



CLAUDE  
LORIUS,  
une vie  
sur la glace

ENQUÊTE  
**Ces matériaux  
qui vont  
tout changer**

Comment  
**les maths**  
dopent  
l'économie

INTÉGRITÉ  
SCIENTIFIQUE :  
entretien avec  
**Alain Fuchs**

# Vous travaillez au CNRS, abonnez-vous à votre journal !

À partir de janvier 2016, **CNRS Le journal** ne sera plus envoyé systématiquement au domicile des agents du CNRS.

Si vous souhaitez continuer à le recevoir,  
abonnez-vous gratuitement et simplement sur  
**[www.cnrs.fr/abojournal](http://www.cnrs.fr/abojournal)**

- 1 Allez sur **[www.cnrs.fr/abojournal](http://www.cnrs.fr/abojournal)**
- 2 Connectez-vous avec votre adresse de messagerie CNRS (figurant dans Labintel).
- 3 Vous recevez un mail pour confirmer votre abonnement

*Aucune adresse postale n'est requise, CNRS Le journal vous sera envoyé à la même adresse que votre bulletin de paie.*



Pour gérer votre abonnement ou vous désabonner, rendez-vous sur le site [www.cnrs.fr/abojournal](http://www.cnrs.fr/abojournal)



**CONCOURS**

MA THÈSE EN  
**180**  
SECONDES

**FINALE INTERNATIONALE**

**Judi 1<sup>er</sup> octobre 2015**  
**18h30 Paris, la Sorbonne**



En partenariat avec



Inscription gratuite  
et obligatoire sur le site  
**[mt180.fr](http://mt180.fr)**

Suivez MT180



# CNRS LE JOURNAL

## 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>

## Directeur de la publication :

Alain Fuchs

## Directrice de la rédaction :

Brigitte Perucca

## Directeur adjoint de la rédaction :

Fabrice Impériali

## Rédacteur en chef :

Matthieu Ravaut

## Chef de rubrique :

Charline Zeitoun

## Rédacteurs :

Laure Cailloce, Claire Debôves,

Yaroslav Pigenet

## Assistante de la rédaction

et fabrication :

Laurence Winter

## Ont participé à ce numéro :

Lydia Ben Ytzhak, Marie Chadefaux,  
Anne-Lise Christmann, Audrey Diguët,  
Mathieu Grousson, Sylvain Guilbaud,  
Denis Guthleben, Louise Lis, Carina Louart,  
Louise Mussat, Alexandre Peruchon,  
Jonathan Rangapanaiken,  
Vahé Ter Minassian, Meryem Tizniti

## 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 : parc solaire de la Colle  
des Mées, plus grande installation  
photovoltaïque de France.

PHOTO : I. HANNING/RÉA

Ce mois d'août, l'International Council for Industrial and Applied Mathematics (Iciam) tenait son 8<sup>e</sup> congrès à Beijing, avec la remise de plusieurs prix couronnant des mathématiciens dont les travaux ont des applications industrielles. L'école française de mathématiques, déjà bien récompensée à l'International Congress of Mathematicians de Séoul en 2014, se réjouit du prix Maxwell décerné à Jean-Michel Coron. Ses contributions sont parmi les résultats les plus originaux dans le domaine du contrôle des équations aux dérivées partielles non linéaires et ont connu de nombreuses retombées, notamment pour la régulation des rivières.

Il fait bon se rappeler que le premier congrès Iciam s'est tenu à Paris en 1987, signe de l'attention particulière portée en France aux liens entre les mathématiques et le monde de l'entreprise. Dans ce contexte, les résultats de l'étude sur l'impact socio-économique des mathématiques en France prennent une résonance particulière et viennent conforter le travail de fond mené depuis plusieurs années pour intensifier et faciliter les liens entre mathématiciens et entreprises. Vont dans cette direction des initiatives à portée nationale comme l'Agence pour les mathématiques en interaction avec l'entreprise et la société (Amies) ainsi que des actions régionales comme la Maison grenobloise de la modélisation et de la simulation (Maimosine)

et sa petite sœur strasbourgeoise Cemosis (Centre de modélisation et de simulation de Strasbourg).

Mais, au-delà de l'aspect médiatique des chiffres (15 % du PIB et 9 % des emplois impactés par les mathématiques), cette étude fait écho à une des missions de l'Institut national des sciences mathématiques et de leurs interactions (Insmi) : faire vivre les mathématiques en interaction avec

les autres sciences. C'est en particulier par leur insertion au sein des sciences du numérique, avec l'informatique et les sciences de l'ingénieur, que les mathématiques peuvent pleinement développer leur potentiel d'innovation. Les mathématiques sont souvent perçues par le grand public comme l'archétype de la science abstraite ; cette étude sur leur impact socio-économique fournit une belle illustration du fait qu'il n'y a pas d'innovation technologique sans recherche aux fondements du savoir. Un paradigme qui concerne toutes les sciences, bien au-delà du cas particulier des mathématiques.

*Christoph Sorger,*  
directeur de l'Institut national des sciences  
mathématiques et de leurs interactions (Insmi)



© CNRS/DÉLÉGATION PMA



# GRAND FORMAT

# 13

Comment les maths dopent l'économie .....	14
Forêts morcelées, oiseaux menacés? .....	24
Ces matériaux qui vont tout changer .....	30

## 6

Claude Lorius,  
une vie sur la glace



La grotte Chauvet  
vue par ses copistes

## 42



Les avocats  
ont-ils  
un sens moral?

## 60

## EN PERSONNE 5

Des médailles au féminin pluriel .....	10
Thierry Mandon, nouveau secrétaire d'État pour l'ESR .....	11
Blandine Genthon à la tête de CNRS Éditions .....	11
180 secondes de science, des mois de préparation .....	12

## EN ACTION 37

Se partager pour mieux penser .....	38
Ces protéines folles qui minent notre cerveau .....	40
Conférence Climat 2015 : le CNRS aux avant-postes .....	41
Perturbateurs endocriniens : le coût de l'inaction .....	44
Le séisme de Katmandou décrypté .....	46
Une délégation au diapason de la recherche francilienne .....	47
La cohabitation avec les grands singes est-elle possible? .....	48
Tehlirian, le procès d'un génocide .....	50
Les flops de l'innovation .....	52
Le graphène est-il toxique? .....	54

## LES IDÉES 55

Entretien avec Alain Fuchs : « Nous ne transigeons pas avec l'intégrité » .....	56
Reprenons le contrôle de nos données .....	58
La mémoire filmée de la Shoah .....	62
COP 21 : on a oublié d'inviter l'océan ! .....	63

### CARNET DE BORD

Livio De Luca nous raconte un souvenir de recherche ..... 64

### LA CHRONIQUE DE DENIS GUTHLEBEN

Affinités chinoises ..... 66

# EN PERSONNE



*Claude Lorius star au Festival de Cannes, zoom sur quatre lauréates des médailles d'argent et de bronze, des doctorants qui racontent leur thèse en 180 secondes.*

ILLUSTRATION : BENOÎT TARDIF/COLAGENE.COM POUR CNRS LE JOURNAL

# Claude Lorius, une vie sur la glace

PAR LAURE CAILLOCE



## TERRE

**Environnement.** Ce pionnier de la glaciologie, héros du dernier documentaire de Luc Jacquet, a révélé que les glaces antarctiques contenaient la mémoire du climat du passé. Il a mis en évidence le rôle crucial des gaz à effet de serre dans le réchauffement climatique actuel.

La vie réserve des surprises... Jamais Claude Lorius, lorsqu'il était étudiant en sciences physiques dans son Besançon natal, n'aurait imaginé monter un jour les marches du Festival de cinéma de Cannes, qui plus est à l'âge vénérable de 83 ans. Mais il faut être prêt à tout quand on a le sens de l'aventure ! Et l'aventure, le glaciologue qui totalise près de 20 expéditions en Antarctique – soit l'équivalent de six années passées sur place – en connaît un rayon... Le fondateur de la climatologie moderne, médaille d'or du CNRS en 2002 et héros du dernier film de Luc Jacquet, *La Glace et le Ciel*, ne rêvait pourtant pas d'étendues gelées lorsqu'il était adolescent – il voulait devenir footballeur professionnel, comme son frère aîné, gardien de but à Sochaux. C'est une petite annonce affichée en 1955 sur les murs de l'université

▲ À Vostok, Claude Lorius (en bleu) est tombé sur un trésor : des carottes glaciaires extraites sur 2 000 mètres de profondeur.

de Besançon qui l'entraîne vers le continent blanc : « *On recherche jeunes chercheurs pour participer aux campagnes organisées pour l'Année géophysique internationale.* » « *C'était la première fois que la recherche s'intéressait aux régions polaires, qui n'avaient jusque-là été parcourues que par des explorateurs, précise Claude Lorius. On ne savait quasiment rien d'elles...* »

### Un hivernage à la station Charcot

Pour l'occasion, la France dispose de deux sites d'observation en Antarctique : la base côtière de Dumont-d'Urville, en Terre Adélie, et la station Charcot, fraîchement installée au cœur du continent, à 310 kilomètres de là... Il débarque à Charcot la veille de Noël 1957, après une formation de deux mois au Groenland pour s'initier aux rudiments de la glaciologie et une visite médicale qui l'allège de ses dents de sagesse et de son appendice... « *Avec mes deux compagnons, on allait passer une année complètement isolés, on ne pouvait pas se permettre d'avoir une urgence médicale sur place* », explique-t-il. Venu là « *plus pour l'aventure que pour la science* », le jeune homme a néanmoins une mission bien précise : déterminer pourquoi l'Antarctique est si froid. « *Je devais mesurer la vitesse du vent, la température de la neige et l'apport énergétique du soleil.* » Côté péripéties, lui et ses compagnons sont servis : la tour de 12 mètres destinée à supporter les instruments, les éoliennes et les antennes s'écroule sous la poussée du vent, privant deux mois durant





► Pour le film de Luc Jacquet *La Glace et le Ciel*, Claude Lorius a refait le voyage en Antarctique.

© ESKWAD - WILD TOUCH - L. JACQUET

la station d'électricité et de moyens de communication... Des moments difficiles qui n'empêchent pas le jeune homme d'attraper le virus de l'Antarctique, bien au contraire. « *Je ne rêvais que d'une chose : revenir !* », confie Claude Lorius.

L'occasion lui en est fournie dès 1959 : les Américains veulent entreprendre un raid d'exploration de 2 500 kilomètres sur le continent, le raid en Terre de Victoria, et cherchent des volontaires aguerris aux milieux polaires. Si l'expédition lui procure la plus grosse frayeur de sa vie – il tombe au fond d'une crevasse de 30 mètres, heureusement sans mal –, elle lui offre surtout la découverte qui déterminera le reste de sa carrière : celle du fameux « thermomètre isotopique », ou comment la glace conserve la mémoire des températures passées. « *À chaque étape, on enfonce un thermomètre à 20 mètres sous la neige. C'est en effet ainsi que l'on obtient la température moyenne du lieu sur l'année*, raconte le glaciologue. *Moi, je ramassais la neige extraite du trou afin de garder des échantillons. À vue d'œil, on pouvait constater que les grains de neige n'avaient pas la même taille selon qu'ils s'étaient formés en été ou en hiver, comme s'il y avait une sorte de mémoire des saisons...* »

#### L'inventeur du « thermomètre isotopique »

Mais il était loin de se douter du résultat qu'allaient révéler les analyses faites dans les laboratoires de Saclay à son retour : non seulement la taille des grains varie, mais les atomes de la molécule de neige (H<sub>2</sub>O) sont déterminés très

## À Charcot, la tour destinée à supporter les instruments s'écroule, privant deux mois durant la station d'électricité et de contacts radio.

précisément par la température de l'atmosphère au moment où les cristaux se forment. En clair, les proportions observées entre les isotopes de l'hydrogène d'une part (hydrogène de masse 1 et hydrogène de masse 2) et les isotopes de l'oxygène d'autre part (oxygène 16 et oxygène 18), sont directement corrélées à la température de l'air. « *Quand on a vu que la courbe épousait parfaitement les variations de température, de – 20 à – 60 °C, on a compris qu'on allait pouvoir reconstituer le climat du passé !* »

Dès lors, Claude Lorius n'a qu'une obsession : extraire des carottes de glace du plus profond de la calotte glaciaire antarctique – un continent qui n'a pas dégelé depuis 40 millions d'années et où l'épaisseur moyenne de la glace atteint 2 kilomètres –, afin de remonter dans le temps. À Dumont-d'Urville, où il effectue plusieurs missions entre 1962 et 1965, notamment en qualité de chef de base, il réussit à forer

#### ISOTOPES

Les isotopes d'un élément sont des atomes ne possédant pas le même nombre de neutrons.

## Son parcours en 5 dates

- 1961** Entrée au CNRS
- 1963** Docteur en sciences physiques
- 1979-1989** Directeur adjoint, puis directeur du Laboratoire de glaciologie et géophysique de l'environnement<sup>1</sup>
- 1986-1990** Président du Comité scientifique pour la recherche antarctique
- 2002** Médaille d'or du CNRS



© ESKVAD - WILD TOUCH - M. PÉREY

Les recherches de Claude Lorius ont posé les bases de la climatologie moderne (photo extraite du film *La Glace et le Ciel*).

jusqu'à 200 mètres et constate que les glaces qui s'étaient écoulées depuis l'inlandsis datent du premier âge glaciaire, il y a 20 000 ans. Il soutiendra sa thèse de doctorat sur ces résultats. Surtout, c'est à Dumont-d'Urville qu'il a l'intuition qui donnera naissance à la science climatique moderne. « *Un soir, au retour d'un forage, j'ai mis un glaçon vieux de plusieurs milliers d'années dans mon verre de whisky et j'ai vu s'échapper des bulles d'air à mesure que la glace fondait... J'ai imaginé que ce gaz était peut-être un témoin de l'atmosphère du passé.* » Il mettra vingt ans à le démontrer.

Pour cela, il faut continuer à trouver des endroits susceptibles de couvrir la plus large période de temps possible. « *Ce que nous voulions, c'était faire des forages dans l'inlandsis, au cœur du continent, où la glace est peu mobile* », explique le chercheur. Les progrès de la technologie, et notamment les avions américains équipés de radars, permettent de reconstituer le relief du socle rocheux antarctique et d'en déduire les épaisseurs de glace. C'est ainsi que le site du dôme C ou dôme Concorde, est identifié dès 1974. « *Là, on parvient à forer jusqu'à 900 mètres, soit l'équivalent de 40 000 années de chutes de neige accumulées!* » Analysées en laboratoire, les carottes confirment la validité de l'hypothèse des archives

glaciaires. « *Les résultats reproduisent parfaitement le passage de la dernière période glaciaire, qui s'est achevée il y a 20 000 ans, à la période chaude que nous connaissons depuis 10 000 ans* », s'émerveille encore Claude Lorius.

#### Des découvertes cruciales sur le climat

La collaboration internationale qui se noue dès les premières années autour de l'Antarctique lui fournit une nouvelle occasion de confirmer ses hypothèses. En 1984, le glaciologue débarque en pleine guerre froide avec des avions de l'US Army à la station russe de Vostok. Vostok, c'est LE rêve de tout chercheur polaire, le lieu mythique de l'Antarctique, et pour cause : c'est le point le plus froid de la Terre, avec une température moyenne de  $-50^{\circ}\text{C}$  et des minima pouvant atteindre...  $-89^{\circ}\text{C}$  ! « *Les Russes foraient avec l'espoir de trouver du pétrole dans le socle rocheux* », se souvient Claude Lorius, qui tombe alors sur un trésor : des centaines de carottes de glace extraites sur 2 000 mètres de profondeur ; soit 160 000 ans d'archives glaciaires ! « *Cela voulait dire qu'on allait pouvoir reconstituer un cycle climatique complet – soit la période de 100 000 ans pendant laquelle la Terre se "balade" sur son ellipse autour du Soleil,*





**La Glace et le Ciel,**  
film réalisé par  
Luc Jacquet, sortie en  
salles le 21 octobre

s'en éloignant (période glaciaire), puis s'en rapprochant légèrement (période interglaciaire). »

Publiés en 1987 dans *Nature*, les résultats qui associent courbe des températures et composition de l'atmosphère marquent un tournant dans la connaissance de notre planète. Pour la première fois, on montre que le climat est directement lié à la concentration de l'atmosphère en gaz à effet de serre. Problème : si les variations du taux de CO<sub>2</sub> sont infimes entre périodes glaciaires et périodes chaudes – et ce durant des centaines de milliers d'années – elles s'envolent depuis le début de l'ère industrielle, ce qui ne laisse aucun doute sur l'origine anthropique de ce CO<sub>2</sub>.

Les forages ultérieurs – qui couvriront 420 000 ans de climat dès 1991, 800 000 ans à ce jour – ne font que confirmer ce triste constat. Et les projections issues de la modélisation présagent mal de la suite de l'histoire : si le taux de CO<sub>2</sub> dégagé dans l'atmosphère n'est pas réduit drastiquement, la température moyenne de la Terre pourrait gagner 5 °C d'ici à la fin du XXI<sup>e</sup> siècle. Pour comparaison, 5 °C, c'est l'écart de température enregistré entre une période glaciaire et une période chaude...

Claude Lorius effectue sa dernière mission scientifique en Antarctique en 1998, à l'âge de 66 ans. Pour autant, il n'en a pas fini avec le continent blanc... Il y revient pour des croisières conférences, des documentaires – notamment celui de Luc Jacquet, tourné entre 2011 et 2014. Si celui qui a fait chanter *Frère Jacques* à tous les Russes de Vostok se remémore avec nostalgie les expéditions passées, il confie ne pas envier la vie dans les bases d'aujourd'hui : « *Où est l'aventure quand tout le monde passe son temps sur Internet ?* » Son seul vrai regret : ne plus voir arriver en se dandinant, chaque mois de juin, l'interminable file indienne des manchots empereurs venus s'installer pour l'hiver... « *C'est le spectacle le plus étonnant que j'aie jamais vu dans ma vie.* » II



► La publication en 1987 dans *Nature* des premiers articles liant climat et CO<sub>2</sub> a eu un impact mondial.

1. Laboratoire de glaciologie et géophysique de l'environnement (CNRS/UJF).



### 3 questions à

## Jérôme Chappellaz, glaciologue et conseiller scientifique du film *La Glace et le Ciel*

PROPOS RECUEILLIS PAR CARINA LOUART

**Vous êtes glaciologue, tout comme Claude Lorius qui a mené sa carrière au CNRS. Comment l'avez-vous connu ?**

**Jérôme Chappellaz<sup>1</sup>** : Quand je suis arrivé au Laboratoire de glaciologie de Grenoble pour faire ma thèse, Claude Lorius en était le directeur et les carottes de glace de la station de Vostok venaient d'arriver. J'ai vécu de l'intérieur la publication des trois articles dans le magazine *Nature* en 1987 avec l'écho mondial que cette découverte a suscité. Pour la première fois, on mettait en évidence l'impact des activités humaines sur le réchauffement climatique. Par la suite, ma thèse m'a conduit à étudier la concentration d'un autre gaz à effet de serre, le méthane, contenu dans la glace et nous avons publié un nouvel article dans *Nature* en 1990. Aujourd'hui, j'ai en quelque sorte la responsabilité de maintenir cette activité à Grenoble. Je fais part de l'avancée de nos recherches à Claude Lorius qui se réjouit de voir son œuvre se poursuivre.

**Le film a été tourné en Antarctique, mais on voyage aussi ailleurs dans le monde en compagnie du chercheur. Pourquoi un tel parti pris ?**

**J. C.** : L'idée de Luc Jacquet était de s'appuyer sur des images d'archives pour raconter les 60 ans de la vie d'un homme qui, parti à l'aventure en Terre d'Adélie à l'âge de 23 ans, est arrivé à une grande découverte scientifique. Le film montre un homme âgé de 83 ans qui retourne sur ses pas et constate l'impact du réchauffement climatique à travers la question de la montée du niveau des mers en Polynésie, la fonte des glaciers en Suisse, les incendies de forêts au Portugal...

**Comment expliquez-vous que ce grand chercheur soit peu connu du public ?**

**J. C.** : À la fin des années 1970 et au début années 1980, il était présent dans des émissions comme *Les Dossiers de l'écran* et était aussi connu que le commandant Cousteau, Haroun Tazieff et Paul-Émile Victor, grands aventuriers de la science. Par la suite, il s'est impliqué dans l'Académie des sciences, ce qui lui a valu beaucoup de déconvenues, notamment avec les climato-sceptiques, dont Claude Allègre. Il a fini par se retirer de la scène académique, puis publique, tout en poursuivant la publication de livres. II

# Des médailles au féminin pluriel

PAR CHARLINE ZEITOUN

**Récompenses.** Cette année, les femmes sont majoritaires parmi les lauréats de la médaille de bronze et de la médaille d'argent remises par le CNRS. Zoom sur le parcours de quatre d'entre elles, aux travaux prometteurs ou déjà largement reconnus.

## BRONZE

### Zaida Conesa del Valle, physique des particules

À coup de collisions dans le Large Hadron Collider du Cern et grâce aux détecteurs de l'expérience Alice, cette physicienne s'attaque aux secrets de la matière. Son objet de prédilection : le « charme », un quark ou particule élémentaire du modèle standard de la physique des particules. Elle a obtenu des résultats remarquables sur la production de ces quarks dans les collisions de protons et d'atomes de plomb. Chercheuse à l'Institut de physique nucléaire d'Orsay<sup>1</sup>, elle coordonne le groupe « Saveurs lourdes ouvertes » d'Alice et fait partie de son *Physic Board*.



© ARTÉCOMEB

### Carine Michel, chimie théorique

Polluer moins grâce à la chimie verte, voilà le cheval de bataille de cette jeune chercheuse du Laboratoire de chimie de l'ENS de Lyon<sup>2</sup>. Elle travaille en particulier à l'amélioration des catalyseurs, produits clés qui accélèrent les réactions mais s'avèrent souvent néfastes pour l'environnement. Son credo : modéliser la réactivité de ces substances. Elle a déjà obtenu des résultats notables sur l'influence de solvants, par exemple l'eau, sur des catalyseurs hétérogènes métalliques, en particulier dans la conversion d'alcools en aldéhydes. Très investie dans l'enseignement et la formation de doctorants, elle est également impliquée dans des collaborations industrielles, notamment avec le groupe Solvay.



