de fracturation hydraulique permettront de crever ce plafond reste ouverte. Quoi qu'il en soit, sans énergie, nous n'aurons aucun moyen d'assurer la prospérité de notre économie. Du coup, il convient, je crois, d'engager ce grand projet consistant à transiter d'une économie carbonée, héritée de la révolution industrielle, vers une économie décarbonée. Le comité des experts pour le débat national sur la transition, présidé par Alain Grandjean, et dont j'ai fait partie, a dessiné des feuilles de route pour la transition en France. Le rapport Canfin-Grandjean, qui a été remis au président de la République, dresse un panorama des outils dont nous disposons pour financer les énormes efforts d'investissement nécessaires à la réduction des émissions de gaz à effet de serre au Nord et à l'adaptation des économies du Sud à un réchauffement climatique déjà entamé depuis vingt ans.

Quelles sont vos recommandations en ce qui concerne la transition énergétique ?

G. G. : Je crois que la question de savoir quel « mix » énergétique nous voulons adopter engage des options de société qui requièrent une discussion démocratique et des choix politiques. Ensuite, le plus urgent, du côté des économistes, est d'incorporer sérieusement les questions climatiques, énergétiques et écologiques dans nos modèles. La ministre de l'Écologie, Ségolène Royal, a demandé au ministre des Finances, Michel Sapin, que les modèles économiques utilisés à Bercy prennent sérieusement en compte ces enjeux décisifs. Enfin, avec Jean-Pierre Ponsard, nous avons lancé une chaire « Énergie et prospérité » qui a vocation à étudier les relations entre énergie et économie. ||

longues de consommation d'énergie primaire sur une trentaine de pays montre qu'elle est proche de 60-70 %. Bien sûr, ce constat doit tenir compte du fait que beaucoup d'autres variables agissent en même temps que la consommation d'énergie. Par ailleurs, ce ratio varie selon les pays et les époques. Mais une chose est sûre : nos économies sont beaucoup plus dépendantes de l'énergie que les économistes « orthodoxes » ne veulent bien l'admettre.

Comment les économistes peuvent-ils négliger le rôle de l'énergie ?

G. G. : Pas tous les économistes, surtout ceux issus du courant dominant néoclassique ! Pour les physiiciens, il ne fait aucun doute que rien n'advient sur cette Terre sans l'intervention de l'énergie. Pourtant, cette trivialité n'est pas admise par tous les économistes néoclassiques. La plupart continuent d'utiliser de petits raisonnements fort discutables pour justifier leur désintérêt à l'égard de l'énergie. Ces « petits raisonnements » sont justement ceux que Steve Keen déconstruit dans son ouvrage *L'Imposture économique*². Les matières premières non énergétiques sont également un énorme sujet, ce que confirme le travail de recherche que j'ai entrepris avec Olivier Vidal, de l'Institut des sciences de la Terre³, à Grenoble.

Comment votre analyse peut-elle avoir un impact sur les choix de politique économique ?

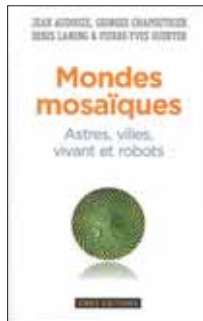
G. G. : Vous comprenez aisément que, si la prospérité économique d'un pays dépend de son aptitude à consommer de l'énergie, alors il devient vital d'engager une transition énergétique. Il y a, en effet, deux raisons pour lesquelles notre pays ne peut plus impunément augmenter sa

“L'énergie ne produit pas de la prospérité par magie : la technique, le capital et le travail lui sont complémentaires.”

À lire

MONDE

Écrit à plusieurs mains, cet ouvrage est une invitation au dialogue entre les quatre disciplines – apparemment étrangères les unes aux autres – de ses auteurs : l'astrophysique, l'urbanisme, la biologie et la robotique. Leur point de convergence ? La compréhension de systèmes complexes plus proches qu'il n'y paraît. Astres, villes, robots et organismes vivants obéissent en partie à des lois similaires et partageraient par exemple une logique darwinienne commune, ainsi qu'une « complexité en mosaïque ». Une réflexion riche formulée de manière accessible.



Mondes mosaïques. *Astres, villes, vivant et robots,* Jean Audouze, Georges Chapouthier, Denis Laming et Pierre-Yves Oudeyer, CNRS Éditions, coll. « Le Banquet scientifique », octobre 2015, 216 p., 23 €



GÉNOMIQUE

Grâce aux nouvelles technologies de séquençage et d'analyse de l'ADN à très haut débit, il est maintenant possible de décoder et d'inventorier le vivant dans tous les environnements. Cet ouvrage collectif issu de la communauté scientifique française présente les développements les plus récents de la génomique environnementale.

Empreinte du vivant. *L'ADN de l'environnement,* Dominique Joly, Denis Faure et Sylvie Salamitou (dir.), Le Cherche Midi/CNRS, coll. « Beaux-livres », novembre 2015, 192 p., 24,90 €

ANIMAUX

Ce beau-livre, qui fait suite au film de Jacques Perrin et Jacques Cluzaud sorti en 2014, est consacré à l'histoire oubliée des animaux sauvages sur les terres européennes. Réalisé avec l'expertise de nombreuses personnalités scientifiques, il constitue une magnifique mise en images de la résistance de la vie animale depuis la dernière ère glaciaire.



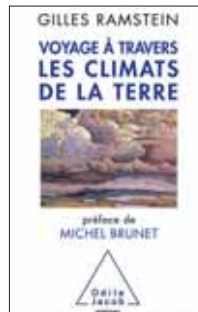
Les Saisons, d'après le film de Jacques Perrin et Jacques Cluzaud, textes de Stéphane Durand, Actes Sud, octobre 2015, 88 p., 14 €

Climat

Petite sélection parmi les nombreux ouvrages parus à l'occasion de la COP21

Comme son titre l'indique, cet ouvrage nous fait parcourir les 4,6 milliards d'années d'histoire climatique de notre planète. Un voyage qui nous invite à prendre du recul et nous permet de mieux comprendre comment l'ensoleillement, la composition de l'atmosphère et les phénomènes géologiques ont interagi entre eux et conduit aux extraordinaires variations qu'a connues, et que connaîtra encore, le climat de la Terre. Un excellent antidote, aussi, contre certaines simplifications abusives entendues sur le changement climatique.

Voyage à travers les climats de la Terre, Gilles Ramstein, Odile Jacob, coll. « Sciences », juin 2015, 352 p., 24,90 €



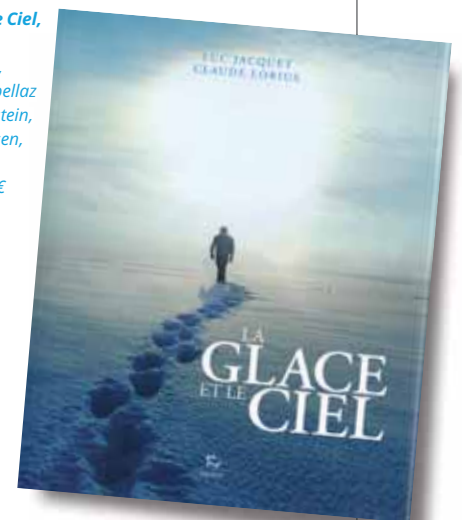
Sur les épaules du climatologue Hervé Le Treut, ce livre adopte une démarche scientifique pour faire découvrir aux plus jeunes le fonctionnement de la machine Terre et de son climat. Pourquoi varie-t-il ? Comment l'océan, l'atmosphère, les continents, les nuages et bien entendu l'homme agissent-ils sur lui ? Apportant certes des réponses, mais pointant aussi les questions auxquelles on ne peut pas encore répondre.

Sur quelle planète bleue ai-je atterri ? Climat, mer, Terre, atmosphère, ce qu'on ne sait pas encore...

Anna Alter avec Hervé Le Treut, ill. Lucie Maillot, Éditions Le Pommier, coll. « Sur les épaules des savants », octobre 2015, 48 p., 13,90 €

Le film hommage de Luc Jacquet au travail du glaciologue Claude Lorius a désormais son beau-livre. Photos, dessins et récit à la première personne retracent la formidable aventure de ce scientifique qui a découvert que les glaces de l'Antarctique contenaient les traces des climats du passé. De la fin des années 1950 à nos jours, on découvre comment la science se fait sur le continent blanc, le continent de tous les extrêmes où les températures peuvent descendre jusqu'à -80 °C...

La Glace et le Ciel, Luc Jacquet, Claude Lorius, Jérôme Chappellaz et Gilles Ramstein, Éditions Paulsen, octobre 2015, 272 p., 39,50 €





Peut-on tester les univers parallèles ?

Aurélien Barrau

Astrophysicien au Laboratoire de physique subatomique et de cosmologie¹



Lire l'intégralité du billet sur lejournal.cnrs.fr

Plus d'un siècle après sa découverte, la mécanique quantique – qui décrit le comportement des entités physiques à l'échelle des particules élémentaires – n'est toujours pas clairement comprise, même si ses prédictions ont jusqu'ici toujours été vérifiées par la mesure.

Aussi devons-nous nous contenter d'admettre ses trois leçons les plus importantes. D'abord renoncer au déterminisme de la physique classique au profit d'une vision probabiliste ; ensuite considérer que beaucoup de grandeurs apparemment continues (telle l'altitude d'un piéton sur une colline) sont en réalité discrètes (telle l'altitude de ce même piéton dans un immeuble à étages) ; enfin admettre que certaines particules sont comme douées d'ubiquité (elles peuvent se trouver dans plusieurs lieux ou états à la fois).