© V. CLISIMANÉDORZ

## ARGENT

### Jocelyne Troccaz, robotique médicale

Si opérer un patient à distance à l'aide d'un robot ou préparer une opération en la simulant sur ordinateur est aujourd'hui possible, c'est en partie grâce à Jocelyne Troccaz. Mondialement reconnue, cette chercheuse du laboratoire Timc-Imag<sup>3</sup> a accéléré l'intégration et l'utilisation des robots en chirurgie. Coordinatrice de l'axe médical de l'Équipex Robotex, elle a aussi tenu un rôle essentiel dans le lancement de quatre start-up qui ont permis de faire passer de nombreux résultats théoriques au stade industriel. Ses récents travaux, qui permettent de réaliser de manière plus précise le guidage de la ponction de la prostate, font déjà autorité et devraient améliorer la prise en charge des patients atteints par un cancer de cet organe.



© DELEGATION IRMA

### Gabrielle Demange, économie

Partage de l'information sur le Web, théorie du vote... Cette économiste du laboratoire Paris-Jourdan sciences économiques<sup>4</sup> manie des outils mathématiques abstraits pour analyser des questions bien concrètes. Ses travaux sur les méthodes d'appariement, menés avec l'économiste américain David Gale, lui ont valu d'être élue *Fellow* de la prestigieuse Econometric Society dès 1992. Ses résultats ont

été repris et adaptés par de nombreux acteurs de l'*economic design*, secteur qui a permis de développer des modèles d'enchères sur Internet. Elle s'attelle désormais à l'analyse des comportements dans les réseaux, notamment les réseaux sociaux ou ceux qui s'établissent entre institutions financières.



© A. BAGARRY-2015



Retrouvez les médailles d'argent 2015 (attribuées à 8 femmes et 9 hommes) sur :  
 >> [www.cnrs.fr/fr/recherche/prix/medaillesargent-2015.htm](http://www.cnrs.fr/fr/recherche/prix/medaillesargent-2015.htm)

et les médailles de bronze 2015 (attribuées à 24 femmes et 16 hommes) sur  
 >> [www.cnrs.fr/fr/recherche/prix/medaillesbronze-2015.htm](http://www.cnrs.fr/fr/recherche/prix/medaillesbronze-2015.htm)

1. Unité CNRS/Univ. Paris-Sud. 2. Unité CNRS/ENS de Lyon/UCBL. 3. Techniques de l'ingénierie médicale et de la complexité-Informatique, mathématiques et applications, Grenoble (CNRS/UJF/VetAgro Sup/Grenoble INP). 4. Unité CNRS/EHESS/ENS/École des ponts ParisTech/Inra.

## Thierry Mandon, nouveau secrétaire d'État pour l'ESR

Le 17 juin, Thierry Mandon, 57 ans, a été nommé secrétaire d'État en charge de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, succédant à Geneviève Fioraso qui avait démissionné en mars pour raisons de santé. Il était précédemment secrétaire d'État chargé de la réforme de l'État et de la simplification. Peu après sa nomination, Thierry Mandon a évoqué sur France Culture certains de ses chantiers prioritaires : améliorer la vie quotidienne des étudiants et des chercheurs, faire qu'ils soient mieux considérés ou encore simplifier leurs démarches administratives.



© J. SAGET/AFP PHOTO

## Blandine Genthon à la tête de CNRS Éditions



© H. ASSOLINE

Depuis le 1<sup>er</sup> juillet, Blandine Genthon, 31 ans, est la nouvelle directrice générale de CNRS Éditions. Nommée par Alain Fuchs, président du CNRS, elle succède à ce poste à Jacques Baudouin qui a fait valoir ses droits à la retraite pour se consacrer à l'écriture. Diplômée de l'Edhec et titulaire d'un master en géopolitique (univ. Paris-I Panthéon-Sorbonne/ENS), Blandine Genthon a travaillé deux ans au sein du groupe Hachette (Hachette Éducation puis Larousse) avant de rejoindre CNRS Éditions en 2008, dont elle assumait jusqu'ici le secrétariat général et la direction éditoriale. Avec près de 150 nouveautés par an, la maison d'édition du CNRS a pour vocation « de valoriser les travaux des chercheurs et de promouvoir la science dans tous les domaines ».

JEAN-JACQUES TIERCELIN, du laboratoire Géosciences Rennes, s'est vu décerner en juin la médaille W.H. Bradley par l'International Association of Limnogeology. Remise tous les quatre ans, elle récompense un chercheur pour sa contribution à la connaissance de la géologie des lacs. Jean-Jacques Tiercelin a mené d'importantes recherches sur les systèmes sédimentaires lacustres, anciens et actuels, s'intéressant en particulier aux lacs du rift est-africain.

Le CNRS a remporté un trophée « Leaders de la finance ». XAVIER INGLEBERT et BERNARD ADANS, respectivement ancien directeur général délégué aux ressources et ancien directeur des comptes et de l'information financière, ont reçu le 16 avril cette récompense dans la catégorie « Direction financière du secteur public ».

© C. FRÉLON/CNRS PHOTO THÈQUE  
Chris Bowler© F. PLAS/CNRS PHOTO THÈQUE  
Didier Raoult

CHRIS BOWLER, de l'Institut de biologie de l'École normale supérieure (Ibns), et DIDIER RAOULT, de l'Unité de recherche sur les

maladies infectieuses et tropicales émergentes (Urmite) ont reçu le 3 juin le Grand Prix scientifique 2015 de la Fondation Louis D-Institut de France. Le même jour, PATRICE HELLO, du Laboratoire de l'accélérateur linéaire (LAL) et GUY PERRIN, du Laboratoire d'études spatiales et d'instrumentation en astrophysique (Lésia), se sont vu remettre le Prix scientifique 2015 de la Fondation Simone et Cino del Duca-Institut de France.

© OPINIO/MIT TECHNOLOGY REVIEW  
Les dix lauréats du prix Innovateurs de moins de 35 ans lors de la cérémonie de remise des prix le 15 avril dernier.

QUATRE FONDATEURS DE START-UP issues du CNRS figurent parmi les dix lauréats français du prix Innovateurs de moins de 35 ans, une récompense remise par l'Institut de technologie du Massachusetts (MIT) et dont le CNRS est partenaire.

JEAN-MARC OLÉRON, administrateur civil hors classe, a été nommé directeur de la stratégie financière, de l'immobilier et de la modernisation de la gestion (DSFIM) du CNRS à compter du 1<sup>er</sup> juin 2015.



© L. GODART/CEA

# 180 secondes de science, des mois de préparation

PAR LAURE CAILLOCE

SOCIÉTÉS

**Concours.** Avant la finale internationale qui se tiendra à Paris le 1<sup>er</sup> octobre, les trois finalistes français de « Ma thèse en 180 secondes » nous racontent comment ils se sont préparés à la compétition et ce qu'elle change (déjà) pour eux.



Grégory Pacini, Rachida Brahim et Alexandre Artaud sont les trois finalistes de l'édition nationale 2015 du concours « Ma thèse en 180 secondes ».

Qui pensait entendre un jour parler de vigiles de boîte de nuit dans une communication scientifique sur le sida, ou d'amour sur le sujet ardu s'il en est de la supraconductivité du graphène ? C'était sans compter sur l'irruption en France, pour la deuxième année consécutive, du concours imaginé d'abord en Australie et au Québec « Ma thèse en 180 secondes » (MT180), à l'initiative du CNRS et de la Conférence des présidents d'université (CPU). Avec une efficacité redoutable, les trois gagnants de la finale française, organisée à Nancy, Alexandre Artaud pour ses recherches sur le comportement des électrons, Rachida Brahim pour ses travaux sur les crimes raciaux en France et Grégory Pacini pour sa thèse sur les stratégies du VIH pour prospérer dans l'organisme, n'ont pas hésité à raconter de vraies histoires « à rebondissements » pour faire passer leur message et capter l'attention de leur auditoire, près de 850 personnes.

## Des formations spéciales MT180

Si elles s'enchaînent avec une apparente facilité, les trois minutes de présentation leur ont demandé un sacré travail de préparation... Ainsi, les formations spéciales MT180 mises en place par la plupart des universités leur ont permis de comprendre les bases de la prise de parole en

public : « Utiliser des images, un vocabulaire simple et adopter les trucs des comédiens de théâtre comme la posture, la respiration ou le fait de ménager des silences pour mieux accrocher son public », décrit Alexandre Artaud. À ce petit jeu, le grand gagnant de la finale française était indéniablement avantagé puisqu'il fait du théâtre en amateur... Mais il a aussi pris soin de recueillir l'avis de ses deux directeurs de thèse : « Ils m'ont donné leur avis sur le fond mais m'ont laissé toute liberté sur la forme et ont trouvé cela très amusant. »

## Des retombées très positives

Pourtant rompue à l'exercice de la vulgarisation qu'elle pratique régulièrement, Rachida Brahim confie avoir été impressionnée par l'ampleur de l'événement – « on a parlé devant des amphis pleins, ce qui est rarement le cas le reste du temps » –, mais se déclare prête à recommencer sous d'autres formats encore peu prisés des chercheurs : blogs scientifiques, médias sociaux, vidéos... « C'est le genre d'occasion qui donnent encore plus envie de faire de la recherche mon métier, pour continuer à parler, réfléchir, échanger avec les gens », confie la sociologue.

S'ils ne s'attendaient pas à gagner et ont participé à la compétition « d'abord pour le défi de résumer une thèse en trois minutes », les trois finalistes se disent surpris par les répercussions du concours. « Cela donne de la visibilité », confient-ils à l'unisson. « J'ai reçu des e-mails d'encouragements de la part de chercheurs et certains m'ont contactée pour me dire qu'ils souhaitaient lire ma thèse », raconte Rachida Brahim. « Les visites sur mon profil LinkedIn ont explosé et on m'a adressé plusieurs demandes pour des présentations sur le sida, notamment au gala des élus locaux contre cette maladie », raconte Grégory Pacini, qui confie que « tout [son] laboratoire a fait la fête après la finale ». « Si ce genre de concours peut faire comprendre que la physique peut être intéressante pour elle-même, même sans avoir d'applications... », glisse de son côté Alexandre Artaud. Ce n'est pas son codirecteur de thèse qui le contredira. « Grâce à la médiatisation de MT180, on entend le mot "thèse" prononcé à des heures de grande écoute. C'est complètement inédit, et rien que pour cela, cela vaut le coup », affirme ce dernier, Johann Coraux, chercheur à l'Institut Néel. II



Visionner les trois prestations sur [lejournal.cnrs.fr](http://lejournal.cnrs.fr)  
 >> <http://mt180.fr>

# GRAND FORMAT



*L'économie dopée par les mathématiques,  
des oiseaux aux prises avec des forêts  
morcelées et des nouveaux matériaux  
qui vont changer la donne.*

ILLUSTRATION : BENOÎT TARDIF/COLAGENE.COM POUR CNRS LE JOURNAL



# Comment les maths dopent l'économie

SOCIÉTÉS  NUMÉRIQUE 

Si elles représentent l'archétype de l'abstraction scientifique pour la plupart d'entre nous, les mathématiques constituent un puissant outil pour toutes les sciences et sont ainsi à l'origine de nombreuses innovations. Publiée fin mai, une étude a même révélé que 15 % du PIB français et 9 % des emplois étaient liés à cette discipline. Levons le voile sur cette face méconnue des mathématiques.

UNE ENQUÊTE RÉALISÉE PAR YAROSLAV PIGENET, ALEXANDRE PERUCHON ET SYLVAIN GUILBAUD



Merveille de l'intellect humain pour certains, cauchemar scolaire pour beaucoup d'autres, les mathématiques constituent incontestablement un outil puissant et souvent incontournable de la recherche scientifique et technique actuelle. À ce titre, on peut s'attendre à ce qu'elles jouent un rôle important dans nos économies modernes dont la croissance est en grande partie fondée sur la connaissance et l'innovation technique. Mais, si l'excellence de la recherche mathématique française peut aisément se mesurer au nombre de ses publications et de ses médailles Fields, quel est au juste l'impact des mathématiques sur l'économie française ?

C'est pour répondre à cette question que l'Agence pour les mathématiques en interaction avec l'entreprise et la société (Amies), en partenariat avec la Fondation Sciences mathématiques de Paris et la Fondation mathématique ...



... Jacques Hadamard, et en association avec les Labex de mathématiques, ont publié au printemps une étude sur l'impact socio-économique des mathématiques en France. Réalisée entre janvier et mai 2015 par le cabinet de conseil en stratégie CMI, elle révèle l'impact croissant des mathématiques sur l'emploi et la compétitivité de l'économie française ainsi qu'une prise de conscience progressive, quoique encore insuffisante, de cet impact par les entreprises.

### Un prestige mondial

Du strict point de vue académique, les 4 000 enseignants-chercheurs en mathématiques répartis dans une soixantaine de laboratoires apportent à la France un prestige et une reconnaissance scientifique mondiale qui va bien au-delà de ce que leurs seuls effectifs pourraient laisser penser. Ainsi, le poids des mathématiques dans l'ensemble des publications françaises est de 7 %, quand les autres disciplines relevant des sciences dures pèsent entre 10 et 14 % de la production française. Pour autant, avec 8,5 % des publications les plus citées en 2012, les mathématiques françaises se classent au 3<sup>e</sup> rang mondial, derrière les États-Unis et la Chine. La France atteint même la 2<sup>e</sup> place mondiale si l'on prend en compte les médailles et distinctions décernées aux mathématiciens français. Ainsi, depuis 1936, 13 Français ont décroché la médaille Fields, contre 14 États-Uniens, 9 Russes et 3 Britanniques ; sans compter les 6 prix Wolf de mathématiques, les 4 prix Henri Poincaré et les 2 prix Abel qui ont également distingué la recherche française.

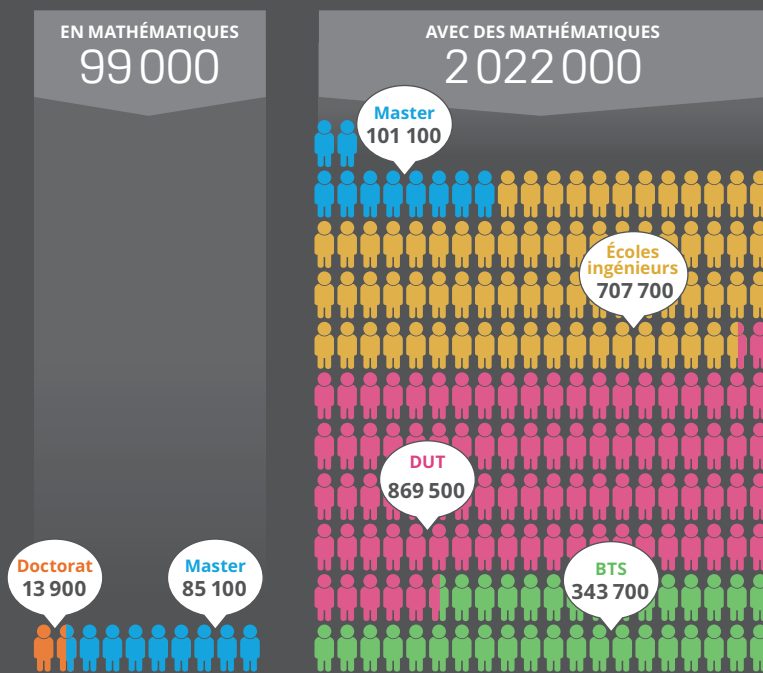
Par ailleurs, des liens étroits ont toujours lié progrès mathématiques et progrès dans les autres sciences : les lois de la physique newtonienne ont été fondées sur le calcul différentiel inventé par... Newton et Leibniz. Maintenant plus que jamais, mathématiques et mathématiciens interagissent fortement avec d'autres domaines comme l'informatique, la physique, la mécanique, l'automatique, la chimie, les sciences du vivant ou encore les sciences sociales. Fournissant aux chercheurs un langage universel, un cadre théorique cohérent, ainsi que des outils basés sur le calcul, les statistiques et les probabilités, les mathématiques ont été jugées primordiales pour le développement de 44 % des technologies clés identifiées dans la quatrième édition de l'étude de prospective *Technologies clés 2015*, publiée en 2011 par le ministère de l'Industrie. Tant et si bien qu'aujourd'hui un mathématicien du CNRS sur cinq effectue ses travaux en collaboration avec des chercheurs d'une autre discipline.

### Une forte transdisciplinarité

Le revers institutionnel de cette transversalité est que les mathématiques sont rarement représentées en tant que telles dans les appels à projet ou les programmes incitatifs. C'est la plupart du temps du fait de leur interaction avec d'autres disciplines (biologie, santé, énergie, ingénierie,

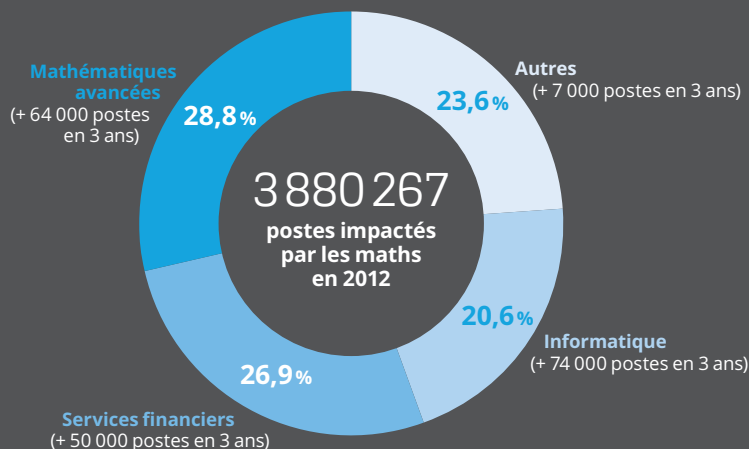
## Nombre de personnes actives ayant suivi une formation supérieure liée aux mathématiques

En France, dans la population active, 99 000 personnes ont bénéficié d'une formation strictement mathématique de niveau master ou doctorat (formés en mathématiques). À cela s'ajoutent plus de 2 millions de personnes ayant reçu une formation dans une autre discipline mais dont l'enseignement mathématique représentait au moins quatre heures par semaine (formés avec des mathématiques).



## Répartition des postes directement impactés par les mathématiques en 2012

En dehors des professions relevant de la finance ou de l'informatique, près de 30 % de l'ensemble des postes impactés par les mathématiques relève de professions directement impliquées dans l'application directe des résultats de la recherche mathématique.

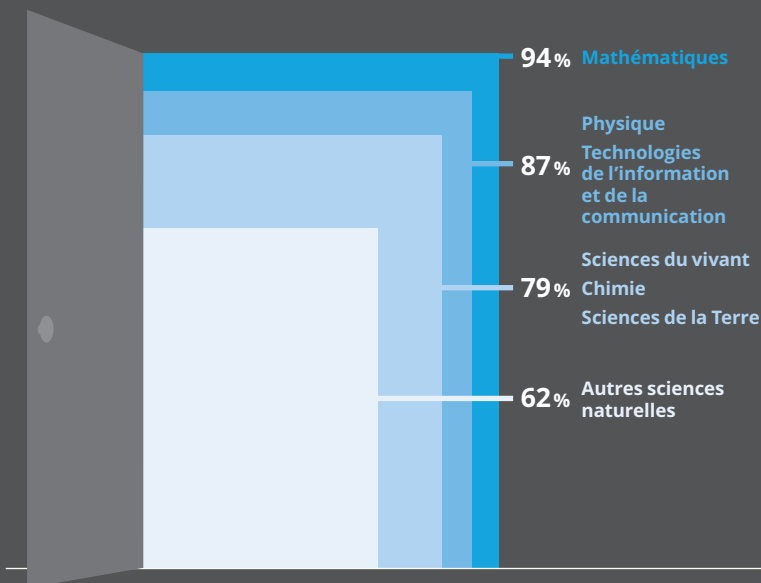




## Taux d'emploi des docteurs diplômés en Île-de-France en 2013

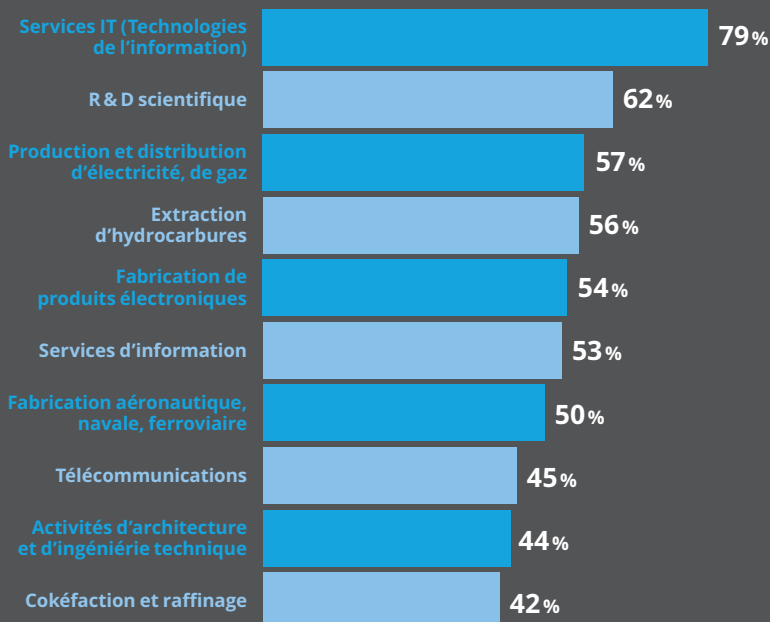
un an après l'obtention de leur diplôme par discipline

En Île-de-France, avec seulement 6 % de diplômés en recherche d'emploi un an après l'obtention du doctorat, les docteurs en mathématiques sont les plus épargnés par le chômage (10 % en moyenne pour les docteurs d'autres disciplines). 59 % d'entre eux avaient même signé un contrat de travail avant la soutenance de leur thèse.