L'étrange mort du chat quantique

De cette ubiquité découle la fameuse expérience du chat de Schrödinger. Supposons qu'on enferme dans une boîte opaque un chat et un noyau radioactif dont la désintégration aléatoire déclenche un mécanisme mettant fin à la vie du chat. Tant qu'aucun observateur ne va voir ce qui se passe dans la boîte, la mécanique quantique considère que le noyau est dans une superposition d'états, c'est-à-dire à la fois désintégré et non encore désintégré. Par conséquent, le chat est à la fois mort et vivant... Beaucoup d'encre a coulé autour de ce paradoxe, et la question est loin d'être résolue.

Dans les années 1950, un physicien de Princeton, Hugh Everett, en propose une interprétation incroyable : à chaque interaction d'un système quantique avec un système classique se produirait une bifurcation en plusieurs univers parallèles. Autrement dit, il existerait un monde où le chat est mort et un autre où il est vivant, ces deux mondes étant réels mais

n'interagissant plus entre eux ! Les événements de ce type étant innombrables, les mondes parallèles pulluleraient. La proposition semble déraisonnable, pourtant, un « sondage » chez les physiciens théoriciens montre qu'ils sont de plus en plus nombreux à la considérer comme correcte. Et pour cause : cette vision se révèle à la fois plus sobre et plus cohérente que la vision usuelle, dite de Copenhague, qui doit inventer des contorsions mathématiques pour éviter le chat « mort-vivant ». Le test ultime serait évidemment l'expérience.

Une hypothèse invraisemblable ?

L'interprétation d'Everett a longtemps été considérée comme invérifiable. Dans un récent article², je montre, sur les pas du physicien Don Page, qu'il n'est pas impossible de mettre cette interprétation à l'épreuve des observations. L'idée consiste à trouver une situation où les deux interprétations vont conduire à des prédictions différentes. Je construis dans ce travail un test qui utilise l'évolution de l'Univers juste après le Big Bang, quand il était encore décrit par la physique quantique.

Sachant que différentes évolutions quantiques possibles de l'Univers mènent à des nombres différents d'observateurs, il devient possible, à partir de l'étude de notre monde, de trancher entre les deux visions. Techniquement, le cœur de l'argument vient de ce que les univers improbables existent réellement chez Everett (en petit nombre) alors qu'ils ne sont (en général) que des possibilités sans réalité matérielle dans la vision de Copenhague.

On peut comprendre l'idée centrale à partir d'une analogie. Supposons qu'un sac contienne un million de boules noires et une seule boule blanche. Selon la vision de Copenhague, ces boules sont les mêmes. Mais, selon la vision d'Everett, quelque chose « favorise » la boule blanche : par exemple, elle se trouverait toujours sur le dessus de la pile et serait un milliard de fois plus grosse que les boules noires. Les deux interprétations prédisent bien le même nombre de boules de chaque couleur, mais elles diffèrent sur la prédiction concernant la boule que nous allons tirer au sort ! Celle de Copenhague prédit qu'un tirage en aveugle conduira à saisir une boule noire ; celle d'Everett, une boule blanche.

Trop tôt pour pouvoir trancher

Les deux interprétations sont donc ici distinguables. Suivant la boule qui est tirée au sort, c'est l'une ou l'autre qui sera favorisée. Naturellement, la boule tirée est ici une métaphore de l'univers dans lequel nous nous trouvons. Dans les faits, il est encore trop tôt pour pouvoir bâtir une telle expérience. Mais, dans le cadre de l'inflation cosmologique, des éléments tendent à favoriser la vision d'Everett.

Néanmoins, il convient d'être prudent quant aux tests possibles de l'existence d'univers parallèles. Je crois toutefois qu'il est important de se poser ces questions. Peut-être ces univers n'existent-ils pas ? Mais il serait regrettable de les balayer d'un revers de la main. D'abord parce qu'ils sont prédits par certaines de nos théories (en ce sens, ils ne sont pas une hypothèse mais une conséquence) et qu'il serait incohérent d'user de ces théories en négligeant ce qu'elles génèrent. Ensuite parce que ces théories peuvent être scientifiquement testées, comme nous venons de le montrer. Enfin parce que cela peut avoir des effets concrets sur les prédictions physiques dans notre univers. **II**



Tous les premiers vendredis du mois, retrouvez sur lejournal.cnrs.fr les Inédits du CNRS, des analyses scientifiques originales publiées en partenariat avec Libération.

1. Unité CNRS/UJF/Grenoble INP. 2. « Testing the Everett Interpretation of Quantum Mechanics with Cosmology », Aurélien Barrau, *Electronic Journal of Theoretical Physics*, publié le 25 juillet 2015.

VIVANT 

Médecine. Philippe Kourilsky¹ évoque les succès, les échecs et les espoirs de l'immunologie, discipline dont il est l'un des spécialistes mondiaux.

PROPOS RECUEILLIS PAR LOUISE MUSSAT

Les promesses de l'immunologie



© P. IMBERT/COLLEGE DE FRANCE



Le Jeu du hasard et de la complexité. La nouvelle science de l'immunologie, Philippe Kourilsky, Odile Jacob, sept. 2014, 334 p., 29,90 €

L'immunologie existe au moins depuis le XIX^e siècle. Pourtant, dans votre livre *Le Jeu du hasard et de la complexité*, vous parlez de la « nouvelle science de l'immunologie ». Pourquoi ?

Philippe Kourilsky : J'y souligne que la biologie n'est pas que la science de la vie. C'est aussi la science de la survie. Pour moi, il faut élargir l'immunologie à l'ensemble des défenses naturelles de l'homme. Il ne s'agit plus seulement d'étudier celles qui combattent les agents pathogènes (virus, bactéries, champignons...), mais également celles qui s'attaquent aux « ennemis de l'intérieur », à savoir aux innombrables erreurs commises par nos cellules au sein de l'organisme.

La plupart du temps, cette surveillance fonctionne plutôt bien...

P. K. : En effet, notre organisme est une machine particulièrement robuste et performante. Il est très probable que nous développons régulièrement des mini-cancers et toutes sortes d'infections bénignes. Nous ne nous en rendons pas compte parce que notre système immunitaire parvient à s'en débarrasser. Ainsi, on n'observe la tumeur cancéreuse que lorsque le système a échoué.

Pourquoi le système échoue-t-il de temps en temps face à ces « ennemis de l'intérieur » ?

P. K. : Parce qu'il peut être débordé, ou contourné, et qu'il peut lui-même commettre des erreurs. Il faut en général une bonne demi-douzaine de mutations pour qu'une cellule échappe à tout contrôle et se multiplie de façon anarchique. Une mini-tumeur se développe alors. L'organisme peut parvenir à s'en débarrasser. Mais si, par

hasard, de nouvelles mutations se produisent au sein de cette tumeur, cela facilite son échappement. Si le cancer reste si difficile à soigner, c'est parce qu'il y a quasiment autant de cancers que de types cellulaires. Pour chacun, il faut donc apporter une réponse spécifique.

La chimiothérapie et les rayons ne sont pas très spécifiques...

P. K. : C'est pour cela que l'on développe d'autres techniques. Ainsi, l'immunothérapie vise à stimuler les défenses immunitaires du patient. Cela consiste à lui administrer des anticorps spécifiques, dirigés contre telle ou telle catégorie de tumeur. On peut aussi prélever, dans les tumeurs cancéreuses, des lymphocytes T porteurs du récepteur adéquat et capables d'éliminer les cellules cancéreuses. On fait ensuite proliférer ces cellules tueuses par milliards in vitro, dans des environnements hyperstériles. Cette technique est parfois couronnée de succès, mais elle est compliquée et très coûteuse. Une nouvelle approche est en train d'émerger, qui permet de faire proliférer les bonnes cellules tueuses au sein même du corps humain.

On compte désormais plusieurs cas de rémission totale de cancers grâce à l'immunothérapie...

P. K. : Attention, ne donnons pas de faux espoirs. On parvient à guérir les souris du cancer avec ce type d'approche depuis quinze à vingt ans. Mais il est très compliqué de remporter le même succès chez l'homme. Certes, des équipes (notamment celle de Carl June, à l'université de Pennsylvanie) ont récemment obtenu une proportion impressionnante de rémissions complètes, mais nous n'en sommes qu'à la phase expérimentale. Cette précaution

1. Professeur émérite au Collège de France et ancien directeur de l'Institut Pasteur, Philippe Kourilsky a effectué la majeure partie de sa carrière au CNRS, où il a été directeur de recherche de classe exceptionnelle. 2. Entre 1988 et 1994. 3. Antigènes des leucocytes humains.

➤ Ces globules blancs (ici en rouge) entourent les bactéries qui provoquent la tuberculose.



Lire l'intégralité de l'interview sur lejournal.cnrs.fr

prise, je dois avouer que cela fait des années que je n'ai pas vu de résultats aussi prometteurs...

Les avancées pour contrer certains « ennemis de l'extérieur » sont moins spectaculaires. Pourquoi ne parvient-on toujours pas à élaborer un vaccin contre le VIH ?

P. K. : Les vaccins mis au point jusqu'à maintenant étaient peut-être les plus faciles. Désormais, on s'attaque aux plus coriaces. Ceux contre les virus ou les parasites qui ont la faculté de muter très rapidement, comme ceux responsables de la malaria, de la grippe et du sida. Le virus VIH cumule deux casse-tête : non seulement il est en constante mutation, mais en plus il s'attaque au système immunitaire. La perspective de vacciner massivement les populations est donc très lointaine. C'est pour cette raison qu'une autre partie de la communauté préfère se consacrer à la confection d'un vaccin non pas préventif, mais thérapeutique, qui complète ou remplace le traitement par les médicaments antirétroviraux.