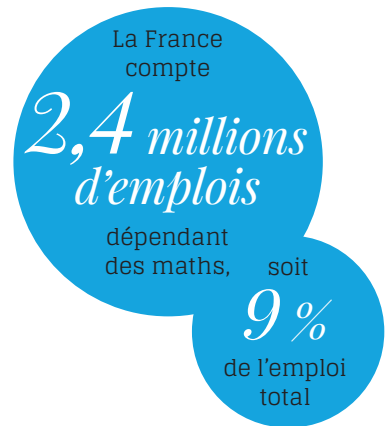


## Top 10 des secteurs les plus impactés par les mathématiques en termes d'emploi en 2012

Pourcentage d'emplois impactés par les mathématiques par secteur



© C. HENRIQUES LE JOURNAL



sciences et technologies de l'information et de la communication) qu'elles trouvent des opportunités de financement. On verra d'ailleurs que ce problème de visibilité académique a des répercussions sur les relations avec les entreprises.

Le caractère intrinsèquement transdisciplinaire et « diffusant » des mathématiques se manifeste aussi au niveau de la formation universitaire et sur le marché du travail. Ainsi, si les effectifs étudiants en master et en doctorat purement mathématiques sont stables et pèsent relativement peu (6 600 inscrits en master, 2 000 en formation doctorale), environ un quart des effectifs étudiants inscrits en BTS, DUT, licence professionnelle, école d'ingénieurs, master ou doctorat ont été formés en 2013 que ce soit EN mathématiques ou PAR les mathématiques (voir *infographie ci-contre*). Et si on dénombre 99 000 personnes possédant un master ou un doctorat de mathématiques dans la population active française, un peu plus de 2 millions d'actifs ont bénéficié d'une formation mathématique significative (plus de 4 heures par semaine en moyenne) lors de leurs études supérieures.

Au niveau national, la France compte 2,4 millions d'emplois dépendant plus ou moins directement des mathématiques, soit 9 % de l'emploi total. Un niveau en constante progression depuis 2009. Sur la période 2009-2012, le nombre de postes sur lesquels les mathématiques ont un impact direct a augmenté plus vite (+ 0,9 % de taux de croissance annuel moyen) que le nombre de postes total (+ 0,5 % par an). Par ailleurs, la valeur ajoutée apportée par les mathématiques en France représente 285 milliards d'euros sur 1 878 milliards d'euros, soit 15 % du PIB total.

### Un impact en termes d'emploi

Les quatre secteurs recourant aux mathématiques les plus contributeurs en emploi sont, par ordre d'importance, l'enseignement, la recherche et développement, les activités d'architecture, d'ingénierie et d'analyse technique, les travaux de construction et de fabrication spécialisés. C'est dans ces secteurs que se concentrent les professions d'enseignants-chercheurs, d'ingénieurs et de techniciens spécialisés en mathématiques. Ils génèrent 79,8 milliards de valeur ajoutée, soit près de 4,3 % du PIB français. Quant aux 20 secteurs les plus contributeurs en termes d'emploi impacté par les mathématiques, ils représentent 50 % des postes en ...



Li Ta-Tsien et Jean-Michel Coron font partie des cinq lauréats 2015 du prix Iciam, décerné tous les quatre ans seulement.

## Des chercheurs à l'honneur

C'est l'un des plus importants événements en mathématiques appliquées : le Congrès international de mathématiques appliquées et industrielles (Iciam) s'est tenu du 10 au 14 août 2015 à Beijing, en Chine. C'est à cette occasion qu'ont été remis le prix Maxwell à Jean-Michel Coron et le prix Su Buchin à Li Ta-Tsien. Jean-Michel Coron, professeur à l'UPMC et membre du Laboratoire Jacques-Louis-Lions<sup>1</sup>, est récompensé pour ses contributions majeures à l'étude des méthodes variationnelles pour les équations aux dérivées partielles non linéaires<sup>2</sup>. Professeur à la School of Mathematical Sciences de l'université de Fudan (Chine), Li Ta-Tsien coordonne, avec Jean-Michel Coron, le Laboratoire international associé sino-français de mathématiques appliquées (LIASFMA). Il est notamment honoré pour son travail de diffusion des mathématiques dans les pays émergents.

1. Unité CNRS/UPMC/Univ. Paris-Diderot. 2. Lire *CNRS Le journal*, n° 279, hiver 2015, p. 10.

... France. Leur croissance a été de 2,6 % par an entre 2009 et 2012 contre 2,3 % pour l'ensemble des secteurs.

On voit, dès lors, que l'implication des mathématiciens dans les travaux de recherche apporte une très forte valeur ajoutée, et qu'elle est parfois indispensable à la levée des verrous technologiques. Outre leur contribution essentielle à la résolution des défis sociétaux liés aux changements climatiques, à la santé ou à l'énergie, les mathématiques génèrent des gains de productivité importants dans certains secteurs d'activité et ouvrent souvent la voie au développement de nouveaux marchés. Leur rôle dans l'entreprise est donc amené à se renforcer pour répondre aux besoins croissants d'outils pour maîtriser des systèmes de plus en plus complexes et gérer des volumes toujours plus importants de données hétérogènes. Au cours des dix prochaines années, la société Veolia prévoit ainsi de faire passer de 8 à 20 % la proportion de « mathématiciens » dans ses effectifs ingénieurs.

### Des compétences mal valorisées

Reste que, si l'on constate que les titulaires d'un master en mathématiques travaillent le plus souvent dans le secteur privé, à peine un quart des docteurs en mathématiques sont recrutés par des entreprises (17 % en recherche et 8 % dans un autre domaine). Cela pose la question de l'attractivité des carrières privées pour les docteurs en mathématiques, et plus généralement celle des débouchés pour les docteurs dans le secteur privé. De fait, la grande majorité des entreprises ne disposant pas encore de processus institutionnalisés pour recourir aux compétences et outils mathématiques, le recrutement ciblé de personnels pour leur expertise mathématique constitue aujourd'hui encore une exception. On estime par ailleurs qu'environ un dixième des chercheurs en mathématiques entretient des relations régulières avec les entreprises. Et, alors qu'on évalue à 4 % des ressources des opérateurs publics de recherche la part des contrats de recherche passés avec des partenaires privés, la plupart des laboratoires de mathématiques sont en deçà de ce taux.

Pourtant, l'essor de la demande en compétences clairement identifiées comme relevant des mathématiques, telles que l'analyse de données massives, et l'adaptation de nombreux secteurs d'activité à la révolution numérique pourraient faire évoluer les mentalités. L'étude souligne par conséquent la nécessité de renforcer les liens entre l'enseignement supérieur et les entreprises ; ce qui passe notamment par une amélioration de la lisibilité du dispositif d'enseignement et de recherche et par le déploiement des démarches de valorisation et de suivi des compétences, tant de la part des entreprises que de la part de la communauté académique. Les instances académiques françaises ont déjà commencé à relever ce défi en identifiant et mobilisant cinq grands champs de compétences mathématiques jugés cruciaux pour de nombreux secteurs d'activité, comme l'énergie, la santé ou encore l'industrie et les télécommunications : le traitement du signal et l'analyse d'images, le *data mining*, la modélisation-simulation-optimisation, le calcul haute performance et la cryptographie. **II Y.P.**

285  
milliards  
d'euros

de valeur ajoutée, soit

15 %  
du PIB



Le site de l'Amies

>> [www.agence-maths-entreprises.fr](http://www.agence-maths-entreprises.fr)



© P. MARTY, P. DRANE

Un des camps de l'expédition Damodar, au Népal, menée dans le cadre d'un projet de modélisation de l'effort.

# Maimosine met le monde en équations



De l'exercice physique à la surchauffe des microprocesseurs, les mathématiciens de Maimosine, centre de modélisation et de simulation numérique dont le CNRS est partenaire, aident les chercheurs et industriels du Bassin grenoblois à mieux comprendre certains phénomènes complexes.

PAR ALEXANDRE PERUCHON

Le point commun entre un coureur en plein effort, une pièce qui vibre dans un moteur, de la glace de mer en train de se fragmenter ou des microprocesseurs qui surchauffent ? Ce sont tous des sujets d'étude pour les mathématiciens de la Maison de la modélisation et de la simulation, nanosciences et environnement (Maimosine). Créée à Grenoble en 2010 et juchée sur les hauteurs d'une tour dominant le campus universitaire, elle constitue un refuge pour les chercheurs et entreprises de la région lorsqu'un phénomène complexe leur échappe. Ici, les mathématiques appliquées leur sont alors d'une aide précieuse pour

le simuler et le comprendre finement, puis dans certains cas mieux le contrôler ou l'optimiser.

« Modéliser, c'est mettre en équations un phénomène, le simplifier. Par ordinateur, on tente ensuite d'approximer les solutions de ces équations pour mieux comprendre le phénomène : c'est la simulation numérique », explique Stéphane Labbé, professeur à l'université Joseph-Fourier et directeur de Maimosine. Pour un phénomène simple comme la trajectoire d'une balle de tennis, le modèle utilisé pourra facilement être résolu à la main. Les cas plus complexes, le déferlement d'une vague, par exemple, feront forcément appel à de la simulation numérique. « Au sein ...



Tests effectués par SAS Billatraining pour évaluer les capacités physiques de coureurs afin d'optimiser leurs performances.



© BILLATRaining

... de Maimosine, nous sommes associés au mésocentre de calcul *Ciment* qui nous permet de disposer de la puissance de calcul nécessaire à l'étude de systèmes complexes », ajoute Stéphane Labbé. Des moyens techniques qui, associés à un réseau d'experts de différentes disciplines, sont par exemple sollicités par des industriels désireux de rendre leurs produits plus compétitifs. Zoom sur quatre projets menés actuellement.

### Optimiser l'effort physique

« Véronique Billat, chercheuse au Genopole d'Évry et fondatrice de la SAS Billatraining, nous a sollicités sur des thématiques liées à la vitesse et à la force en course à pied, indique Stéphane Labbé. Mais cette collaboration porte aussi sur les pratiques sportives dans leur ensemble et l'optimisation des performances. » La modélisation est ici utilisée afin de mieux comprendre l'effort physique. À terme, l'ambition est de créer des guides de vitesse automatique : des logiciels qui permettront à chacun de mieux gérer son effort selon ses propres aptitudes physiques.

Pour tester la robustesse de ses modèles d'effort physique, Maimosine a notamment organisé une campagne de mesures en haute altitude. Trois alpinistes, partis pour une expédition de 32 jours dans le bassin glaciaire du Damodar Himal, au Népal, ont été équipés d'oxymètres mesurant le taux d'oxygénation du sang et de montres permettant d'enregistrer le pouls, le temps de foulée, le nombre de pas et la vitesse ascensionnelle. L'idée : obtenir un grand nombre de données sur l'effort dans des conditions très particulières. L'environnement de haute altitude est en effet générateur de facteurs limitants pour l'organisme, comme une plus faible capacité respiratoire. Les

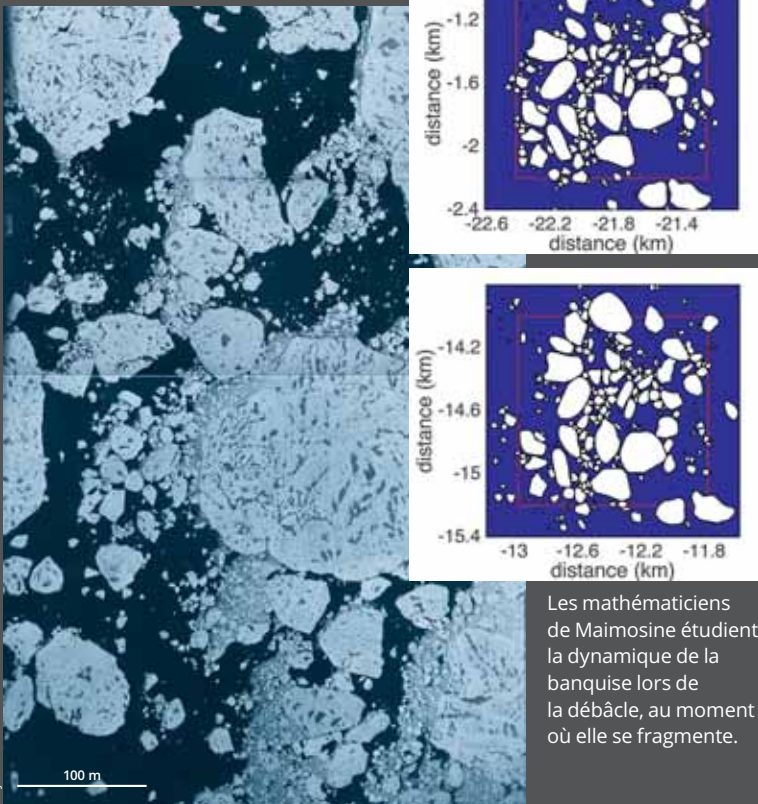
données récupérées lors de l'expédition sont en cours d'analyse et font par ailleurs l'objet d'une thèse.

### Localiser des vibrations

Comment détecter la source d'une vibration au sein d'un objet fermé ? C'est la question qui intéresse MicrodB, une entreprise lyonnaise. « Cette problématique recouvre de nombreux objets, déclare Christophe Picard, maître de conférences à l'Institut polytechnique de Grenoble et directeur adjoint du Pôle logiciel et calcul intensif de Maimosine. S'il y a, par exemple, une pièce qui vibre dans un moteur, on veut éviter de devoir le démonter entièrement pour localiser cette pièce, car cela peut coûter cher ! »

“La modélisation et la simulation sont des outils indispensables pour comprendre un phénomène complexe.”

Pour créer ce dispositif de détection, un ensemble de capteurs sera utilisé. Disposés autour de l'objet à analyser, ces capteurs vont enregistrer les ondes sonores de très basses et de très hautes fréquences émises lors de la vibration. Des ondes parfois indétectables par l'oreille humaine. Les données récupérées seront ensuite traitées, c'est à ce stade qu'interviennent la modélisation et la simulation. Le résultat final, la localisation précise de la source de vibration, sera représenté dans un environnement en 3D et potentiellement



Les mathématiciens de Maimosine étudient la dynamique de la banquise lors de la débâcle, au moment où elle se fragmente.

en réalité augmentée. De la récupération des données issues des capteurs par communication sans fil à la création d'une interface utilisateur la plus accessible possible, ce projet fait appel à des expertises variées. « *En tout, ce sont pas moins de cinq entreprises et quatre laboratoires qui sont impliqués dans ce projet* », précise Christophe Picard.

### Prévoir la réaction de la banquise

En collaboration avec le groupe Total, Maimosine étudie la dynamique de la banquise au moment de la débâcle, lorsqu'elle se fragmente, au niveau de la zone « marginale » de glace. Une zone où les blocs de glace peuvent atteindre de quelques mètres à quelques centaines de mètres de long. « *Nous nous concentrons sur la glace de mer, une glace saisonnière d'un à deux mètres d'épaisseur*, précise Stéphane Labbé. *Pour développer un modèle de glace de mer, il a été nécessaire de prendre en compte des contacts complexes entre objets solides, des interactions multiples avec le vent, l'océan...* » D'ores et déjà mis en équation, le modèle développé par Maimosine est prêt à passer à l'étape de la simulation numérique : un code de calcul est en train d'être implémenté sur une plateforme de calcul haute performance Froggy.

Le but ? Mieux évaluer et prévoir « l'état » de la mer, c'est-à-dire la concentration des glaces de mer et leur degré de fragmentation à des échelles fines inaccessibles par des modélisations plus classiques. Mais Stéphane Labbé rappelle qu'il y a aussi des applications fortes en termes opérationnels : « *Si vous envoyez un bateau traverser une zone de glace, savoir comment cette glace va réagir autour du bateau va, par exemple, permettre de dépenser le moins d'énergie possible pour tracer une route.* »

### Refroidir des microprocesseurs

Lorsqu'il fabrique un circuit intégré, un ingénieur va vouloir évaluer si ce circuit restera dans une certaine gamme de températures lors de son utilisation ou au contraire s'il risque de surchauffer. « *Le problème, c'est que, pour un milieu aussi complexe qu'un circuit intégré, il faudrait faire un vrai calcul de thermique. Et cela prendrait un temps considérable !* », explique Emmanuel Maitre, professeur à l'Institut polytechnique de Grenoble et directeur adjoint de l'Hôtel à projets de Maimosine.

Docea Power, une entreprise de l'agglomération grenobloise qui conçoit des logiciels de simulation thermique des microprocesseurs, a donc fait appel à Maimosine : « *Ils sont venus vers nous parce qu'ils se sont rendu compte que leur modèle simplifié donnait parfois des températures négatives. Si jamais un utilisateur mesure -10 °C, il risque vraiment de douter de l'efficacité du logiciel...* », raconte Emmanuel Maitre. Pour garantir un modèle n'affichant pas de données aberrantes, deux mathématiciens sont entrés en jeu. En comparant différents modèles réduits, ils ont réussi à déterminer une « distance » entre le modèle complexe et le modèle simplifié au sein de laquelle les situations non désirées ne se produisent plus.

Chaque année, les scientifiques de Maimosine travaillent sur dix sujets comme ceux-ci. Et apportent la preuve, jour après jour, que les mathématiques appliquées viennent soutenir l'innovation scientifique et technologique. Comme le rappelle Stéphane Labbé : « *Pour qui veut comprendre un phénomène complexe ou améliorer un produit, la modélisation et la simulation sont des outils indispensables à l'heure actuelle !* » II



Le site de Maimosine

» [www.maimosine.fr](http://www.maimosine.fr)



# “Il n’y a pas de frontière entre mathématiques



© DR

Du traitement d’images à l’acoustique, les travaux du mathématicien Albert Cohen, du Laboratoire Jacques-Louis-Lions<sup>2</sup>, ont abouti à différentes applications. Il expose sa vision des relations entre mathématiques et valorisation.

PROPOS RECUEILLIS PAR SYLVAIN GUILBAUD

**On pourrait penser que mathématiques et valorisation ne vont pas forcément de pair.**

**Comment voyez-vous le lien entre les deux ?**

**Albert Cohen :** La preuve n’est plus à faire que les mathématiques sont à l’origine d’avancées techniques très concrètes. En revanche, la valorisation ne peut pas être une fin en soi. L’une des grandes forces de cette discipline est précisément de prendre du champ par rapport à une application spécifique pour essayer de dégager des principes sous-jacents qui permettraient de résoudre ces problèmes, mais aussi de nombreux autres problèmes.

**Voyez-vous alors une différence entre des maths « pures », fondamentales, et des maths appliquées, tournées vers la valorisation ?**

**A. C. :** Personnellement, en tant que mathématicien appliqué, je me pose régulièrement la question de la pertinence de l’objet de mes recherches pour des applications et je vais puiser des problèmes chez les ingénieurs, les physiciens, les biologistes pour nourrir une réflexion mathématique plus fondamentale. Cela étant dit, je pense qu’il n’existe pas de frontière entre mathématiques pures et appliquées.

**Est-ce à dire que l’idée de valorisation préexiste déjà en amont de vos recherches mathématiques ou se révèle à la suite d’une avancée théorique ?**

**A. C. :** La question ne se pose jamais en des termes aussi tranchés. Mes premiers travaux portaient sur la théorie des ondelettes. C’était un sujet en ébullition, à un carrefour entre l’analyse numérique, l’analyse harmonique et d’autres disciplines comme le traitement du signal et de l’image, la physique de la turbulence. Il y a des allers-retours permanents entre les questions fondamentales et appliquées. Je n’ai jamais eu l’impression de partir de l’un pour aller vers l’autre, mais plutôt d’être immergé dans un environnement qui nourrit les réflexions de tous les côtés.

**C’est donc ce qui s’est produit avec les ondelettes ?**

**A. C. :** Les ondelettes ont été découvertes par un ingénieur, Jean Morlet, qui étudiait le traitement du signal sismique pour la prospection pétrolière. Des physiciens théoriciens, autour d’Alex Grossmann, puis des mathématiciens, autour d’Yves Meyer, d’Ingrid Daubechies et de Stéphane Mallat<sup>3</sup>, ont fait le lien entre ces idées et des formules de représentations en théorie des groupes, des techniques d’analyse harmonique, ainsi que des méthodes de filtrage numérique. Les ondelettes sont un outil mathématique. Elles permettent de décomposer des fonctions arbitraires pour analyser plus finement leurs propriétés locales. Mes travaux avec Ingrid Daubechies et Jean-Christophe Fauveau ont permis

---

*“Je me pose régulièrement la question de la pertinence de l’objet de mes recherches pour des applications.”*

---

d’identifier une nouvelle classe d’ondelettes, qui a ensuite été adoptée par les ingénieurs pour compresser des images. Mais nous ne nous sommes pas demandé a priori : « Comment faire pour créer un nouveau format de compression ? » Je pense que si nous nous étions posé cette question, nous ne serions pas arrivés à une solution aussi élégante.

**Ce nouveau format de compression a donc été adopté internationalement ?**

**A. C. :** Oui, il s’agit du format Jpeg 2000, utilisé chez les professionnels de l’image essentiellement. L’intensité lumineuse change peu d’un point à l’autre d’une image, sauf au niveau des contours des objets. Quand on la décompose

2. Unité CNRS/UPMC/Univ. Paris-Diderot. 3. Lauréat en 2013 de la médaille de l’innovation du CNRS.

# « pures et appliquées »

sur une base d'ondelettes appropriée, très peu de coefficients vont donc avoir une valeur importante et la plupart seront presque nuls, ce qui permet la compression. Contrairement au format Jpeg, très répandu sur le Web, le format Jpeg 2000 ne « découpe » pas l'image en bloc et crée donc moins d'artefacts visuels.