Pouvez-vous me dire ce qui vous surprend le plus dans le système immunitaire ?

P. K. : Beaucoup de mécanismes et de phénomènes liés à l'immunité et aux défenses naturelles me sidèrent. Par exemple, la faculté qu'ont nos lymphocytes B, ceux qui ont pour fonction de produire des anticorps, à combiner aléatoirement des morceaux de gènes pour dépasser la limite des 25 000 gènes que compte notre génome afin de produire des centaines de millions d'anticorps différents. L'organisme parvient ainsi à se doter d'une « couverture » anti-infectieuse quasi complète, puisqu'il est capable de répondre à l'immense variété des antigènes, qui évoluent sans cesse.

“Si le cancer reste si difficile à soigner, c'est aussi parce qu'il ne s'agit pas d'une seule et même maladie.”

Une question plus personnelle pour terminer : pourquoi avez-vous choisi l'immunologie ?

P. K. : Je dois vous dire la vérité : c'est grâce à mon frère François. Au moment où j'ai commencé la recherche, en génie génétique, il était immunologiste, avant de devenir directeur général du CNRS². Il m'a conseillé d'isoler par clonage et d'étudier les gènes du système HLA³. Et c'est ainsi que, de fil en aiguille, je suis devenu immunologiste... II

À lire

SEXE

Compilation de trois entretiens de chercheurs sur le sexe, ce livre regorge de statistiques et de réflexions étonnantes. On apprendra, grâce au biologiste Pierre-Henri Gouyon, que sur le plan évolutif le mâle peut être considéré comme une espèce de parasite de la femelle. Avec la sexologue Mireille Bonierbale, on notera que la véritable forme de l'appareil clitoridien n'a été décrite qu'en 1988. Tandis que, selon l'anthropologue Michel Bozon, surprendre l'acte sexuel des parents était sans doute une expérience banale au Moyen Âge...



À quoi sert le sexe ?, Mireille Bonierbale, Michel Bozon et Pierre-Henri Gouyon, Belin, coll. « L'atelier des idées », novembre 2015, 192 p., 16 €

SOCIÉTÉ

Comment en est-on arrivé à une logique de repli généralisée en France ? Deux historiens et un sociologue, spécialistes de l'histoire coloniale et des immigrations, se penchent sur la fragmentation de la société, sur les tensions intercommunautaires, sur le ressac effrayant de l'antisémitisme, du rejet de l'islam et de la haine de soi. De leur analyse, ils tirent un constat amer qui prend la forme d'un appel très clair : il est grand temps de réagir.

Le Grand Repli, Nicolas Bancel, Pascal Blanchard et Ahmed Boubekeur, La Découverte, coll. « Cahiers libres », septembre 2015, 198 p., 14,50 €



**THÉÂTRE
LA REINE
BLANCHE**

2 BIS PASSAGE RUELLÉ
75 018 PARIS
M¹ LA CHAPELLE / MARX DORMOY
WWW.REINEBLANCHE.COM

UN DIMANCHE PAR MOIS. LES PLUS GRANDS SCIENTIFIQUES PARTAGENT AVEC VOUS LA BEAUTÉ DE LA SCIENCE

RÉSERVATIONS : 01 40 05 06 96

06 DÉCEMBRE
SCULPTURES D'EAU
DAVID QUÉRÉ (CNRS-ESPCI)
ET BENOÎT PYPÉ
(ARTS DÉCORATIFS)

17 JANVIER
PHYSIQUE STATISTIQUE
ET VOLS D'ÉTOURNEAUX
IRENE GIARDINA
(UNIVERSITÉ LA SAPIENZA,
ROME, ITALIE)

14 FÉVRIER
ALBERT ARCTIK
(UNIVERSITÉ DE L'ALASKA,
FAIRBANKS, USA)

20 MARS
CLOTILDE POLICAR ET
LES ÉLÈVES DE L'ENS PARIS

10 AVRIL
LES ÉLÈVES DE L'ÉCOLE CAVÉ
(PARIS 18)

12 JUIN
LUDOVIC PAUCHARD
(CNRS-ORSAY)
ET CÉLINE NADAL
(MUSÉES DE TROYES)



**SCÈNES DE SCIENCE
LE DIMANCHE À 11H**





© R. SCHINNER

« Attention aux solitudes interactives »

PROPOS RECUEILLIS PAR LAURE CAILLOCE

Vous venez de publier un livre, *La Communication, les Hommes et la Politique*, qui retrace votre carrière de chercheur en communication...