## Cette recherche appliquée vous a-t-elle été utile pour d'autres travaux ?

**A. C. :** En prenant du recul, elle nous a permis de dégager un concept plus général : celui de parcimonie. Pour reprendre l'exemple de l'image, le fait qu'un très petit nombre de coefficients d'ondelettes concentre l'essentiel de l'information est une propriété de parcimonie. Ce concept a depuis été décliné dans de nombreuses applications, bien au-delà de la compression d'image.

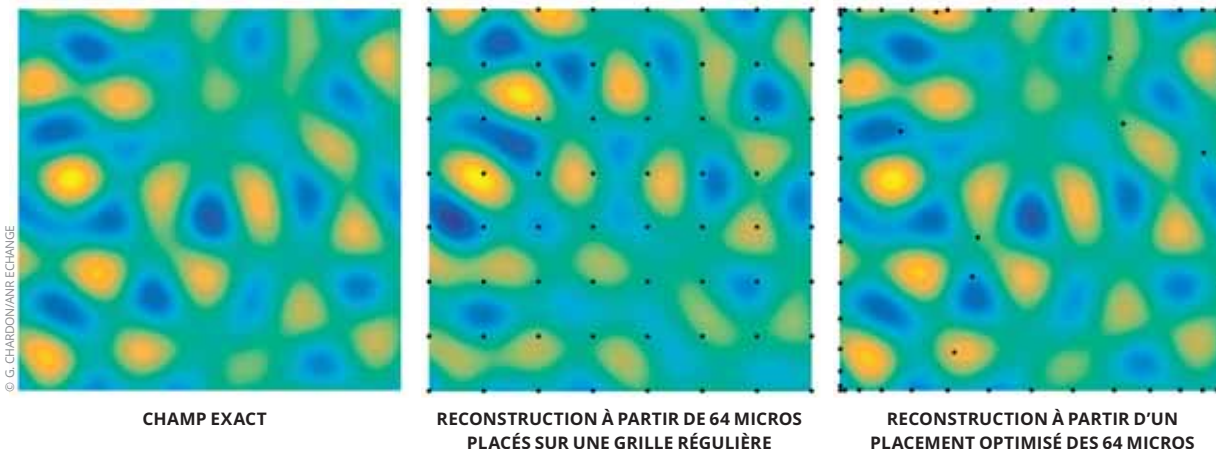
## Par exemple ?

**A. C. :** Dans la simulation numérique de certains phénomènes physiques, tels que les écoulements fluides, l'information importante se concentre dans des régions localisées, par exemple là où se produisent des ondes de choc. On peut développer des méthodes qui tirent parti de ces propriétés. Depuis dix ans, le domaine du *compressed sensing* (échantillonnage compressif) a connu un développement spectaculaire autour des travaux d'Emmanuel Candès et de David Donoho. L'enjeu principal est ici de capturer des signaux à partir d'un très petit nombre de mesures bien choisies et de les reconstruire avec précision en utilisant leurs propriétés de parcimonie dans une représentation connue. En lien avec

ces idées, j'ai collaboré avec des acousticiens sur la disposition optimale d'un nombre donné de micros dans une pièce pour reconstruire l'ensemble d'un champ acoustique. Plus récemment, j'ai appliqué ce concept à des fonctions qui dépendent d'un grand nombre de variables, et dont l'approximation numérique est inconcevable par des méthodes classiques. Les ingénieurs sont naturellement confrontés à ces problèmes lorsqu'ils cherchent à comprendre la dépendance de phénomènes – qu'ils soient expérimentaux ou simulés numériquement –, en fonction de nombreux paramètres physiques. Le concept de parcimonie peut aider à surmonter cette « plaie des grandes dimensions ».

## La valorisation est-elle également une source de financement de vos recherches ?

**A. C. :** Personnellement, je bénéficie à la fois d'un financement européen, via une bourse ERC, et du dispositif de l'Institut universitaire de France. Il s'agit donc de fonds publics. Même si certains de mes résultats ont été valorisés et ont eu des applications commerciales – mon nom figure sur deux brevets – le passage d'une idée à une réalisation technologique concrète est un processus long et complexe, et je n'ai pas vocation à le suivre jusqu'au bout. Je n'ai jamais cherché à utiliser ce moyen comme source de financement. Ce qui reste à mon sens fondamental dans la recherche, c'est la liberté complète du scientifique. Y compris celle de s'égarer en dehors des sentiers que lui imposeraient un impératif de valorisation. La plupart des avancées technologiques n'auraient pas eu lieu sans cette errance vertueuse des chercheurs et, en particulier des mathématiciens. ||



Reconstruction d'un champ acoustique (à g.) à l'aide d'une méthode classique (au milieu), puis grâce au concept de parcimonie (à d.).

# Forêts morcelées, oiseaux menacés ?

TERRE ● VIVANT ●

**Écologie.** À cause des activités humaines, la forêt guyanaise est de plus en plus fragmentée sur la bande littorale, c'est-à-dire découpée en parcelles de plus en plus petites et isolées. Quel en est l'impact sur la biodiversité et, plus précisément, sur les oiseaux ? Alors que l'on revoit à la hausse le nombre d'espèces disparues dans le monde, des chercheurs français mènent l'enquête, dans le cadre du projet Fragmentation & Biological Invasions (Frag & Binv), afin d'influencer les politiques locales.

PAR AUDREY DIGUET ET ANNE-LISE CHRISTMANN

PHOTOS FABRICE MONNA/BIOGÉOSCIENCES-DIJON/  
CNRS PHOTOTHÈQUE



1. Le Campyloptère à ventre gris est une espèce largement répandue en Amérique du Sud. Elle occupe les forêts tropicales humides, mais peut aussi s'accommoder de forêts assez dégradées.





2. Faut-il privilégier de grands fragments de forêt, même éloignés les uns des autres, ou en préserver de plus petits, mais mieux connectés ? Les résultats de l'étude devraient permettre aux décideurs locaux de mieux protéger la biodiversité en Guyane.



3

3. Denis Roussel, bénévole sur la mission, déploie des filets pour capturer les oiseaux dès le lever du jour, moment de la journée où les volatiles sont le plus actifs. Ces filets à mailles très fines sont contrôlés régulièrement.



5



4

4. Les chercheurs Stéphane Garnier et Bruno Faivre, du laboratoire Biogéosciences (CNRS/Univ. de Bourgogne) libèrent un oiseau des filets afin de l'identifier. Onze espèces, des plus généralistes aux plus spécialistes de l'habitat forestier, entrent dans le champ d'investigation des chercheurs.

5. L'utilisation de sacs opaques permet de limiter le stress des oiseaux qui attendent d'être mesurés et examinés.



6

6. Un des objectifs du projet est de déterminer si les oiseaux, ici un Manakin casse-noisettes, réagissent différemment au phénomène de fragmentation de la forêt selon leurs préférences écologiques.



7

7. Le mâle Manakin à tête d'or possède un plumage jaune vif et noir.

8. Ce Manakin tijé fait également partie des espèces étudiées par les scientifiques. Il est essentiellement présent sur la bande littorale en Guyane.



8



9. L'ornithologue Maxime Loubon, de l'association Gepog, recherche les parasites externes sur un oiseau. Selon la zone étudiée, les oiseaux peuvent être plus ou moins exposés et plus ou moins résistants à ces parasites.

10. Cet oiseau est parasité par un mallophage, un insecte proche du pou. La fragmentation des forêts pourrait influencer les interactions entre les oiseaux et leurs parasites.

11. Pour quantifier avec précision les couleurs des pattes et de la tête, les chercheurs photographient les oiseaux à côté d'une mire colorée.

12. Plusieurs caractères morphologiques sont mesurés sur chaque animal : les longueurs de l'aile, de la queue et du tarse, ainsi que la masse.

Les données recueillies par les chercheurs lors de leur mission de décembre dernier sont actuellement en cours d'analyse. Les premiers résultats sont attendus pour l'automne.



10



11



12



Le site du projet Frag & Binv

» <http://habitat-fragmentation.cnrs.fr>


» Visionner l'intégralité du diaporama sur [lejournal.cnrs.fr](http://lejournal.cnrs.fr)

# Ces matériaux qui vont tout changer

UNE ENQUÊTE RÉALISÉE PAR MATHIEU GROUSSON, JONATHAN RANGAPANAIKEN ET LAURE CAILLOCE

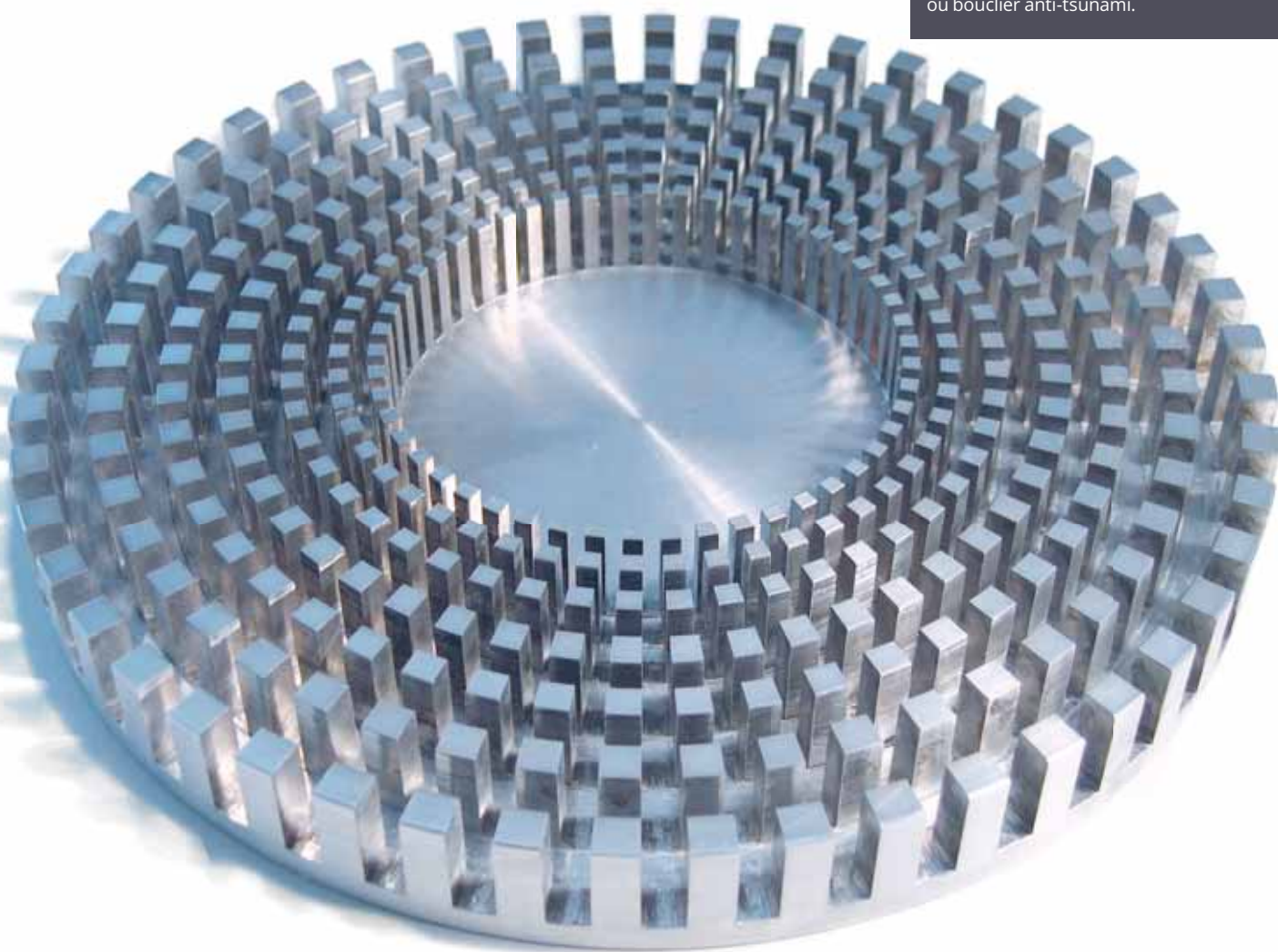
## MATIÈRE

Que ce soit pour révolutionner le stockage de l'information numérique, améliorer les panneaux photovoltaïques, protéger un bâtiment des séismes ou réparer des organes, les chercheurs font feu de tout bois pour concevoir de nouveaux matériaux aux propriétés hors norme. Zoom sur certains d'entre eux, à l'avenir très prometteur.



Parc solaire de la Colle des Mées, plus grande installation photovoltaïque de France. Les pérovskites vont-elles détrôner le silicium (*lire p. 34*) ?

Ce dispositif fonctionne comme une plaque d'invisibilité pour les vagues ou bouclier anti-tsunami.



© S. ENOCH/CNRS PHOTOTHÈQUE

## Des propriétés incroyables

Un revêtement phonique fin comme du papier à cigarette, mais ultra-performant, une échographie avec une résolution au-delà de la limite actuelle, des installations capables de protéger des bâtiments contre les séismes ou des installations portuaires contre les tsunamis ? La solution commune à ces questions porte désormais un nom : métamatériaux. Vous savez, ces matériaux rendus populaires, car ils offrent la possibilité, du moins en principe, de réaliser la cape d'invisibilité du magicien Harry Potter. Plus

prosaïquement, de se jouer des lois classiques de propagation de la lumière et, par conséquent, de manipuler cette dernière à « l'infini ».

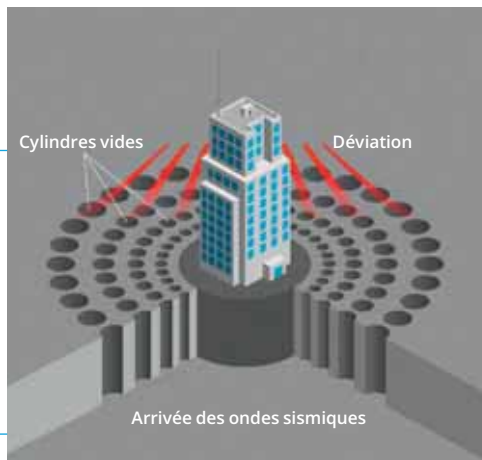
Or, comme le souligne Sébastien Guenneau, de l'Institut Fresnel<sup>1</sup>, à Marseille, « les équations qui régissent le comportement des ondes lumineuses sont sensiblement les mêmes que celles auxquelles obéissent les ondes mécaniques ». Ainsi, ce qui est vrai pour la lumière l'est également pour les ondes acoustiques, sismiques ou hydrodynamiques. Une réalité à l'origine d'avancées spectaculaires auxquelles participent activement les chercheurs du CNRS. Pour

une part importante, ces avancées résident dans les progrès réalisés dans l'art de concevoir et de façonner ces nouveaux matériaux. De fait, tout comme leurs alter ego optiques, ils n'existent pas dans la nature et doivent donc être structurés artificiellement. Précisément, leur recette générique consiste en l'insertion dans une matrice d'une multitude d'inclusions dont les propriétés mécaniques – par exemple la vitesse de propagation du son en leur sein – diffèrent notablement de celle de cette matrice. Comme l'explique Thomas Brunet, de l'Institut de mécanique et d'ingénierie de Bordeaux<sup>2</sup>, « il est alors possible d'obtenir une très forte diffusion de son sur les inclusions qui, dans ...

1. Unité CNRS/Aix-Marseille Univ./Centrale Marseille. 2. Unité CNRS/Univ. de Bordeaux/Bordeaux INP/Arts et Métiers ParisTech.



“Notre métamatériau dévie les ondes sismiques de part et d’autre de la zone à protéger.”



© D. HYPOULTE POUR SCIENCES ET AVENIR

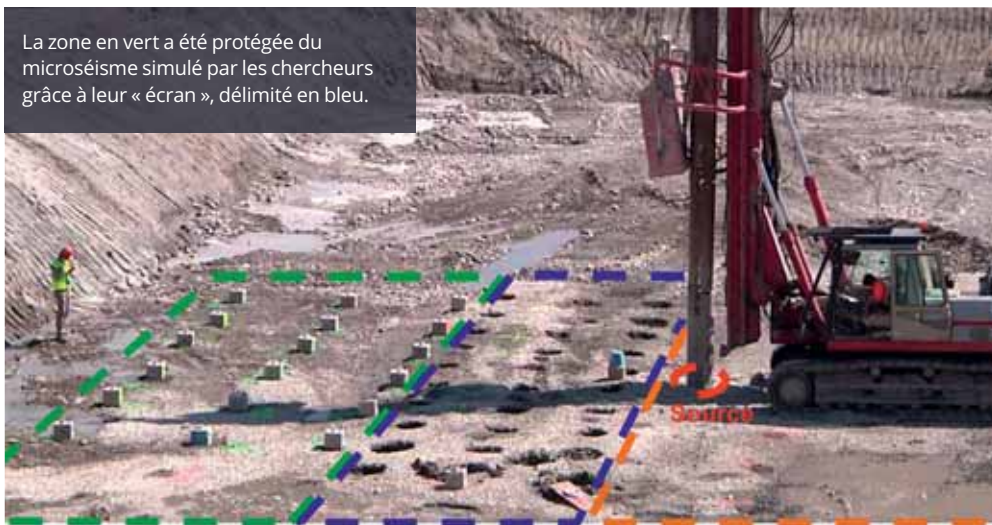
par ailleurs plusieurs déclinaisons. « En collaboration avec Philippe Roux, de l’Institut des sciences de la Terre<sup>3</sup>, à Grenoble, nous avons un projet de protection sismique non pas en structurant le sol, mais en utilisant les forêts », détaille le physicien. De même, les scientifiques ont récemment démontré, dans le canal à houle de 17 mètres de Centrale Marseille, que des poteaux verticaux savamment disposés agissaient telle une cape d’invisibilité vis-à-vis de la houle.

### Des lentilles pour l'échographie

À une échelle très différente, l’équipe bordelaise est également parvenue à des résultats prometteurs en mettant au point un métamatériau grâce à la mise en œuvre de procédés empruntés à la physique de la matière molle et de la microfluidique, soit l’art de manipuler les fluides aux échelles micrométriques. Il se présente sous la forme de microbilles poreuses – fabriquées au Centre de recherche Paul-Pascal du CNRS, dans l’équipe d’Olivier Mondain-Monval – mises en suspension dans une matrice aqueuse. « Le procédé est adaptable à différentes tailles de billes et donc à différentes longueurs d’onde, s’enthousiasme Thomas Brunet. Mais surtout, c’est le premier qui permette de réaliser un métamatériau acoustique tridimensionnel, c’est-à-dire auquel on puisse donner la forme que l’on souhaite, et à indice de réfraction négatif. »

Interdite par les lois de l’optique conventionnelle, cette dernière propriété permet d’envisager des lentilles acoustiques – l’équivalent vis-à-vis des ondes sonores des lentilles de l’optique – dites parfaites, soit des dispositifs capables de résoudre une image au-delà de la limite de diffraction, ce dont aucune lentille standard n’est capable. Avec, par exemple, de possibles applications dans le secteur de l’échographie médicale. « On

La zone en vert a été protégée du microséisme simulé par les chercheurs grâce à leur « écran », délimité en bleu.



© S. BRULLEMEYER

... certaines conditions, résonnent de concert ». Avec à la clé, selon la nature des inclusions, leur taille ou la distance qui les séparent, des propriétés mécaniques inattendues. Par exemple, des matériaux qui se dilatent sous une contrainte de compression ou bien qui, soumis à une force, accélèrent dans la direction opposée ! Autant d’effets macroscopiques qui trahissent l’étrange manière dont le son s’y propage. Et qui, utilisés astucieusement, ouvrent la voie à des applications étonnantes.

### Un écran antisismique

Comme celles actuellement développées par Stefan Enoch, Sébastien Guenneau et leur équipe. Leur idée ? Mettre des bâtiments à l’abri des séismes en les plaçant au centre d’un

métamatériau façonné dans le sol même. Comment ? En y forant des trous de plusieurs mètres, disposés en anneaux concentriques autour de la zone à protéger. Ainsi, les scientifiques ont réalisé un essai grandeur nature en collaboration avec l’équipe de Stéphane Brûlé, de la société Ménard, spécialisée dans les fondations et le traitement des sols sur un terrain de 5 000 m<sup>2</sup> sur lequel les scientifiques ont déclenché un microséisme en y lâchant une masse de 17 tonnes depuis une hauteur de 20 mètres ! Résultat : « Notre métamatériau géant a agi comme une cape d’invisibilité en déviant les ondes sismiques de part et d’autre de la zone centrale à protéger », se félicite Sébastien Guenneau, dont les travaux ont fait l’objet de plusieurs dépôts de brevet et offrent

3. Unité CNRS/UJF/IRD/Univ. Savoie Mont-Blanc/Ifsttar. 4. Unité CNRS/ESPCI ParisTech/UPMC/Univ. Paris Diderot/Inserm. 5. Unité CNRS/Univ. Paris Diderot.



*n'y est pas encore, précise, modeste, le chercheur. Mais, en principe c'est possible !* » Et concrètement, un dépôt de brevet est en cours sur le procédé de fabrication.

### Une cape d'invisibilité acoustique

Autre cas de figure avec le métamatériau élaboré récemment par Arnaud Tourin, Fabrice Lemoult et Maxime Lanoy, de l'Institut Langevin<sup>4</sup>, Valentin Leroy, du laboratoire Matière et systèmes complexes<sup>5</sup>, à Paris, et l'équipe de John Page, de l'université du Manitoba, au Canada. Précisément, un film élastomère de quelques millimètres d'épaisseur criblé de micro-bulles et doté d'un coefficient d'absorption voisin de 100 % ! « *En jouant sur la distance entre les bulles et la viscosité de l'élastomère, on parvient à absorber*



Placées en suspension dans un gel à base d'eau, ces microbilles de silicone poreux constituent des métamatériaux prometteurs pour l'imagerie médicale.