Dominique Wolton : C'est un livre-manifeste qui couvre quarante années de recherche. J'y ai réuni une soixantaine d'articles publiés sur dix thématiques différentes : la famille et le couple, les syndicats et l'organisation du travail, les médias, l'Europe, la mondialisation... Et, bien sûr, la communication, qui est le fil rouge de toutes mes recherches, et le véritable enjeu de chacun de ces domaines. Que ce soit à l'intérieur du couple, dans les entreprises ou dans le champ de la politique, de l'espace public ou de la communication politique, ce qui m'intéresse depuis toujours, ce sont les difficultés de la communication, ce que j'appelle l'incommunication. Pourquoi tout le monde veut communiquer et pourquoi personne n'y arrive.

“Avec Internet et les réseaux, nous sommes dans des interactions permanentes, mais si tout le monde s'exprime, qui écoute?”

NUMÉRIQUE

Communication. Et si les nouvelles technologies, au lieu de nous rapprocher, nous éloignaient les uns des autres ? C'est la mise en garde du spécialiste de la communication Dominique Wolton¹, que nous avons interviewé à l'occasion de la sortie de son dernier livre.

La donne a-t-elle beaucoup changé en quarante ans ?

D. W. : Considérablement ! La démocratie s'est invitée dans toutes les sphères de la société. Et qui dit démocratie dit une multitude d'acteurs habilités à s'exprimer, avec un risque fort d'augmenter encore les problèmes de compréhension. Hier, communiquer c'était informer, aujourd'hui communiquer c'est négocier et cohabiter avec l'autre, ce qui est beaucoup plus compliqué ! Dans la famille, par exemple, tout le monde aujourd'hui s'exprime et revendique. Dans le monde du travail, le patron a perdu de son pouvoir hégémonique et tout se négocie. Dans le monde politique lui-même, hier seuls les ténors s'exprimaient, l'information était relayée par la presse et descendait jusqu'à l'opinion publique ; aujourd'hui, une multitude d'acteurs prend la parole et l'opinion publique elle-même s'exprime en continu au travers des sondages, des médias et des réseaux. D'où le troisième sens du mot communication que je privilégie, à côté du partage et de la transmission : celui de la négociation. On rêve de partager avec ceux qui nous ressemblent,

mais le plus souvent on se retrouve en train de négocier avec l'autre qui n'est pas forcément d'accord avec nous...

Les nouveaux outils - Internet, réseaux sociaux - ne facilitent-ils pas la communication ?

D. W. : Oui et non. Les informations vont plus vite, pas forcément l'intercompréhension. Plus les messages vont vite, plus notre monde est petit, transparent, interactif... et plus l'incommunication augmente. Le paradoxe de nos sociétés mondialisées hyperconnectées où tout le monde voit tout, c'est que l'indifférence à l'autre et la haine n'ont pas diminué. Il suffit de voir l'actualité... Pour moi, le plus grand défi du XXI^e siècle n'est pas l'écologie, mais plutôt la capacité à organiser la cohabitation culturelle entre des peuples que tout sépare et éviter que les outils de communication ne deviennent un accélérateur de l'incompréhension et de la guerre. À quoi bon avoir 7 milliards d'internautes si ce sont 7 milliards d'intolérants ?

Pourtant, ces outils semblent faire l'unanimité aujourd'hui...

D. W. : C'est compliqué la communication ! D'où la tentation de l'identifier aux performances techniques, car celles-ci sont toujours efficaces. Le problème aujourd'hui est le manque d'esprit critique vis-à-vis des technologies de l'information. On est dans une sorte de fascination qui fait perdre de vue que l'outil est en réalité ce qu'il y a de plus simple. Le plus compliqué, c'est la communication, c'est-à-dire la relation. Avec Internet et les réseaux, nous

1. Directeur de recherche émérite à l'Institut des sciences de la communication du CNRS (CNRS/Univ. Paris Sorbonne/UPMC).



© HERO IMAGES INC./CORBIS

sommes dans des interactions permanentes, mais si tout le monde s'exprime, qui écoute ? Attention aux solitudes interactives ! Je viens d'ailleurs de diriger un numéro double de la revue *Hermès* sur ce sujet – « Le xx^e siècle saisi par la communication » – qui tente d'évaluer les ruptures introduites par ces révolutions de l'information et de la communication.

Quelles solutions préconisez-vous pour remédier à cette incommunication généralisée ?