*dans notre matériau jusqu'à 50 % de l'énergie d'une onde incidente, explique Arnaud Tourin. L'onde retour peut même être totalement annulée en profitant de l'interférence*

*destructive entre l'onde réfléchi par le métamatériau et l'onde réfléchi à la surface de l'objet protégé par cet écran.* » L'application la plus évidente serait un « méta-écran » susceptible de rendre invisible aux sonars un objet immergé qui en serait recouvert. Mais les scientifiques ont également d'autres idées en tête, tel le pilotage de micro-bulles circulant dans des circuits microfluidiques élaborés dans le métamatériau. Comment ? « *En envoyant certains sons sur les bulles piégées dans l'élastomère dans lequel le circuit est fabriqué, on crée des résonances susceptibles d'engendrer des forces attractives ou répulsives sur les bulles circulant dans le micro-circuit* », explique le physicien. Preuve que les métamatériaux acoustiques n'ont pas fini de nous surprendre ! ■ M. G.



## Ludwik Leibler, Inventeur européen de l'année 2015

Le 11 juin, Ludwik Leibler, directeur de recherche au CNRS, a reçu le prix de l'Inventeur européen de l'année 2015, catégorie « Recherche », pour ses travaux sur les vitrimères. Ces matériaux inédits sont façonnables, de manière réversible et à volonté, à haute température. Légers, insolubles et difficilement cassables, peu coûteux et faciles à fabriquer, ils pourraient intervenir dans de nombreuses applications industrielles, notamment dans l'automobile, l'aéronautique, le bâtiment, l'électronique et les loisirs. Plus récemment, ce physico-chimiste a également inventé une colle capable de remplacer des points de suture et de réparer des organes mous comme le foie. Membre de l'Académie des sciences, professeur associé à l'ESPCI ParisTech, Ludwik Leibler est directeur du laboratoire Matière molle et chimie (CNRS/ESPCI ParisTech). Il a reçu en 2013 la médaille de l'innovation du CNRS.



Mis au point par Ludwik Leibler, le vitrimer est un matériau à la fois façonnable à chaud comme le verre, et élastique et insoluble à température ambiante comme le caoutchouc.

Roche de pérovskite. La découverte des qualités photovoltaïques de ce matériau remonte à 2012 seulement.

# Photovoltaïque : la fièvre pérovskite

Dans les symposiums surbookés qui leur sont dédiés, des participants s'assoient par terre par manque de place. Toutes les grandes revues scientifiques leur ont consacré un numéro, avec certains titres dignes de la presse people. Comme pour le graphène ou les nanotubes de carbone, une fièvre pour les pérovskites a gagné les chercheurs du monde entier. Pourtant, rien ne prédisait que ces matériaux utilisés depuis 2012 à peine dans le domaine photovoltaïque allaient faire tomber tous les records de **rendement** : 10 % en 2012, 15 % en 2013, 20 % en 2014, plus très loin des 25,6 % de rendement aujourd'hui affichés par le silicium... Et qui sait jusqu'où les courbes s'envoleront ?

Les pérovskites désignent une famille de matériau ayant une structure cristalline particulière. Celles utilisées pour le solaire sont dites

## RENDEMENT

Rapport entre l'énergie électrique produite par une cellule photovoltaïque et l'énergie lumineuse apportée par le soleil.

hybrides, comprenant à la fois des composés organiques et inorganiques. Fruits des recherches de la filière du photovoltaïque organique, les cellules solaires en pérovskite sont une alternative séduisante aux cellules en silicium qui dominent aujourd'hui le marché, mais dont les limites (performances, rigidité...) sont connues depuis plusieurs années.

## Des qualités insoupçonnées

La découverte des qualités photovoltaïques des pérovskites revient à deux experts du domaine : Michael Graetzel, de l'École polytechnique de Lausanne, et Henry Snaith, de l'université d'Oxford. « *Les cellules réalisées par Graetzel et Snaith ont atteint, dès leur apparition en 2012, les meilleures performances parmi les technologies émergentes* », raconte Daniel Lincot, directeur de l'Institut de recherche et développement sur l'énergie photovoltaïque<sup>6</sup>.

Si les pérovskites produisent des rendements si élevés, c'est grâce à leurs qualités insoupçonnées. La bonne séparation des charges électriques et leur mobilité sont en effet la bonne surprise de ce matériau, d'autant que, « *au moment où les premiers résultats sont tombés, les propriétés électroniques de ces matériaux étaient encore mal connues, c'est d'ailleurs toujours le cas aujourd'hui* », explique Emmanuelle Deleporte, physicienne au Laboratoire Aimé-Cotton<sup>7</sup> qui étudie depuis dix ans ces composés. À la bonne mobilité des charges s'ajoutent une bonne absorption de la lumière du soleil, la possibilité de les manipuler sous forme d'encre pour de grands revêtements et un coût de fabrication peu élevé...

## Vers des solutions mixtes

Alors... Les pérovskites seront-elles LA technologie du futur pour le photovoltaïque ? « *Je ne pense pas qu'une seule technologie deviendra la solution*

6. Unité CNRS/EDF/Chimie ParisTech. 7. Unité CNRS/Univ. Paris-Sud/ENS Cachan.



## Des molécules pour stocker l'information

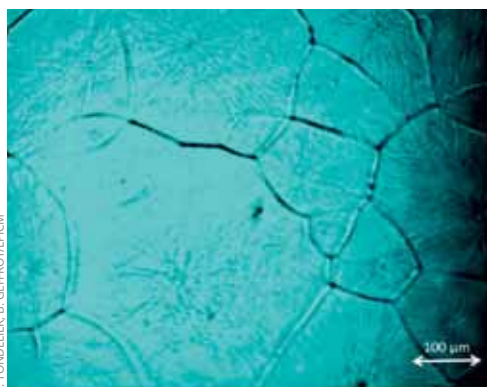
unique, tempère Daniel Lincot. Les pérovskites ont apporté un élan considérable à la communauté photovoltaïque et sont encore pleines de promesses, mais elles se heurtent également à des verrous très importants comme leur piètre stabilité ou leur mauvaise résistance à l'eau... Par ailleurs, les records sont réalisés sur des démonstrateurs de quelques millimètres carrés de surface. Il reste de nombreuses années de recherche, même si l'intérêt des entreprises du secteur est déjà très fort. »

Si le matériau prodige a encore de nombreux secrets à dévoiler, son apparition sur le marché pourrait ne pas tarder... Henry Snaith, avec sa start-up Oxford Photovoltaics, annonce la commercialisation des premières cellules pérovskites dès 2017. La fièvre ne va pas retomber de sitôt. ■ J.R.

“Les pérovskites ont apporté un élan considérable à la communauté photovoltaïque.”



Pour inscrire de l'information sur des polymères, il suffit de donner à chaque monomère une valeur donnée, 0 ou 1.



Vue colorisée d'une couche de pérovskite. Les premières cellules pérovskites pourraient être commercialisées dès 2017.

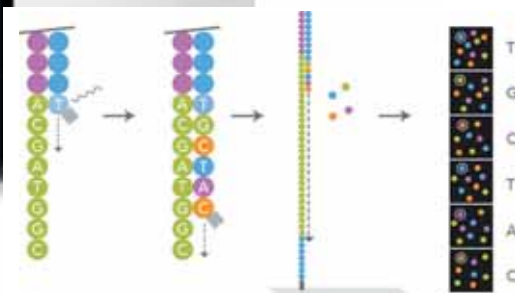
Et si tout le savoir humain actuellement contenu sur Internet tenait dans l'espace d'un bureau, en lieu et place des hectares de data centers qui envahissent la planète ? C'est ce qu'envisagent très sérieusement les chimistes spécialistes des polymères, qui veulent utiliser ces longues chaînes moléculaires pour stocker à terme les zettaoctets ( $10^{21}$ ) d'information numérique produits chaque année. « Un polymère est une succession de petites molécules associées les unes aux autres, les monomères, explique Jean-François Lutz, spécialiste des

macromolécules à l'Institut Charles-Sadron du CNRS. L'idée, c'est d'inscrire de l'information sur ces longues chaînes en donnant à chaque monomère une valeur donnée, 0 ou 1, exactement comme on le fait aujourd'hui sur les supports de type silicium. » Le procédé est directement inspiré de ce que fait la nature depuis des millions d'années avec son polymère le plus célèbre : l'ADN ! « Dans le cas de l'ADN, il s'agit des quatre nucléotides A, T, G et C qui, en fonction de l'ordre dans lequel ils sont associés, codent pour des milliards d'informations génétiques différentes », précise Jean-François Lutz. ...



© ILLUMINA

Pour « écrire » sur de l'ADN et le lire, les chercheurs utilisent des machines classiques de synthèse et de séquençage.



... L'une des pistes suivies par les chercheurs consiste d'ailleurs à écrire l'information directement sur de... l'ADN créé artificiellement, en utilisant les techniques de synthèse d'ADN développées en laboratoire depuis quarante ans. Il « suffit » pour cela de décider arbitrairement que deux des quatre nucléotides codent pour le zéro, et deux autres, pour le 1, et d'écrire ainsi tous les messages voulus. Pour lire les données, rien de plus simple : les chercheurs utilisent les machines de séquençage automatique du génome.

### Tout un livre sur ADN

Et ça marche ! Avec cette méthode, une équipe de chercheurs de Harvard a réussi à encoder sur ADN un livre de 300 pages, illustrations comprises<sup>8</sup>. Avantage de l'ADN : dans des conditions de conservation adaptées, il est quasiment indestructible et demeure intact pendant des milliers d'années, quand les dispositifs sur silicium ont une durée de vie de quelques dizaines d'années tout au plus. Inconvénient, il se conserve en milieu aqueux et est chargé ioniquement... Pas idéal quand on

envisage de travailler à l'interface de la nanoélectronique !

Ce problème de compatibilité pourrait néanmoins être résolu en codant l'information sur des polymères de synthèse – nos bons vieux plastiques et autres résines ! C'est la tâche à laquelle se sont attelés Jean-François Lutz et son équipe. « *Le prin-*

## On ne parle pas de simple archivage, mais bien de supports réinscriptibles, comme le sont nos disques durs et nos clés USB.

*cipe, c'est d'associer deux monomères artificiels, qu'on définit arbitrairement comme 0 et 1 »*, explique le chercheur. Plus facile à dire qu'à faire, car si on sait synthétiser depuis soixante ans toutes sortes de polymères utilisés quotidiennement par l'industrie, les blocs de monomères s'associent de

façon totalement aléatoire à l'intérieur des longues chaînes moléculaires... Un vrai problème pour écrire de l'information !

« *Pour contrôler l'ordre dans lequel ils se lient, on développe depuis huit-dix ans des méthodes permettant d'attacher les blocs de monomère un à un »*, raconte Jean-François Lutz<sup>9</sup>. Même si le procédé reste fastidieux – quelques minutes pour attacher un bloc à la chaîne moléculaire, à comparer à la vitesse de 20 monomères/seconde à laquelle notre corps synthétise son ADN – les chercheurs ont déjà réalisé de petites prouesses.

### Des polymères thermosensibles

« *Avec cette méthode, on réussit à écrire quelques mots et on devrait pouvoir coder une phrase entière d'ici quelques mois »*, s'enthousiasme Jean-François Lutz, qui espère stocker un livre entier sur ces polymères de synthèse dans trois ou quatre ans. Attention : on ne parle pas ici de simple archivage, mais bien de supports réinscriptibles, comme le sont nos disques durs et nos clés USB. « *Nous avons développé des polymères sensibles à la température, qui se détruisent à 50-60 °C*, explique le chercheur. *Le principe est le même que sur silicium : pour effacer, on détruit les données inscrites à l'endroit désiré et on va réécrire ailleurs, sur un espace encore vierge.* »

Pour l'heure, les chercheurs travaillent d'arrache-pied à des chimies ultra-réactives destinées à accélérer l'accrochage de chaque bloc et donc l'écriture des données. Ils tablent sur une dizaine d'années pour arriver à un système abouti, et sur dix de plus avant de voir ces molécules de stockage intégrées à nos serveurs et à nos ordinateurs... **|| L.C.**

8. « Next-Generation Digital Information Storage in DNA », G. M. Church *et al.*, *Science*, 28 sept. 2012, vol. 337 (6102) : 1628.

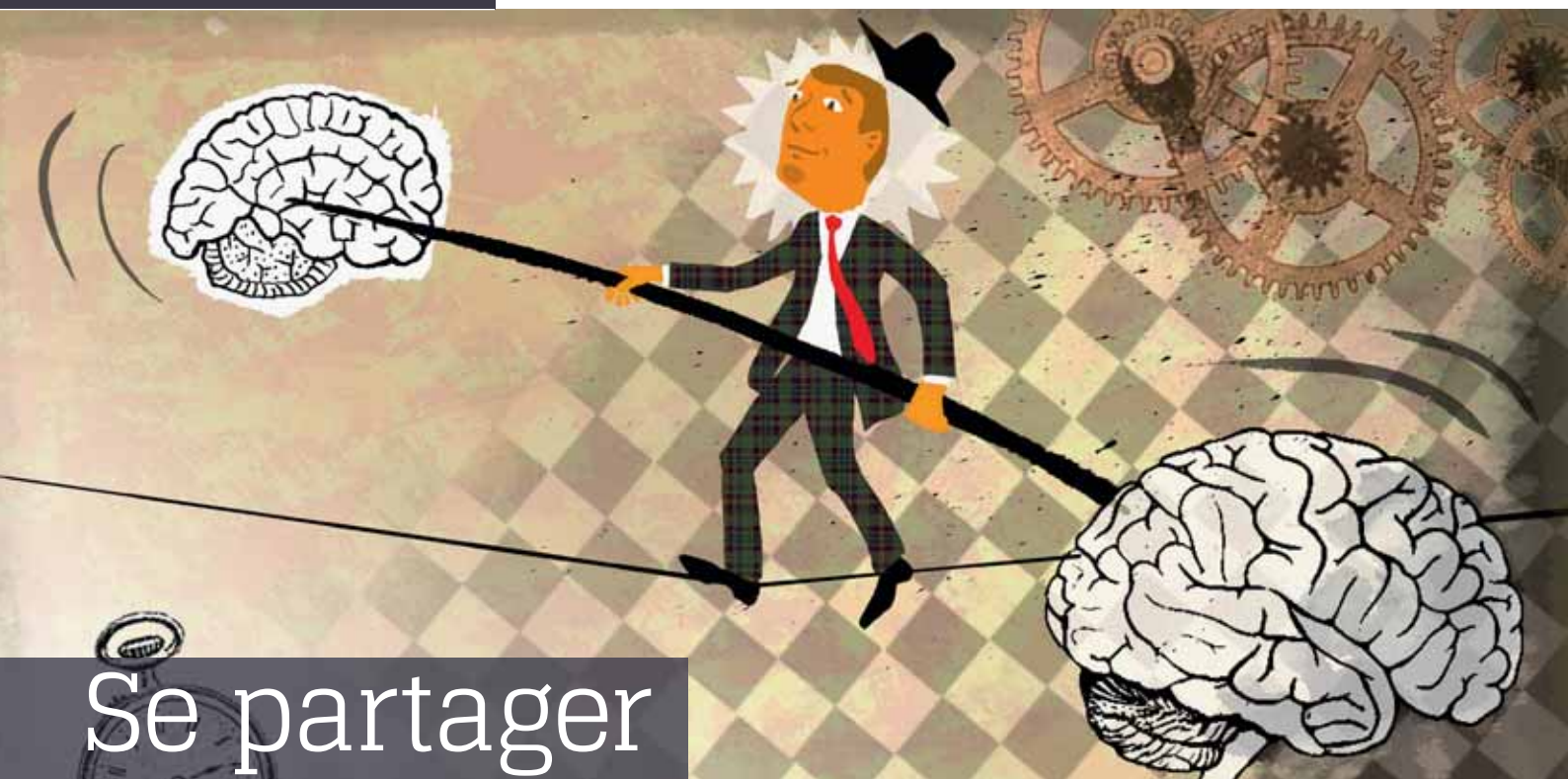
9. « Information-Containing Macromolecules », H. Colquhoun et J.-F. Lutz, *Nature Chemistry*, 2014, vol. 6 : 455-456.

# EN ACTION



*Copier les œuvres de la grotte Chauvet,  
décrypter le séisme de Katmandou,  
cesser d'envahir les grands singes et  
analyser les innovations qui font un flop.*

ILLUSTRATION : BENOÎT TARDIF/COLAGENE.COM POUR CNRS LE JOURNAL



# Se partager pour mieux penser

VIVANT 

**Neurosciences.** Non, les gauchers n'ont pas le cerveau à l'envers des droitiers ! Des travaux récents remettent en question certaines idées préconçues sur l'asymétrie du cerveau.

PAR YAROSLAV PIGENET

## APHASIE

Pathologie du système nerveux qui se manifeste par une perte totale ou partielle de la parole.

Plus que la parole ou le rire, le fait de nous répartir aussi inégalement en droitiers et en gauchers distingue l'espèce humaine de toutes les autres. On liait à tort depuis deux siècles cette asymétrie manuelle à la spécialisation de l'un de nos hémisphères cérébraux dans les activités linguistiques. Revisitant les asymétries du cerveau avec les plus récentes techniques d'imagerie cérébrale, les chercheurs du Groupe d'imagerie neurofonctionnelle de Bordeaux (GIN)<sup>1</sup> remettent en question certaines idées préconçues sur ce phénomène. Ils espèrent comprendre ce que la spécialisation hémisphérique a apporté à l'esprit humain.

## Le mystère de nos hémisphères

Notre cerveau est à première vue constitué de deux hémisphères semblables. Or, comme pour les mains, a priori identiques mais dont les gauchers et les droitiers se servent différemment, la symétrie anatomique apparente du cerveau cache une profonde dissymétrie fonctionnelle, aussi appelée latéralisation ou spécialisation hémisphérique. « *La spécialisation hémisphérique désigne le fait que certaines fonctions cognitives sont hébergées préférentiellement par un hémisphère*, explique Emmanuel Mellet, du GIN. *Il est classique d'attribuer à l'hémisphère gauche un rôle privilégié dans les fonctions langagières et à l'hémisphère droit dans les fonctions spatiales.* »

Dès le XIX<sup>e</sup> siècle, les neurologues ont remarqué que certaines lésions cérébrales avaient des conséquences différentes sur les facultés de leurs patients selon qu'elles affectaient la partie droite ou gauche de leur cerveau. La Première Guerre mondiale et son lot de blessés à la tête leur ont fourni suffisamment de cas pour établir que l'immense majorité des blessés **aphasiques** souffrait de lésions à l'hémisphère gauche. Ce dernier contrôlant également la main droite, on lia les deux phénomènes ; et, pendant près d'un siècle, on considéra que la préférence manuelle était la conséquence de la dominance de notre hémisphère « parlant ».

En réexaminant la spécialisation hémisphérique au moyen de l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle

1. Unité CNRS/CEA/Univ. de Bordeaux. 2. « Gaussian Mixture Modeling of Hemispheric Lateralization for Language in a Large Sample of Healthy Individuals Balanced for Handedness », B. Mazoyer *et al.*, *Plos One*, publié en ligne le 30 juin 2014. 3. Base de données composée d'une population comportant autant de sujets gauchers que droitiers. Elle a été acquise par les chercheurs du GIN afin d'étudier les questions de latéralisation. 4. « Weak Language Lateralization Affects Both Verbal and Spatial Skills : An fMRI Study in 297 Subjects », E. Mellet *et al.*, *Neuropsychologia*, déc. 2014, vol. 65 : 56-62.



Lire l'intégralité de l'article  
sur [lejournal.cnrs.fr](http://lejournal.cnrs.fr)

(IRMF), les scientifiques du GIN ont récemment remis en question cette explication<sup>2</sup>. En observant l'activité cérébrale de 297 sujets issus de la base de données BIL & GIN<sup>3</sup>, ils ont observé que, si 94 % des droitiers manifestaient une spécialisation hémisphérique gauche dans les tâches linguistiques, 84 % des gauchers faisaient de même. Cette statistique montre que le fait que l'hémisphère gauche contrôle à la fois le langage et la main droite chez une majorité d'êtres humains n'implique pas que ces phénomènes soient liés. En revanche, cette étude a trouvé un lien entre une forte préférence manuelle gauche et une latéralisation droite pour le langage dans un groupe rare d'individus parfaitement normaux (0,06 % de la population générale), une découverte qui fait actuellement l'objet d'une étude.

### Un phénomène très humain

Il n'y a que chez l'espèce humaine que la spécialisation hémisphérique se manifeste aussi systématiquement dans la même direction. « *On attribue souvent le partage des tâches entre hémisphères à une pression de sélection, considérant que cette spécialisation procure un avantage évolutif*, note Emmanuel Mellet. *Mais la nature et l'existence même de cet avantage sont loin d'être établies.* » Il a ainsi été postulé que plus le niveau de spécialisation hémisphérique s'accroît, plus les performances cognitives s'améliorent. Mais aucune étude n'avait jusqu'ici validé cette hypothèse.

Pour la vérifier, Emmanuel Mellet et ses collègues ont comparé les performances de 300 sujets issus de la base BIL & GIN à leur niveau de spécialisation hémisphérique déterminé par IRMF<sup>4</sup>. Ils ont ainsi déterminé que les sujets sans dominance hémisphérique pour le langage présentaient des scores inférieurs à ceux ayant un hémisphère dominant. « *Il faut néanmoins garder à l'esprit que la latéralisation est facteur négligeable au regard de celui du nombre d'années d'études, qui va de pair avec une augmentation des performances, et de celui de l'âge, qui s'accompagne d'une baisse* », conclut le chercheur.

### Une question d'optimisation

Bref, cet avantage ne suffit pas à expliquer pourquoi la spécialisation hémisphérique est apparue, ni pourquoi elle a pris une telle importance. Nathalie Tzourio-Mazoyer, directrice de recherche au CEA, estime qu'elle pourrait être en partie le résultat d'une partition de notre cerveau destinée à lui permettre de répondre à des sollicitations croissantes. « *Au cours de notre évolution, l'expansion de notre cerveau a été fortement limitée par le fait qu'à la naissance notre boîte crânienne doit passer le bassin maternel, explique la chercheuse. Cette expansion s'est d'abord faite par des plissements du cortex. Puis, la place manquant toujours, la solution a été d'héberger les fonctions cognitives nouvelles dans un seul hémisphère.* »

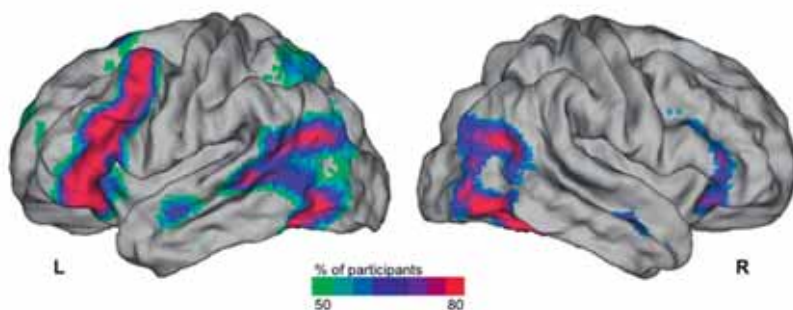
## La symétrie anatomique apparente du cerveau cache une profonde dissymétrie fonctionnelle.

Outre le gain de place, cette partition a l'avantage d'optimiser le fonctionnement cérébral : le fait que les signaux nerveux soient situés dans le même hémisphère optimise leur trafic, car ils ont une distance plus courte à parcourir que s'ils devaient circuler d'un hémisphère à l'autre. On constate ainsi que les circuits dédiés à la compréhension de la parole sont regroupés dans l'hémisphère gauche.

### Des gauchers (parfois) avantagés

Parallèlement à cette découverte, l'équipe du GIN a pu mettre en évidence que les circuits dédiés à l'attention spatiale et aux saccades oculaires s'activaient généralement dans l'hémisphère droit. Ce résultat fournit une explication à la question de l'avantage que représenterait la gaucherie dans les sports demandant des temps d'analyse et de réaction très courts comme l'escrime, la boxe ou le tennis de table. Il expliquerait aussi sur le plan évolutif la persistance de 10 % de gauchers dans la population générale.

Même s'ils ne sont que préliminaires, les résultats obtenus par le GIN montrent l'importance de la spécialisation hémisphérique dans la cognition humaine et l'intérêt de la constitution de la base BIL & GIN, unique au monde. La poursuite de ces travaux devrait permettre de déterminer comment les multiples fonctions cognitives latéralisées s'organisent les unes par rapport aux autres. L'objectif est aussi d'élucider le mode de transmission de cette spécialisation hémisphérique, d'inventorier les avantages cognitifs et évolutifs qu'elle procure et de comprendre en quoi elle distingue le cerveau humain de celui des autres espèces. **II**



▾ Carte de probabilité d'activation des régions cérébrales lors d'un test de production de langage réalisé sur 144 droitiers.

VIVANT

# Ces protéines folles qui minent notre cerveau

PAR MERYEM TIZNITI

Elles affectent plus de 47 millions de patients dans le monde et demeurent à ce jour incurables. Les maladies neurodégénératives se manifestent par une dégradation progressive mais irréversible des fonctions cognitives. On compte, parmi elles, les maladies d'Alzheimer, de Charcot ou de Creutzfeldt-Jakob, forme humaine de l'encéphalopathie spongiforme bovine (ESB). Les travaux menés sur l'ESB ont été les premiers à mettre en évidence un nouvel agent infectieux qui n'est ni une bactérie ni un virus mais une protéine de forme anormale : le prion. Les chercheurs savent désormais que la plupart de ces maladies sont dues à une accumulation dans le cerveau de protéines défectives. Une étude publiée dans *Nature*<sup>1</sup> vient même de montrer que deux configurations différentes de la même protéine défective étaient responsables de deux de ces pathologies, la maladie de Parkinson et l'atrophie multi-systématisée (AMS).

## À chaque structure sa pathologie

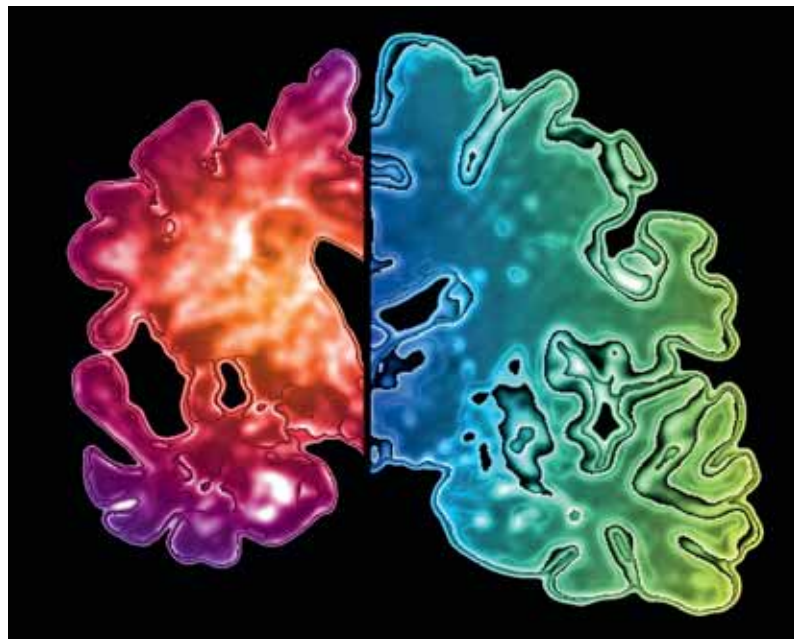
En 2003, l'Allemand Heiko Braak et son équipe ont montré que la maladie de Parkinson était due à des dépôts, « les corps de Lewy », qui s'accumulaient dans les tissus du bulbe olfactif et du tronc cérébral avant d'envahir le cerveau. Ces dépôts sont des agrégats d'une protéine naturellement présente dans le cerveau, l'alpha-synucléine, qui devient toxique pour les cellules nerveuses lorsqu'elle s'agglomère en agrégats ou en fibrilles. À l'Institut des neurosciences Paris-Saclay<sup>2</sup>, Ronald Melki et ses collègues ont injecté des agrégats d'alpha-synucléine dans le bulbe olfactif et la paroi intestinale de souris. Ces derniers ont été retrouvés dans les neurones et leurs prolongements. En étudiant la polymérisation de l'alpha-synucléine<sup>3</sup>, l'équipe a isolé deux structures : l'une ressemble « à des pâtes larges en forme de ruban, comme des linguines », l'autre, « à des pâtes cylindriques pleines, comme des spaghettis ». Les chercheurs ont alors remarqué que ces deux structures imposaient leur conformation aux protéines alpha-synucléine non agrégées. Ce phénomène permet de comprendre comment les corps de Lewy se propagent dans le cerveau. En outre, ces structures ne présentent ni les mêmes capacités à s'attacher aux cellules ni la même toxicité. L'étude publiée dans *Nature* menée par Ronald Melki et une équipe belge montre en effet

que les fibres d'alpha-synucléine aboutissent à des pathologies différentes selon leur structure. Ainsi, quand les chercheurs ont injecté dans le cerveau de rats des fibres de forme cylindrique, ces derniers ont développé une maladie de Parkinson; quand ils ont injecté des fibres en ruban, ils ont développé une AMS.

## Une piste thérapeutique

Mais comment circonscrire ces agrégats? « Soit on cible la formation des fibrilles, soit leur propagation. J'ai beaucoup d'espoir dans cette seconde voie que nous étudions avec mon équipe, indique Ronald Melki. On cherche les molécules qui, une fois liées aux fibrilles, changent leurs propriétés de surface, ce qui bloque leur propagation. » Actuellement, les scientifiques poursuivent donc leur effort pour permettre de ralentir ou d'arrêter la dégradation du tissu neuronal des malades, voire, à très long terme, d'aboutir à une reconstruction des zones endommagées. ||

▲ Image d'un hémisphère cérébral atteint d'Alzheimer (à g.) et d'un hémisphère sain (à d.).



© PASIEKAS/ILCORBIS



Lire l'intégralité de l'article sur [lejournal.cnrs.fr](http://lejournal.cnrs.fr)

1. « Alpha-Synuclein Strains Cause Distinct Synucleinopathies after Local and Systemic Administration », W. Peelaerts *et al.*, *Nature*, 18 juin 2015, vol. 522 : 340-344. 2. Unité CNRS/Univ. Paris-Sud/Univ. Paris-Saclay. 3. « Structural and Functional Characterization of Two Alpha-Synuclein Strains », L. Bousset *et al.*, *Nature Communications*, publié en ligne le 10 oct. 2013.



# Conférence Climat 2015 : le CNRS aux avant-postes

© V. JONHEUIL/CP/CNRS PHOTO THÈQUE

**Environnement.** À travers des conférences scientifiques et des manifestations grand public, le CNRS se mobilise pour le climat en vue de la COP 21 qui aura lieu cet automne en France.

PAR LA RÉDACTION

**D**u 30 novembre au 11 décembre, la France accueille la 21<sup>e</sup> Conférence des parties à la convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques (COP 21). Une échéance cruciale, puisqu'elle doit aboutir à un nouvel accord international sur le climat, applicable à tous les pays, avec l'objectif de maintenir le réchauffement mondial en deçà de 2 °C. Un rendez-vous majeur que le CNRS ne pouvait pas manquer. L'importance prise par le Giec (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) dans le débat public a bien montré que la contribution des scientifiques est primordiale pour l'observation et la compréhension des dérèglements climatiques, mais aussi pour anticiper les conséquences du réchauffement et proposer les moyens d'y remédier ou de s'y adapter. Bref, comme le déclare Alain Fuchs, président du CNRS, « la COP 21 nous donne l'opportunité de faire entendre la voix des scientifiques. Nous devons la saisir ».

Aux avant-postes des recherches menées en France sur les changements climatiques, le CNRS peut s'appuyer sur les compétences de plus de 2 000 chercheurs pour décrire et

▼ **Mesure d'évaluation de la quantité de neige tombée pendant un an sur le glacier Ampère, aux Kerguelen.**

analyser la complexité des enjeux sociaux, sanitaires, économiques et environnementaux qui conditionnent l'avenir des milieux et des sociétés. « *Un de nos objectifs est précisément de faire savoir que l'étude des bouleversements induits par le changement climatique relève d'un large éventail de disciplines issues des sciences de l'Univers et de la Terre, de l'écologie et de l'environnement, des sciences humaines et sociales ou encore des sciences de l'ingénierie et des systèmes...* », indique Agathe Euzen, chargée de mission COP 21 pour le CNRS.

## Un rendez-vous très attendu

C'est sur cet éventail pluridisciplinaire que s'appuiera la 3<sup>e</sup> édition du Forum du CNRS « Que reste-t-il à découvrir ? » les 13 et 14 novembre à La Sorbonne,

qui sera entièrement dédié à la question du changement climatique. L'occasion pour plus de cent scientifiques de répondre aux interrogations du grand public, de mettre en avant leurs résultats en matière de prévision, de modélisation et de compréhension du système climatique, ainsi que de réfléchir et de débattre sur les conséquences du réchauffement comme sur les solutions pour y faire face de manière durable, qu'il s'agisse des enjeux urbains ou de la transition énergétique.

## Des événements grand public

Du 16 au 18 octobre, le CNRS organise, à Poitiers, les 25<sup>es</sup> rencontres Sciences et Citoyens, où les jeunes seront invités à soumettre leurs propositions pour réduire les effets du changement climatique. Le CNRS participera également en fin d'année, en collaboration avec Tara Expéditions et la RATP, à la réalisation d'une fresque-exposition de 140 mètres consacrée aux interactions entre les océans et le climat, visible en novembre et en décembre dans le grand couloir de la station de métro Montparnasse-Bienvenue, à Paris. Enfin, du 30 novembre au 11 décembre, le CNRS participera à plusieurs actions sur le site officiel de la COP 21 au Bourget et dans le cadre de diverses manifestations, dont Solutions COP 21, organisée au Grand Palais et au Bourget. **II**

## Les chercheurs mobilisés

Signe de la forte mobilisation du monde de la recherche, le colloque scientifique *Our Common Future Under Climate Change* a réuni plus de 2 000 personnes du 7 au 10 juillet à l'Unesco à l'initiative des climatologues Jean Jouzel et Hervé Le Treut, de l'Institut Pierre-Simon-Laplace (IPSL)<sup>1</sup>. Plusieurs centaines de chercheurs du CNRS avaient répondu présents. Le CNRS s'est également engagé dans la plateforme Océan et Climat aux côtés de plus de 50 organismes, universités, ONG et représentants du monde professionnel pour « faire entendre la voix de l'océan dans les négociations climatiques ». Enfin, l'organisme a soutenu l'organisation de forums ouverts en Île-de-France, en Corse et en région Paca afin de construire avec les citoyens un nouvel observatoire participatif de la biodiversité en lien avec les changements climatiques.



» [www.cnrs.fr/fr/COP21](http://www.cnrs.fr/fr/COP21)

1. L'IPSL regroupe neuf laboratoires sous dix tutelles : CNRS/UPMC/UVSQ/Cnes/CEA/IRD/ENS/École polytechnique/Univ. Paris Diderot/Upec.

# La grotte Chauvet vue par ses copistes

SOCIÉTÉS 

**Art pariétal.** La réplique de la grotte Chauvet-Pont-d'Arc a ouvert au public au printemps. Décryptage de trois panneaux par les plasticiens Gilles Tosello<sup>1</sup> et Alain Dalis, qui ont réalisé les copies des œuvres.

PROPOS RECUEILLIS PAR LAURE CAILLOCE



Le site de la Caverne du Pont-d'Arc  
» [www.cavernedupontdarc.fr](http://www.cavernedupontdarc.fr)

 Lire l'intégralité de l'article sur  
[lejournal.cnrs.fr](http://lejournal.cnrs.fr)

## Des dessins faits d'un seul jet

Gilles Tosello

« Ce panneau de 2,50 m d'envergure est extrait d'une fresque qui compte une cinquantaine d'animaux. Il a été exécuté au charbon de bois dans un vaste mouvement circulaire, dont on connaît la chronologie grâce à la superposition des tracés. Les artistes ont commencé par les rhinocéros en bas à droite, puis ont dessiné les aurochs et, enfin, les chevaux. La composition a été pensée : la ligne de ventre du dernier cheval, en bas, est recoupée très exactement par la corne du rhinocéros, ce qui montre que l'emplacement de l'équidé ne doit rien au hasard : il a été réservé au centre du panneau. Le support a été préparé à l'avance : la couche d'argile brune qui recouvre en partie les parois calcaires de la grotte a été raclée. À certains endroits, cependant, des résidus d'argile ont été laissés en l'état ; mélangés au charbon, ils donnent des nuances différentes tirant vers le brun, le vert... On est là face à un véritable comportement d'artiste : ces hommes intègrent les obstacles et les utilisent à leur profit. Pour reproduire ce panneau, j'ai collé au plus près aux techniques de l'époque. J'ai dessiné les animaux exactement dans le même ordre, avec le même pigment : du charbon de bois de pin sylvestre que j'ai fabriqué en faisant brûler des branches. J'ai tracé les lignes au charbon, puis j'ai estompé au doigt pour donner des gris et des volumes, comme les hommes de l'époque.

Pour moi, il n'y a aucun doute : ces dessins ont été faits en un seul jet, par des gens qui savent où ils vont et enchaînent les gestes de manière rapide et professionnelle. Il faut avoir travaillé, s'être beaucoup entraîné pour avoir une telle maîtrise à main levée... Combien sont-ils à avoir travaillé sur cette fresque ? J'aurais tendance à dire pas beaucoup, deux-trois peut-être – un seul, c'est trop lourd de conséquences ! Il y a une unité de style, mais aussi des détails communs à plusieurs panneaux de la grotte – la façon de dessiner un œil, l'angle d'une joue, un menton... – qui trahissent en tout cas la présence de la même personne en différents endroits. »



1. Plasticien et préhistorien, membre associé du laboratoire Travaux et recherches archéologiques sur les cultures, les espaces et les sociétés (CNRS/Univ. Toulouse Jean-Jaurès/MCC/EHESS/Inrap).

## Des gravures réalisées au doigt

Alain Dalis



« L'une des particularités de Chauvet, c'est que la paroi est molle, notamment aux endroits où le calcaire est recouvert d'une couche d'argile. Il suffit d'appuyer légèrement dessus pour que le blanc apparaisse. Ici, les gravures ont été réalisées soit directement au doigt – c'est le cas du ventre, de la queue et du museau du cheval –, soit au moyen d'outils tels que bâton ou os cassé. En griffant l'argile, le doigt (ou l'outil) a créé de part et d'autre du trait des petits bourrelets de matière de quelques millimètres qui n'ont pas bougé depuis 36 000 ans... Pour recréer ces amas de matière et cette impression de fraîcheur, j'ai utilisé une résine très souple, qui sèche au bout de quelques jours. Au niveau du ventre du cheval, on peut noter les cinq traits parallèles créés par les artistes : ils imitent vraisemblablement les griffades d'ours que l'on retrouve un peu partout dans la grotte. Avant de découvrir Chauvet, on pensait qu'il y avait une progression de l'art des origines à nos jours. Cette grotte apporte la preuve éclatante du contraire. Tout était là, dès le début : l'utilisation du trait, plus ou moins appuyé, les techniques de perspective, la figuration réaliste ou non... Si on fait abstraction des 36 000 ans, on est devant une œuvre d'art à part entière, dans un style très contemporain. »

## L'un des chefs-d'œuvre de la grotte

Alain Dalis

« La grotte Chauvet a été fréquentée par les ours, avant et après le passage des hommes préhistoriques. Les plantigrades suivaient les parois pour se guider dans le noir et urinaient tout contre. On le voit bien sur ce panneau, dont la partie inférieure est comme polie et piquetée de milliers de petits trous. Reproduire ces détails était aussi un des enjeux de la copie ! Pour dessiner ce panneau, qui figure les silhouettes de trois lionnes – deux en noir et une dont on n'aperçoit que la ligne de dos en rouge –, j'ai utilisé du charbon et de l'oxyde de fer. On voit bien ici comment les artistes préhistoriques ont exploité les reliefs de la paroi, utilisant volontairement un creux de la roche pour représenter la hanche des lionnes. Il y a une tension dans la courbe du dos des félins... On les sent prêts à bondir ! Pour tracer des traits continus sur ce panneau de 2,50 m de long, il faut faire au moins trois pas – cela trahit une incroyable maîtrise de ces hommes. Pour moi, ce panneau des lionnes est l'un des plus grands chefs-d'œuvre de la grotte Chauvet. Il est très contemporain, épuré : un trait, et tout est dit ! On peut le comparer à du Matisse. Soit on a affaire à un Michel-Ange, soit à des gens qui ont beaucoup travaillé avant d'arriver à un tel dépouillement... Je connais bien Lascaux pour avoir participé à la restauration de Lascaux 2, la réplique de la grotte, il y a quelques années. Entre les fresques de Chauvet (36 000 ans), et les peintures de Lascaux (18 000 ans), on constate une vraie évolution. À Lascaux, les pigments ont été soufflés, on a pris

le temps d'utiliser des caches pour avoir des traces nettes... À Chauvet, les artistes ont travaillé au fusain, directement sur la roche, dans un mouvement très dynamique. On sent également que le rapport à la nature est différent. À Lascaux, les animaux sont très stylisés, proches du logo parfois, il y a une distance entre l'homme et la nature. On sent poindre le Néolithique et la sédentarisation. À Chauvet, on devine une observation fine de la faune, dans les attitudes et les regards, qui suggère que ces hommes étaient extrêmement proches de la nature et voyaient ces animaux quasiment comme leurs égaux. »



# Perturbateurs endocriniens : le coût de l'inaction

VIVANT 

**Biologie.** Les perturbateurs endocriniens provoquent de nombreuses pathologies. Un groupement de chercheurs vient de calculer le coût de ces poisons pour l'Europe : 157 milliards d'euros par an !

PAR LOUISE MUSSAT

**D**u bisphénol A dans les biberons en plastique, des pesticides organophosphorés sur la peau des fruits, du paraben dans les cosmétiques, du perchlorate dans l'eau du robinet, etc. Ces vingt dernières années, une succession d'études expérimentales et épidémiologiques a démontré que de nombreux produits chimiques de notre quotidien sont susceptibles d'interférer avec l'action de nos hormones, et ainsi de nuire à notre santé. Ils peuvent, par exemple, réduire la fertilité, provoquer l'obésité, déclencher des pubertés précoces ou encore faire baisser le quotient intellectuel. Parmi ces produits, appelés perturbateurs endocriniens, certains font déjà l'objet d'interdictions et de réglementations. C'est le cas du bisphénol A et des phtalates. Mais la plupart sont toujours autorisés. La Commission européenne vient d'ailleurs d'annoncer qu'elle n'édicterait pas de loi régulatrice avant 2016. Elle a de plus sollicité un panel d'experts pour évaluer le coût économique d'une éventuelle régulation.

## Un coût économique élevé pour la société

Face à ce statu quo, dix-huit chercheurs européens et américains de diverses disciplines se sont attelés à évaluer le coût économique, pour l'Europe, des méfaits liés aux perturbateurs endocriniens. Leur verdict, publié en mars dans la revue *The Journal of Clinical Endocrinology*

& *Metabolism (JCEM)*<sup>1</sup> : 157 milliards d'euros par an, soit 1,23 % du PIB de l'Union européenne. « Avec ce travail, nous avons souhaité lancer un avertissement, assume Martine Bellanger, professeure d'économie à l'École des hautes études en santé publique, avant que les perturbateurs endocriniens ne fassent plus de ravages et ne coûtent encore plus cher à la société. »

Pour aboutir à ce résultat chiffré, les chercheurs se sont d'abord réunis deux jours à Paris, puis par groupes restreints. « Notre objectif était d'estimer les possibles relations de cause à effet entre une dizaine de

▼ Le paraben est utilisé comme conservateur dans de nombreux produits cosmétiques.