D. W. : Tout d'abord, commencer par accepter ce décalage indispensable : la communication technique est très rapide, la communication humaine, très

lente. Deuxième règle, admettre que la communication technique ne remplacera jamais la communication humaine, d'où l'importance de multiplier les rencontres, séminaires, voyages..., à mesure que nous intensifions notre utilisation d'Internet et des réseaux sociaux. Troisième règle, communiquer à l'échelle du monde nécessite de respecter la diversité culturelle et linguistique des peuples. Plus il est facile d'échanger, plus il faut préserver les identités culturelles. Sinon les peuples et les individus sont perdus, agressifs. Oui à l'anglais pour son côté pratique, mais à condition de respecter les langues de la diversité culturelle, comme le dit très bien la convention de l'Unesco signée en 2005. Enfin, il faut



La Communication, les Hommes et la Politique, Dominique Wolton, CNRS Éditions, coll. « Biblis », sept. 2015, 736 p., 12 €

Le xx^e siècle saisi par la communication, *Hermès*, n° 70 : « Les révolutions de l'expression », vol. 1, 246 p. ; n° 71 : « Ruptures et filiations », vol. 2, 352 p., 2015, 25 € le volume

repenser le concept de communication et le légitimer. C'est un concept politique, au même titre que celui de la démocratie, et qui a le même objectif : organiser la cohabitation entre des points de vue contradictoires dans un monde transparent et interactif. La question de l'altérité est la grande question du xxi^e siècle. Pour s'en saisir, il faut sortir de la technique, quelles que soient ses performances, et comprendre que la communication est d'abord une question politique. **II**



« À DÉCOUVERT »

Une collection de référence et une approche pluridisciplinaire pour décrypter les grands enjeux contemporains.

CNRS EDITIONS 39 €







Roberto Vargiolu, Laboratoire de tribologie et dynamique des systèmes¹

“Je me souviens...”

PROPOS RECUEILLIS PAR CHARLINE ZEITOUN

... de la prise d'empreinte sur le bras d'Ounnout, une momie copte très bien conservée et recouverte de feuilles d'or, exposée au musée des Beaux-Arts de Dunkerque. Dévêtue, sans doute par les archéologues qui l'ont trouvée au début du xx^e siècle, elle a perdu toute trace des textiles qu'elle portait sauf... dans le relief de sa peau. Pour le reconstituer, j'ai réalisé une empreinte avec du silicone dans le cadre d'une étude menée par le Louvre entre 2010 et 2012. Le silicone permet d'obtenir des détails d'une dizaine de nanomètres². Ils correspondent à une “signature” des vêtements portés en fonction de l'empreinte laissée. Hélas, il semble que la momification ait fait disparaître les sillons cutanés qui auraient aussi pu nous renseigner sur l'âge d'Ounnout au moment de sa mort. Ma discipline, la tribologie, science de l'usure et des frottements, sert beaucoup à l'étude du vieillissement de la peau. Mais je crois que son utilisation sur des restes humains a été une première.”

PHOTO : C. FRÉSILLON/CNRS PHOTOTHÈQUE/
MBA DUNKERQUE/LTDS

1. Unité CNRS/Centrale Lyon/Enise/ENTPE/Institut Carnot Ingénierie@Lyon/Univ. de Lyon. 2. Un nanomètre est égal à 10⁻⁹ mètre.



» À lire en ligne : la bande-dessinée de vulgarisation de Roberto Vargiolu, parue en novembre, *Sophie et les mystérieuses momies dorées* : <http://bit.ly/1Mt3SHM>







de Denis Guthleben,
historien au CNRS

Astérix à la conquête de l'espace

Nous sommes en 1965 après J.-C. Tout le monde est partagé en deux blocs. Tout ? Non ! Car un pays peuplé d'irréductibles gaulistes résiste encore et toujours, entre les empires américain et soviétique. Astucieux et inventifs, volontiers orgueilleux, ils ambitionnent de conquérir l'espace, rien de moins ! Et Astérix s'apprête à leur en ouvrir les portes...

Bip et boum...

Cet Astérix-là n'est pas un petit teigneux, accompagné d'un copain... légèrement enveloppé. « A1 » de son nom officiel est un satellite de 39 kilogrammes formé de quatre éléments : une balise émettant des ondes radioélectriques, un répondeur radar, un émetteur de télémétrie et un système thermométrique. Un engin bien rudimentaire, en somme, mais un symbole fort : en parvenant à le propulser vers le firmament, les irréductibles espèrent se hisser au niveau des supergrands, l'URSS et les États-Unis qui, dans cet ordre chronologique – 1957 avec Spoutnik, 1958 avec Explorer –, ont déjà posé leurs gros souliers dans l'espace.

En parvenant à le propulser ? C'est bien le problème ! Car un satellite n'est pas un menhir que l'on expédie après une rasade de potion magique : il faut un lanceur puissant et sophistiqué. À dire vrai, cet élément est même le plus important : en 1965, la mission d'Astérix consiste surtout à valider la fusée Diamant qui doit l'embarquer. On arrive alors à un autre registre de gauloiseries : il y a la prouesse technologique, bien sûr ; et puis la fierté nationale, avec laquelle le chef des irréductibles ne badine pas ; mais avant tout, il y a le message urbi et orbi : être en mesure d'envoyer quelque chose qui fait un petit « bip bip » dans les étoiles, cela signifie que l'on peut aussi lancer quelque chose qui ferait un gros « boum » sur Terre. Pas la peine de faire un dessin...