1. « Neurobehavioral Deficits, Diseases, and Associated Costs of Exposure to Endocrine-Disrupting Chemicals in the European Union », M. Bellanger et al., *JCEM*, publié en ligne le 5 mars 2015. 2. Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. 3. Unité CNRS/MNHN.

*perturbateurs endocriniens et divers troubles de santé pouvant être associés, explique Martine Bellanger. La méthode retenue inclut, entre autres, celle utilisée par les experts du Giec<sup>2</sup> : elle consiste à éplucher consciencieusement la littérature scientifique disponible. Certaines de ces relations sont en effet très bien documentées. Nous avons considéré leurs différentes probabilités pour les déficits intellectuels, les troubles de déficit de l'attention (ou hyperactivité), l'obésité infantile, le diabète, l'infertilité masculine et la mortalité associée à un déficit de testostérone. Nous avons enfin estimé les coûts de ces troubles pour le nombre de cas probablement dus aux perturbateurs endocriniens. » Le coût annuel obtenu varie entre 3,3 et 244 milliards d'euros annuels. Le chiffre de 157 milliards d'euros est donc le point médian de cette fourchette. Mais les chercheurs estiment, sur la foi de leurs simulations, qu'il y a 75 % de chance que le coût soit supérieur à 96,1 milliards d'euros.*

*D'après l'étude, c'est sur les capacités cognitives (estimées en termes de quotient intellectuel) et les troubles neuro-développementaux que les perturbateurs endocriniens ont le plus lourd impact financier. Chaque année, en effet, à cause de l'exposition de fœtus aux organophosphates et aux retardateurs de flamme, ces agents ajoutés à des produits industriels pour les rendre moins inflammable, près de 14 millions de points de quotient intellectuel (QI) sont perdus, pour un coût estimé à 132 milliards d'euros. « En la matière, nous disposons de très bonnes données épidémiologiques qui portent sur de longues périodes de temps, précise Barbara Demeneix, professeure au laboratoire Évolution des régulations endocriniennes<sup>3</sup> et lauréate de la médaille de l'innovation 2014 du CNRS, qui signe l'un des articles dans JCEM. Dans de nombreux cas, par exemple, nous connaissons à la fois le niveau d'exposition de la mère aux perturbateurs endocriniens lors de sa grossesse et, sept ans plus tard, le quotient intellectuel de l'enfant qu'elle portait. On peut donc déduire des liens de cause à effets très précis et savoir qu'avec tel niveau d'exposition on perd tant de points de QI. »*

### L'arbre qui cache la forêt ?

Le QI, n'est-ce pas un indicateur dépassé ? Et comment une perte de points de QI peut-elle se traduire en coût financier ? « Nous avons utilisé les données basées sur le test Wisc, reconnu par les psychologues, qui révèle différents types d'intelligence (verbale, abstraite, sociale...), répond Barbara Demeneix. Des points de QI perdus se traduisent par une baisse d'inventivité,

*d'innovation des individus, soit un manque à gagner pour la société. Lorsque la perte est importante et donc handicapante, des assistanats doivent être mis en place, ce qui coûte encore plus cher. »*

Le groupe révèle aussi que 316 cas d'autisme et entre 19 400 et 31 200 cas d'hyperactivité peuvent être attribuables aux perturbateurs endocriniens, tandis que l'exposition aux phtalates provoque de l'infertilité masculine ainsi qu'une baisse du taux de testostérone chez les hommes de 55 à 64 ans, ce qui entraîne respectivement 618 000 procédures d'aide à la procréation et 24 800 décès. Ces mêmes perturbateurs endocriniens seraient aussi à l'origine de 53 900 cas d'obésité et de 20 500 nouveaux cas de diabète chaque année chez les femmes âgées. Enfin, l'exposition prénatale au bisphénol A serait responsable de 42 400 nouveaux cas d'obésité infantile chaque année.

L'exposition prénatale au bisphénol A serait responsable de

**42400**  
nouveaux cas  
d'obésité infantile  
chaque année.

### Des États qui tardent à réagir

*« Notre analyse sous-estime largement le coût des perturbateurs endocriniens pour l'Europe, car elle est limitée aux produits pour lesquels nous disposons de plusieurs décennies d'études épidémiologiques et dont le lien de cause à effet avec des maladies est plus sûr, insiste*

*Barbara Demeneix. Pour de nombreuses autres maladies, les études ne font que commencer. Mais on peut d'ores et déjà avancer sans trop de risque que les perturbateurs endocriniens sont en partie responsables des cancers des testicules : on constate en effet une véritable épidémie de cette pathologie, qui touche les très jeunes hommes. »*

Comme un avertissement lancé aux décideurs, l'un des articles de JCEM conclut que « des actions de régulation pour limiter l'exposition aux perturbateurs endocriniens les plus dangereux engendreraient des économies substantielles et amélioreraient la santé publique ». En attendant que de telles mesures soient prises, Barbara Demeneix conseille de manger bio le plus souvent possible (car laver les fruits ne suffit pas à éliminer totalement les pesticides), d'utiliser des biberons en verre et des tétines en silicone, d'aérer très régulièrement les intérieurs et de ne pas dormir avec un grand écran allumé, la poussière et les écrans contenant d'importantes doses de retardateurs de flamme bromés. De quoi réduire les risques pour votre santé et, partant, réduire la lourde facture des perturbateurs endocriniens. ||



TERRE

# Le séisme de Katmandou décrypté

PROPOS RECUEILLIS PAR YAROSLAV PIGENET

▼ Maisons effondrées à Bhaktapur, à 13 kilomètres de Katmandou, après le tremblement de terre.

▲ Localisation du séisme de 2015 et des précédents séismes himalayens.

**Vous êtes spécialiste de la tectonique du plateau tibétain. Que sait-on du tremblement de terre qui a touché le Népal le 25 avril et qui a été suivi par de nombreuses répliques ?**

**Jérôme van der Woerd<sup>1</sup>** : Le séisme qui a secoué la région de Katmandou était de magnitude 7,9 ; il a fait près de 9 000 victimes. C'est le plus grand qu'aient connu le Népal depuis celui de Bihar, en 1934, qui avec une magnitude de 8,4 avait fait plus de 15 000 victimes. Ce séisme se déroule dans le contexte de la collision Inde-Eurasie commencée il y a 50 millions d'années. De nos jours, l'Inde et le sud Tibet convergent à une vitesse de 2 cm/an : cette poussée impose une accumulation de contraintes mécaniques qui sont relâchées périodiquement lors de séismes majeurs.

**Ce séisme était-il prévisible ?**

**J. W.** : Si les mécanismes à l'origine des séismes sont relativement

bien connus, nos modèles ne nous permettent pas de prédire exactement où ni quand les séismes auront lieu. Une étude menée juste avant le séisme<sup>2</sup> par une équipe internationale<sup>3</sup> indiquait que la région de Katmandou était proche de son seuil de rupture. Le séisme du 25 avril l'a hélas confirmé, avant même la publication de l'article...

**Les tremblements de terre se manifestent-ils de manière périodique ?**

**J. W.** : Il est vrai que l'on parle de cycle sismique, mais cela n'a rien à voir, par exemple, avec la régularité des saisons. En étudiant l'événement de 1934<sup>4</sup>, les chercheurs ont ainsi pu dater le séisme précédent, qui a eu lieu en 1255, ainsi que les séismes antérieurs. Un temps de retour d'environ 700-800 ans a alors été déterminé pour les grands séismes himalayens. Il correspond en gros au temps que met la faille pour rompre : soumise à une poussée continue de 2 cm/an durant 800 ans, la croûte terrestre finit par casser. En outre, d'autres périodes, plus courtes, peuvent s'emboîter dans ces grands cycles. En effet, les failles rompent parfois en plusieurs fois. Ainsi, le séisme du 25 avril suit celui de 1934 de 81 ans, or les données historiques et paléosismiques semblent

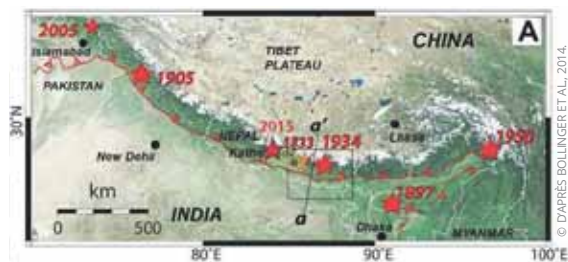
montrer que le séisme de 1255 a été suivi d'un autre en 1344, soit 89 ans plus tard. Ce rythme de 80 ans pourrait donc correspondre à la rupture en deux temps, à l'est puis à l'ouest, d'une faille cédant tous les 800 ans.

**Peut-on considérer, en suivant cette hypothèse, que le Népal est à l'abri pour les 800 prochaines années ?**

**J. W.** : Certainement pas. D'abord parce que le front himalayen comporte d'autres failles. Ensuite, les données qui nous sont parvenues sont encore parcellaires et nous obligent à demeurer très prudents ; d'autant que certaines hypothèses sur lesquelles reposent nos modèles restent très spéculatives. L'un des enjeux principaux des études à venir sera de déterminer si le séisme actuel a relâché toutes les contraintes accumulées. Les données à notre disposition montrent un glissement de la faille d'environ 3 à 5 mètres, bien inférieur aux 10-15 mètres attendus : cela pourrait indiquer que le risque sismique demeure important. ■



Lire l'intégralité de l'article sur [lejournal.cnrs.fr](http://lejournal.cnrs.fr)



© D'APRÈS BOLLINGER ET AL., 2014.

1. Institut de physique du globe de Strasbourg (CNRS/Univ. de Strasbourg). 2. « Slip Deficit in Central Nepal : Omen for a Pending Repeat of the 1344 AD Earthquake », L. Bollinger et al., en review 2015 pour *Nat. Commun.* 3. DMG (Népal)/EOS (Singapour)/CEA/IPGP/IPGS. 4. « Estimating the Return Times of Great Himalayan Earthquakes in Eastern Nepal : Evidence from the Patu and Bardibas Strands of the Main Frontal Thrust », L. Bollinger et al., *J. Geophys. Res.*, sept. 2014, vol. 119 (9) : 7123-7163.

# Une délégation au diapason de la recherche francilienne

**Territoire.** Entre politique de site et optimisation des moyens, la création de la nouvelle délégation Paris-Villejuif accompagne la structuration de la recherche en Île-de-France.

PAR CLAIRE DEBÔVES

Le 15 juillet, la délégation « Paris-Villejuif » est officiellement née de la fusion des délégations « Paris A » (Ivry) et « Île-de-France Est » (Thiais). Cette naissance juridique et administrative sera suivie, en janvier 2016, par l'emménagement des services dans des locaux rénovés sur le campus de Villejuif. L'objectif ? Simplifier et approfondir les relations du CNRS avec ses partenaires académiques, désormais rassemblés au sein de Communautés d'universités et d'établissements (Comue). Comme l'explique Christophe Coudroy, directeur général délégué aux ressources, « nous allons progressivement mettre en adéquation le périmètre des délégations régionales franciliennes du CNRS avec celui des Comue ». En conséquence de quoi la nouvelle délégation Paris-Villejuif n'aura plus que deux Comue partenaires, contre six avant la fusion. De même, quelque 200 unités de recherche en Île-de-France changeront de délégation gestionnaire d'ici à 2019.

## Une organisation optimisée

Concrètement, cette nouvelle organisation favorisera la signature des futurs contrats de site franciliens, mais aussi le développement de Projets exploratoires premier soutien (Peps) ou de nouvelles collaborations en matière de valorisation. Mais la fusion des deux délégations régionales s'explique aussi par la volonté du CNRS d'optimiser les moyens disponibles, dont le patrimoine immobilier. Avec, en ligne de mire, de substantielles économies de loyer (les bâtiments de la délégation Île-de-France Est seront libérés fin 2016), mais aussi une organisation des fonctions support renouvelée.

En effet, les services des deux délégations ne seront pas simplement additionnés les uns aux autres. « La fusion ne modifie pas les activités des agents, mais nous donne l'occasion d'optimiser les organisations et les ressources », indique Patrick Mounaud, délégué régional et chef du projet de fusion<sup>1</sup>. La suppression de postes de chefs de service et divers mouvements



personnels (mobilités, départs à la retraite, etc.) aboutiront donc à un resserrement des effectifs. « Dans le même temps, la délégation Paris-Villejuif gèrera moins d'unités de recherche du fait des transferts en cours à l'échelle de l'Île-de-France », signale Jean-Marie Burgio, directeur adjoint de la Mission pilotage et relations avec les délégations régionales (MPR).

## Un service mutualisé

Enfin, le projet de délégation Paris-Villejuif comprend un dernier volet important : la création d'un service mutualisant certaines fonctions support assurées par les délégations régionales franciliennes. Ce nouveau service, intégré à la délégation Paris-Villejuif et dirigé par Patrick Mounaud, devrait comprendre quatre pôles : formation continue, achats, informatique, patrimoine et logistique. En cours de configuration, ce service mutualisé démarrera progressivement ses activités à l'automne 2015. ||

▼ **Vue d'architecte du bâtiment qui accueillera la nouvelle délégation Paris-Villejuif en janvier 2016.**

1. Patrick Mounaud est depuis novembre 2014 délégué régional des délégations Paris A et Île-de-France Est. Il prendra la direction de la délégation Paris-Villejuif lors de sa création.

**Zoologie.** Les grands singes sont menacés par les activités humaines. Les chercheurs tentent d'établir si la survie de ces primates est conciliable avec le développement économique.

PAR LAURE CAILLOCE

# La cohabitation avec les grands singes est-elle possible ?

Les 80 chimpanzés de Sebitoli, au nord du parc national de Kibale, en Ouganda, se retrouvent dans une drôle d'impasse. Isolés du reste de leurs congénères par une autoroute, ils ont vu la forêt tropicale reculer lentement à cause du développement économique : « *Après avoir été touchés par l'exploitation intensive du bois, ils sont désormais cernés par les plantations de thé et les champs de maïs et de plantain* », explique Sabrina Krief<sup>1</sup>, co-commissaire de l'exposition « Sur la piste des grands singes », qui se déroule jusqu'en mars 2016 au Muséum national d'histoire naturelle, à Paris. Le cas de Sebitoli est loin d'être unique. « *Tous les grands singes sont inscrits au registre des espèces en danger*, rappelle Christophe Boesch, directeur du département de primatologie de l'Institut Max-Planck. *Tout comme l'homme, ils se reproduisent très lentement, ce qui empêche une régénération rapide des populations.* »

## Trois ennemis identifiés

La déforestation est le premier ennemi de ces primates. Or les hommes coupent chaque jour une surface de forêt équivalente à 1,5 fois Paris... L'activité minière porte aussi une lourde responsabilité. « *En République démocratique du Congo (RDC), il y a de plus en plus d'extraction illégale dans les parcs nationaux* », alerte Shelly Masi<sup>2</sup>, maître de conférences au Muséum. Principales

ressources visées : le charbon, mais aussi le coltan, un minerai indispensable à la fabrication des appareils électroniques et qui finance en partie la guerre civile dans l'est de cette région. Autre conséquence de ce conflit, le braconnage de viande de grand singe par les rebelles réfugiés dans la forêt a explosé. Le braconnage sévit également à Bornéo où « *chaque année de 2 000 à 4 000 orangs-outangs sont tués malgré l'interdiction qui touche la chasse et le commerce* », révèle Marc Ancrenaz, directeur de Hutan, une association de sauvegarde de ces animaux. Dernier effet de la cohabitation homme-grands singes : la transmission de maladies. « *Les grands singes, très proches de nous génétiquement, sont une cible privilégiée pour les maladies présentes chez l'homme. À la différence qu'ils ne sont pas immunisés contre et peuvent en mourir* », rappelle Shelly Masi.

## Aménager la forêt

« *La mise en place de parcs nationaux est la meilleure solution pour garantir la stabilité des populations* », martèle Christophe Boesch. Ainsi, depuis qu'ils vivent dans un espace protégé, les gorilles de montagne de la région des grands lacs africains ont vu leur effectif passer de 500 à 880 individus... Problème : si les forêts de l'Ouest africain sont encore vastes, ce n'est pas le cas partout. En Indonésie mais aussi au Rwanda ou en Ouganda, la pression démographique est intense et chaque hectare de terrain est disputé.

« *On ne peut pas tout miser sur les parcs nationaux, car 80 % des grands singes vivent dans des forêts non protégées*, tempère Marc Ancrenaz, qui propose de réfléchir à des voies médianes pour concilier intérêts économiques des populations et protection des grands singes. *Il y a vingt ans, les chercheurs étaient persuadés que les orangs-outangs ne pouvaient exister que dans les profondeurs de la forêt primaire. On sait aujourd'hui qu'ils peuvent survivre dans des environnements dégradés... à certaines conditions.* » À Sebitoli, les chimpanzés, réputés diurnes, se sont ainsi mis à faire des raids nocturnes dans les champs pour tromper la surveillance des villageois. Et à Bornéo, lorsque les fruits de la forêt viennent à manquer, les orangs-outangs s'installent dans les cultures de palmiers à huile et consomment les fruits de cette plante pourtant importée d'Afrique.

Des aménagements sont néanmoins nécessaires pour protéger ces primates, comme le maintien de corridors arborés dans les zones où la forêt est très morcelée. Autre solution : des ponts de corde qui permettent aux animaux de franchir les routes sans danger. Sur un autre front, les primatologues tentent de persuader les industriels de changer leurs pratiques. « *On a constaté que les forêts gérées durablement étaient plus favorables à la survie des orangs-outangs* », rapporte ainsi Marc Ancrenaz, qui plaide pour que l'industrie de



1, 2 et 3. Éco-anthropologie et ethnobiologie (CNRS/MNHN/Univ. Paris Diderot).





© J.-M. KRIEFMANN

► Chimpanzé le long d'une route. Pour cohabiter harmonieusement, hommes et grands singes ont besoin d'avoir chacun leur territoire.

l'huile de palme laisse un minimum de 15 % d'arbres sur les surfaces défrichées, avec des arguments économiques très concrets : ces arbres permettent de limiter l'érosion des sols et maintiennent un taux d'humidité favorable à la croissance des palmiers.

### Impliquer les populations locales

« La conservation des grands singes ne peut se faire sans la participation des populations locales, qui doivent y trouver leur intérêt », renchérit Victor Narat<sup>3</sup>. Ce spécialiste des bonobos au Muséum suit de près les efforts de M'Bou Mon Tour, ONG locale de protection des bonobos située en territoire Batéké en RDC. « Lorsque l'association a été créée, explique-t-il, il s'agissait pour les Batéké de défendre leurs conditions de vie : le gibier de la forêt s'épuisait, les poissons

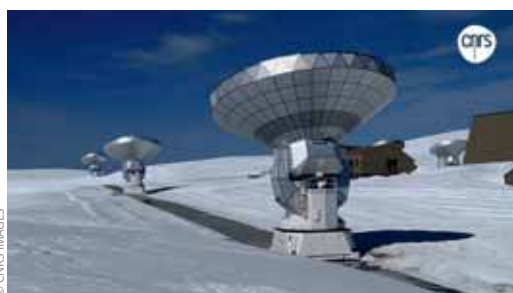
se raréfiaient... Mais, dès 2001, ils ont commencé à s'intéresser aux bonobos, menacés par le braconnage. Ils ont compris que ces animaux pouvaient susciter un écotourisme lié à leur observation et attirer les grands bailleurs de fonds. » Les villageois ont ainsi imaginé des zones protégées où les hommes peuvent pratiquer un nombre limité d'activités : la chasse est interdite, les brûlis, proscrits, en revanche, la pêche et le ramassage des champignons et des chenilles sont autorisés. D'autres modèles de conservation prévoient l'existence de zones distinctes dans la forêt : une zone protégée, une zone où les activités sont encadrées et une réserve dédiée aux populations locales qui peuvent y entrer et chasser... à l'exception bien sûr des grands singes et autres espèces protégées.

Impliquer les populations permet en outre de changer leur regard sur les grands singes. Dans la réserve de Dzanga-Sangha, en République centrafricaine, Shelly Masi et son équipe travaillent avec des pygmées Aka : « Ils participent avec nous au travail d'habitation nécessaire pour pouvoir observer les singes. Alors qu'ils voyaient les gorilles comme des animaux dangereux, on les entend maintenant s'étonner : "Ils sont comme nous, ils sont intelligents et ont chacun leur personnalité..." » La connaissance des grands singes, le premier pas vers une cohabitation (plus) harmonieuse ? II



Lire l'intégralité de l'article sur [lejournal.cnrs.fr](http://lejournal.cnrs.fr)

## Vidéo



© CNRS IMAGES

### UNIVERS

## Noema : un nouveau regard sur l'invisible

Situé à 2 550 mètres d'altitude dans les Alpes, l'observatoire du plateau de Bure fait peau neuve. Avec l'inauguration en juin de la première de ses six nouvelles antennes, Noema (Northern Extended Millimeter Array) est désormais le radiotélescope millimétrique le plus puissant de l'hémisphère Nord ! Ce nouvel instrument, destiné à l'étude des régions les plus reculées de notre Univers, a dévoilé dans la foulée sa

première image astronomique : une vue inédite et spectaculaire d'une région de formation stellaire inconnue à ce jour. En 2019, Noema aura la même résolution qu'un télescope doté d'un miroir de 1 500 mètres. Conçu et exploité par l'Institut de radioastronomie millimétrique, Noema est financé par le CNRS ainsi que la Max-Planck-Gesellschaft, en Allemagne, et l'Instituto Geográfico Nacional, en Espagne.



Visionner la vidéo sur [lejournal.cnrs.fr](http://lejournal.cnrs.fr)

# Tehlirian, le procès d'un génocide

© LA VENGEANCE DES ARMÉNIENS/DROITS RÉSERVÉS



▼ Tehlirian appartenait à un commando qui traquait les anciens criminels Jeunes-Turcs.