Le CNRS dans les étoiles

Avant d'en arriver là, un long chemin a été parcouru. Dans son récent ouvrage, *L'Aventure spatiale française* (Nouveau Monde, 2015), notre confrère Philippe Varnoteaux l'a fait revivre avec brio : les balbutiements de l'après-guerre, avec

les premières fusées inspirées des redoutables V2 allemands ; l'acharnement de quelques électrons libres, scientifiques et militaires, dans les années 1950, avec entre autres le lancement en 1952 de Véronique-N, notre premier engin stratosphérique ; et surtout la grande mobilisation qui survient à partir de 1958, avec la naissance quatre ans plus tard du Cnes, qui devient vite l'un des grands partenaires du CNRS.

Le CNRS, justement, est intervenu dans cette histoire, dès la Libération. Et à partir de la fin des années 1950, son service d'aéronomie a en particulier été l'un des principaux acteurs du spatial français, sous les directions successives d'Alfred Kastler, de Pierre Auger puis de Jacques Blamont. C'est l'occasion de le rappeler une fois encore :

depuis sa naissance, notre établissement a toujours été dans les bons coups (scientifiques) !

Il y a tout juste
50 ans, la France
mettait son
premier satellite
en orbite.

Hourra pour la Gaule !

Mais revenons à 1965 et à Astérix. Son lancement est prévu le 26 novembre, à 15 h 47, depuis la base d'Hammaguir, dans la région de Béchar, en Algérie. À H – 6 heures, les réservoirs de la fusée Diamant sont remplis. À H – 4 heures l'officier d'essai procède aux ultimes vérifications. À H – 1 heure, le compte à rebours commence.

À H – 2 secondes, l'opérateur du centre d'essai annonce le « top décollage ». L'opération est un succès, et à H + 10 min 22, la capsule technologique A1 se détache du dernier étage de la fusée à l'altitude prévue.

Sauf que le satellite demeure silencieux. Autant le dire crûment : à ce moment-là, toutes les fesses sont serrées au poste de commandement du champ de tir. Au bout de quelques minutes, c'est le soulagement : le réseau de poursuite et de localisation du Centre interarmées d'essais d'engins spéciaux confirme le passage du satellite au méridien de la station. Sans décrocher une seule baffe, les irréductibles viennent de remporter une belle victoire. C'était il y a tout juste 50 ans, et la Gaule devenait la troisième puissance spatiale. ■

PLATONIUM

Une œuvre au croisement de l'art et de la science

FÊTE DES LUMIÈRES | LYON
DU 5 AU 8 DÉCEMBRE 2015

Nous sommes au regret de vous annoncer l'annulation de Platonium.

La Ville de Lyon et la préfecture considérant, pour des raisons de sécurité, que la Fête des Lumières ne pourra se dérouler comme prévu, l'événement organisé par le CNRS et ses partenaires dans la cour de l'hôtel de ville est annulé.

La Ville de Lyon envisage néanmoins de garder le même programme pour 2016.



Production : CNRS

Direction artistique : Éric Michel | Akari Lisa Ishii-ICON

www.cnrs.fr/platonium | [#platonium](https://twitter.com/platonium)



Partenaires



Laboratoires partenaires



Dans le cadre de



JUSQU'À
100€
OFFERTS
POUR LES MOINS DE 30 ANS*



Votre vocation fait votre fierté, la nôtre est de vous assurer.

En tant qu'agent du service public, vous vous engagez pour les autres, alors GMF s'engage pour vous en vous proposant, par exemple, d'assurer votre véhicule même lorsque vous l'utilisez pour des déplacements professionnels, sans supplément de cotisation. Et pour aller plus loin, GMF propose des garanties spécifiques liées à votre fonction : une garantie perte de revenu (traitement et primes) en cas d'arrêt de travail, des solutions d'épargne sûres et disponibles pour commencer à préparer votre retraite.

Rejoignez GMF - 1^{er} assureur des agents des services publics.

Pour en savoir plus rendez-vous sur www.gmf.fr

* 50 € pour l'assurance Auto Pass et 50 € pour l'assurance Santé Pass. Offre réservée aux jeunes agents des services publics de moins de 30 ans, la 1^{ère} année, à la souscription d'un contrat d'assurance auto. Offre valable jusqu'au 31/12/2015.

LA GARANTIE MUTUELLE DES FONCTIONNAIRES et employés de l'État et des services publics et assimilés - Société d'assurance mutuelle - Entreprise régie par le Code des assurances - R.C.S. Paris 775 691 140 - Siège social : 76, rue de Prony - 75857 Paris Cedex 17 et sa filiale GMF Assurances. Adresse postale : 45930 Orléans Cedex 9.