SOCIÉTÉS

**Histoire.** En 1921, Soghomon Tehlirian, un jeune Arménien, exécute Talaat Pacha, l'un des instigateurs du génocide. L'historienne Claire Mouradian<sup>1</sup> revient sur son procès et sur le génocide dont on commémore le centenaire.

PROPOS RECUEILLIS PAR LAURE CAILLOCE

**On commémore cette année le centenaire du génocide arménien, qui a fait de 1,2 à 1,5 million de morts entre avril 1915 et juillet 1916.**

**Dans quel contexte intervient-il ?**

**Claire Mouradian :** On peut distinguer un temps long et un temps court. Le temps long est celui de la chronique du déclin de l'Empire ottoman et de l'expansion des puissances voisines. Le traité de Berlin (1878), qui clôt un conflit russo-turc, prend acte de l'aggravation du sort des Arméniens ottomans, sujets de seconde zone en tant que chrétiens. Cela ne fera que les désigner comme cible du sultan Abdülhamid II qui, craignant de perdre de nouvelles provinces, opte pour la répression. Des massacres de masse systématiques marquent son règne. L'enthousiasme soulevé par la révolution de juillet 1908 menée par des officiers Jeunes-Turcs est de courte durée. Dès 1909, de nouveaux massacres sont perpétrés. Confronté à la perte des territoires africains et des Balkans, le triumvirat Talaat-Enver-Djemal opte pour la création d'un État-nation turc de moins en moins ouvert à la nature multi-ethnique de tout empire.

**Et le temps court ?**

**C. M. :** C'est celui de la guerre dans laquelle l'Empire ottoman s'engage en novembre 1914, aux côtés des Puissances centrales (Allemagne, Autriche-Hongrie) contre l'Entente (France, Angleterre, Russie). En février 1914, le gouvernement Jeunes-Turcs a dû ratifier un plan de réformes en faveur des Arméniens sous la pression des Puissances. Le contexte de guerre qui empêche une intervention pour les faire appliquer devient l'occasion de se débarrasser des

Arméniens. Divisés entre les deux empires qui s'affrontent, ceux-ci combattent dans les armées des États dont ils sont les ressortissants. La création de groupes de volontaires du côté russe va servir de prétexte aux Jeunes-Turcs pour accuser les Arméniens ottomans de trahison.

**La nuit du 24 avril 1915, début officiel du génocide, plusieurs centaines de notables et d'intellectuels arméniens de Constantinople sont exécutés...**

**C. M. :** Décapiter la nation est le premier acte. Il se répète dans toutes les villes provinciales. Les soldats arméniens ont déjà été désarmés, affectés à des bataillons de travail, puis exécutés. Vient le tour des femmes, des enfants et des vieillards, soit massacrés sur place, soit déportés vers les déserts de Syrie et d'Irak. Les Arméniens qui ne sont pas assassinés meurent d'épuisement lors de ces marches forcées sans eau ni nourriture. Ceux qui survivent sont entassés dans des cavités naturelles du désert et brûlés. En une année, les deux tiers de la population arménienne de l'Empire ottoman sont décimés.

**Venons-en à Soghomon Tehlirian. Quelles sont ses motivations lorsqu'il abat l'ancien Premier ministre Talaat Pacha en plein Berlin le 15 mars 1921 ?**

**C. M. :** C'est à la fois pour venger le massacre de son peuple et pour appliquer une décision de justice que le jeune Arménien agit. Toute sa famille a disparu lors du génocide, dont Talaat est le principal architecte. En 1919, sous l'égide des nouveaux dirigeants ottomans, des cours martiales condamnent à mort les principaux responsables Jeunes-Turcs, dont Talaat, mais par contumace. Les criminels ont en effet réussi à fuir avec l'aide de leur ancien allié allemand. C'est ainsi que Talaat se retrouve à Berlin.

**Comment se passe le procès de Tehlirian ?**

**C. M. :** Il dure deux jours, en juin 1921. Ce qui devait être le procès du meurtrier, Soghomon Tehlirian, se transforme en procès de la « victime » du meurtre, Talaat Pacha. Les témoins décrivent les atrocités du génocide et fournissent les preuves de l'implication de Talaat. Les avocats du jeune homme assurent qu'il a perdu tout contrôle en présence du génocidaire. Tehlirian est acquitté.

**Tehlirian a-t-il vraiment tout dit lors du procès ?**

**C. M. :** Pas tout à fait. Il n'était pas à Berlin par hasard. Il fait partie d'un commando de jeunes militants arméniens, Némésis, constitué pour exécuter les sentences prononcées

1. Centre d'études des mondes russe, caucasien et centre-européen (CNRS/EHESS).

## En bref

en 1919. Talaat est la première cible de cette opération qui verra huit anciens génocidaires abattus. Tehlirian n'est pas seulement un justicier : il s'est laissé arrêter volontairement afin de replacer le génocide au cœur de l'actualité internationale alors qu'il est déjà en passe d'être oublié.

### Il n'est pas anodin que ce procès se passe à Berlin...

**C. M. :** L'Allemagne, qui a contribué à l'organisation de l'armée ottomane depuis la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, avait plusieurs milliers d'officiers sur place au moment du génocide. Elle ne pouvait ignorer ce qui se passait et a laissé faire. L'acquiescement de Tehlirian peut apparaître comme une façon de se racheter de cette coupable inertie...

### Quelle place occupe le procès Tehlirian dans l'histoire de l'Arménie et des Arméniens ?

**C. M. :** C'est l'une des dernières fois où le génocide est officiellement évoqué avant l'oubli auquel le condamne l'évolution de la situation sur le terrain pour l'Arménie. L'indépendance proclamée (mai 1918) par les Arméniens du Caucase russe et reconnue par le traité de Sèvres (août 1920) est soviétisée par l'Armée rouge (décembre 1920). Ce traité sera remplacé par celui de Lausanne (juillet 1923), qui crée la Turquie nouvelle où les survivants sont interdits de retour. Le génocide ne reviendra sur le devant de la scène qu'à partir du cinquantenaire, en 1965, et après l'indépendance recouvrée, en 1991. Mais le procès Tehlirian dépasse le cadre arménien : on assiste là aux premiers balbutiements d'une justice internationale pour la pénalisation des crimes d'État. On sait qu'il a inspiré le juriste Raphaël Lemkin dans sa réflexion qui a débouché sur la définition de ce qu'est un génocide. ■



 Lire l'intégralité de l'article sur [lejournal.cnrs.fr](http://lejournal.cnrs.fr)

© COURTESY OF SYBIL STEVENS-WEGNER COLLECTION/ARMENIAN NATIONAL INSTITUT



▶ De nombreux Arméniens ont été déportés, le plus souvent à pied, vers les déserts de Syrie et d'Irak (photo de 1915).

## Tara Oceans

La revue *Science* a consacré le 22 mai un numéro spécial aux premiers résultats de l'expédition Tara Oceans. Trois ans de collecte et d'analyse de milliers d'échantillons prélevés dans les océans de la planète ont permis aux chercheurs d'établir une cartographie détaillée de la biodiversité planctonique et de mieux comprendre les interactions entre les populations de micro-organismes marins ainsi que l'impact des conditions environnementales sur l'écosystème planctonique.

## Accord international

À l'occasion de la visite en France du président de Singapour, Tony Tan Keng Yam, un mémorandum d'entente a été signé le 18 mai 2015 au palais de l'Élysée par Alain Fuchs, président du CNRS, et Bertil Andersson, président de l'université technologique de Nanyang (NTU, Singapour). L'accord prévoit la création par les deux organismes d'un groupement de recherche international (GDRI) dédié aux énergies renouvelables.

## Biodiversité

Se fondant sur une double approche, naturaliste et probabiliste, les équipes pluridisciplinaires de l'Institut de systématique, évolution et biodiversité et du Centre des sciences de la conservation ont établi que ce ne serait pas 1,3 %, mais 7 % de la biodiversité terrestre qui aurait déjà disparu, soit environ 130 000 des espèces déjà connues.

## Simulation solaire

En simulant l'évolution d'une partie de l'intérieur et de l'extérieur du Soleil, des chercheurs du Centre de physique théorique et du laboratoire Astrophysique, instrumentation, modélisation ont identifié les mécanismes apportant l'énergie capable de chauffer l'atmosphère solaire. Expliquant ainsi pourquoi l'atmosphère du Soleil est beaucoup plus chaude que sa surface.

## Éthique

Le Comité d'éthique du CNRS (Comets) a publié en juin deux avis. Le premier sur les enjeux éthiques du partage de données scientifiques, dans lequel il préconise le partage raisonné des données et l'inclusion des nouvelles exigences de mise à disposition des données dans l'évaluation du travail des chercheurs. Le second sur les sciences citoyennes dans lequel, tout en réaffirmant l'autonomie du champ scientifique, il estime nécessaire d'engager une réflexion sur les formes à donner au débat public autour des questions de recherche afin de construire une relation de confiance entre les citoyens et les scientifiques.

# Les flops de l'innovation

SOCIÉTÉS

NUMÉRIQUE

**Technologie.** Bi-Bop, Mini-Disk, Google Glass... Des chercheurs ont créé une base de données des innovations tombées dans les oubliettes de l'histoire, avant parfois d'en ressortir...

PAR CHARLINE ZEITOUN

Quel est le point commun entre le visiophone<sup>1</sup>, les sous-vêtements jetables et le dentifrice saveur cornichon<sup>2</sup>? Ce sont des flops. Ou plutôt des innovations qui n'ont pas rencontré leur public. « Il est admis, dans le milieu industriel, que de sept à neuf innovations sur dix sont des échecs », commente Bernard Darras, sémioticien au sein de l'institut Acte<sup>3</sup>. Avec Norbert Hillaire, théoricien de l'art et des technologies dans le même institut, et de nombreux autres chercheurs, il élabore une base de données documentaire de ces « *refoulées de la modernité* », de la fin du XIX<sup>e</sup> siècle jusqu'à nos jours : c'est le projet « Archéologie des innovations abandonnées, délaissées ou résurgentes », soutenu par le CNRS. Au menu : la description de chaque objet, son histoire, des photos, des vidéos, et des analyses de chercheurs et d'ingénieurs. Le but ? Offrir une réflexion sur la modernité. Et donner aux innovateurs de tout poil une lecture décomplexée de l'échec.

## Le Bi-Bop, un cas emblématique

Reste à définir ce qu'est un échec... « Les chiffres de vente ou d'utilisation sont un indicateur, mais il faut aussi tenir compte de l'histoire des innovations : quand elles sont provisoirement

▼ **Le Walt Disney Concert Hall de Los Angeles, conçu par Frank Gehry. À la suite de sa construction, les habitants des immeubles alentours se sont plaints de températures plus élevées et de flashs éblouissants...**

abandonnées puis resurgissent, sous une forme différente ou non, peut-on parler d'échec ? », questionne Norbert Hillaire. « Je préfère l'idée d'essai à transformer pour connaître le succès », complète Bernard Darras.

Car avoir raison trop tôt, c'est avoir tort : la maxime fleurit sur tous les forums d'entrepreneurs, à coup d'exemples édifiants, tel le Newton d'Apple, assistant personnel numérique lancé en 1993, retiré en 1998 sous les railleries, avant de réapparaître en 2007 en version très améliorée sous le nom culte de... iPhone. Dans un registre proche figure aussi



© HUFTON + CROW/VIEWPHOTO/ISTOCK

▲ **Les Google Glass : certains cobayes qui les ont portées à San Francisco se seraient fait molester par des passants furieux d'être filmés!**



© B. DOPPAGE/BEIGA/AFIP

un exemple emblématique de flop tricolore : le Bi-Bop ou cabine téléphonique portable, tributaire de son trop ténu réseau de bornes-relais marquées par un autocollant rayé bleu, vert et blanc, dont quelques vestiges hantent encore les rues de Paris. Lancé par France-Télécom en 1991, il fut définitivement enterré par les mobiles GSM en 1997.

« Dans notre classification, nous distinguerons ces innovations "prématurées" ou "résurgentes" de celles qui se sont révélées inadaptées et vouées à l'échec », précisent les chercheurs. En la matière, on se souvient



© BROOKS KRAFT/ISTOCK/CORBIS

1. Distribué en France dans les années 1980 par France Télécom. 2. Respectivement lancés par les marques Bic et Mr Pickle. 3. Arts, créations, théories, esthétiques (CNRS/Univ. Paris-I Panthéon Sorbonne). 4. Selon le journal économique québécois *Les Affaires*. 5. Voir sa tribune « L'échec : face taboue de l'innovation? », *Lemonde.fr*, le 19 novembre 2014. 6. Selon Paris Région Entreprises.



Lire l'intégralité de l'article sur [lejournal.cnrs.fr](http://lejournal.cnrs.fr)

### SÉRENDIPITÉ

Fait de faire une découverte par hasard alors que l'on cherchait autre chose.

afin « d'apprendre des erreurs des autres », fait remarquer l'entrepreneur Boris Golden<sup>5</sup>. Leur égérie ? La protéiforme société Bic, qui a mis le stylo à bille, le rasoir et le briquet jetables à la portée de toutes les bourses, mais s'est aussi cassé les dents sur le parfum bon marché. Autre signal fort : depuis 2013, seules les faillites frauduleuses sont fichées à la Banque de France<sup>6</sup>, alors qu'auparavant la mesure concernait tous les entrepreneurs victimes d'un dépôt de bilan durant les trois dernières années.

### Un enjeu philosophique

Avec leur projet, les chercheurs veulent-ils aussi réduire l'implacable ratio de sept à neuf échecs sur dix essais en « prédisant » les bides ? En rationalisant la création pour éviter d'échouer ? « Je tiens au contraire à la notion de **sérendipité**, qui a permis en 1928 à Alexander Fleming de découvrir la pénicilline dans une préparation ratée, répond Bernard Darras. C'est d'ailleurs dans cet esprit qu'en Chine on refait systématiquement toutes les expériences de science, au cas où l'on serait passé à côté de quelque chose ! » Pour lui, pas question de se limiter à l'intellectualisation des choses jusqu'à ce que tout soit bien ficelé ; la pratique et ses ratés font partie du processus. « L'enjeu est politique et philosophique, il s'agit de sortir du grand récit positiviste de l'histoire de la modernité, qui tend à refouler les ratés au lieu de les analyser », conclut Norbert Hillaire.

Dans le projet de l'institut Acte, il n'est en revanche pas prévu de construire un musée en dur où exposer les bides de l'innovation, comme celui que Kenichi Masuda a ouvert à Tokyo avec sa collection personnelle. On peut y admirer une étrange feuille de plastique qui, placée devant un téléviseur noir et blanc, donne l'impression qu'il diffuse des images en couleur. Ou encore une grille-pain qui marche. Au sens propre... II

Mais, en France, la peur de l'échec semble paralyser plus qu'ailleurs. Une faillite y serait « [...] l'équivalent d'un suicide social, alors qu'aux États-Unis [...] une faillite est un entraînement<sup>4</sup> », affirme ainsi Jevto Dedijer, ancien directeur marketing d'Ikea France. Le problème chez nous ? « Le système éducatif condamne trop durement l'échec et façonne des ingénieurs frieux face à la prise de risque, explique Bernard Darras. Avec notre base de données documentaire, nous voulons sortir de cette logique et montrer qu'il s'agit souvent d'histoires d'essais et d'abandons successifs. Nous aspirons à changer les mentalités. »

Et ils ne sont pas les seuls. Depuis quelques années, il existe dans l'Hexagone « des conférences dédiées au partage de l'échec entrepreneurial »

“Au bout de combien de temps un échec devient-il un succès et peut-il ensuite redevenir un échec ?”

▼ L'ex-trottoir roulant rapide de la station de métro Montparnasse-Bienvenue, à Paris.

▲ Le Newton d'Apple (à g.) fut un flop avant de revenir sous une forme très améliorée : celle du fameux iPhone (à d.).

du trottoir roulant à la vitesse ébouriffante de 11 km/h, curiosité de la station de métro Montparnasse-Bienvenue, à Paris, qui devait faire gagner 90 précieuses secondes aux voyageurs et qui fut mis hors d'état de nuire en 2009, après sept ans de pannes incessantes et de chutes inattendues des passagers.

### De la nécessité de l'échec

« Les plus intéressants selon moi sont les objets délaissés pendant un temps et potentiellement résurgents », poursuit Bernard Darras. Il prend l'exemple du monocle, mis au rancart après la guerre de 1870 car trop associé aux militaires prussiens : « On peut dire que le monocle est réapparu sous une forme high-tech dans les années 2010 : ce sont les Google Glass, car elles n'ont qu'une seule zone optique avec caméra. » Mais leur production a déjà été suspendue, en janvier dernier, en raison de leur prix de vente exorbitant (1 499 dollars, soit 1 322 euros) et d'une hostilité du public. Selon le *Wall Street Journal*, elles devraient renaître de leurs cendres fin 2015.

« La question du temps est soulevée : au bout de combien de temps un échec devient-il un succès et peut-il ensuite redevenir un échec ? », interroge Bernard Darras. D'où l'idée d'« archéologie » des innovations, choisie pour nommer le projet, dont Richard Conte, directeur de l'institut Acte, est le porteur auprès du CNRS.



© GREGOR FISCHER/DEMOTIX/CORBIS

© PATY B. MARGUERITE

# Le graphène est-il toxique ?

MATIÈRE

**Matériaux.** Les applications potentielles du graphène suscitent l'engouement. Les scientifiques cherchent donc à s'assurer de son innocuité.

PAR VAHÉ TER MINASSIAN

## CELLULE GLIALE

Cellule de soutien du tissu nerveux.

Évaluer les risques potentiels sur la santé et l'environnement du graphène, tel est l'objectif de l'un des groupes de travail du programme européen Flagship Graphene. « Ces feuillets d'atomes de carbone ne sont pas très différents des nanotubes de carbone, auxquels d'importantes études, dont on peut s'inspirer, ont été consacrées », explique Alberto Bianco, directeur de recherche à l'Institut de biologie moléculaire et cellulaire<sup>1</sup>, à Strasbourg, et co-coordonnateur du groupe. Or les travaux conduits voilà quelques années avaient conclu à une toxicité des nanotubes de carbone lorsqu'ils étaient d'un certain type et dépassaient une certaine taille. Qu'en est-il du graphène ? Des batteries de test sont en cours pour répondre à cette question. « À ce stade, nous n'avons pas observé de risques comparables à ceux posés par les nanotubes de carbone, indique le chercheur. Par précaution, on peut envisager de limiter les risques en intégrant le graphène à d'autres matériaux pour éviter sa dissipation dans l'air. »

### Des batteries de tests

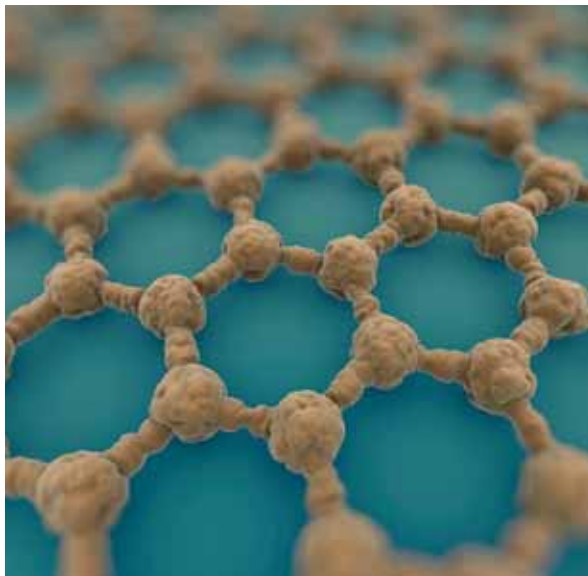
Les travaux d'autres groupes européens semblent se diriger vers les mêmes conclusions, tels ceux de Cyrill Bussy, de l'université de Manchester. Il effectue notamment des tests

consistant à soumettre des cellules pulmonaires à des quantités croissantes de divers types de graphène oxydé. « Aucune toxicité du matériau à des doses raisonnables n'a été constatée, précise le chercheur. En revanche, lorsque le graphène oxydé dépasse une certaine taille, on observe une réaction inflammatoire des cellules épithéliales. » Le champ d'investigation du groupe de Cyrill Bussy s'étend aussi aux études sur le cerveau. L'une d'entre elles a consisté à comparer in vivo le potentiel inflammatoire et toxique du matériau avec celui de liposomes et de nanotubes de carbone. Là encore, aucun impact alarmant n'a été constaté ni parmi les neurones ni parmi les cellules gliales. Seul un effet transitoire d'inflammation « à faible dose » a été mis en évidence pour l'un des types de cette dernière famille cellulaire.

Et qu'en est-il de la génotoxicité du graphène, c'est-à-dire de sa capacité à provoquer chez l'animal des cancers et/ou des déficiences transmissibles génétiquement ? Avec ses confrères d'EcoLab<sup>2</sup>, Emmanuel Flahaut, du Cirimat<sup>3</sup>, tente de détecter cette génotoxicité chez les organismes aquatiques. L'une de ses expériences, réalisée sur un amphibien, le xénope, a consisté à comparer l'impact de plusieurs types de nanomatériaux carbonés. Jusqu'ici, cette étude n'a pas mis en évidence de génotoxicité du graphène.

### Un peu trop tôt pour conclure

Autre champ d'investigation : l'environnement. « Le développement d'un marché du graphène pose la question de son devenir après sa mise en décharge ou son relargage accidentel », estime Emmanuel Flahaut. Là encore, les données disponibles s'avèrent insuffisantes pour juger des dangers réels. Mais des travaux antérieurs réalisés sur d'autres types de nanomatériaux sont là pour orienter les chercheurs. « Certaines études conduites sur des plantes ont mis en évidence des effets négatifs apparaissant uniquement à fortes doses, comme des malformations chez le haricot ou le transfert du nanomatériau aux fruits et aux feuilles chez la tomate, résume le chimiste. Pour le graphène, il est encore un peu tôt pour conclure. Seule une diminution du nombre de feuilles a été observée à des concentrations élevées pour le chou, la tomate et l'épinard. » Affaire à suivre donc... II



© SCIENCE PICTURE CO./CORBIS

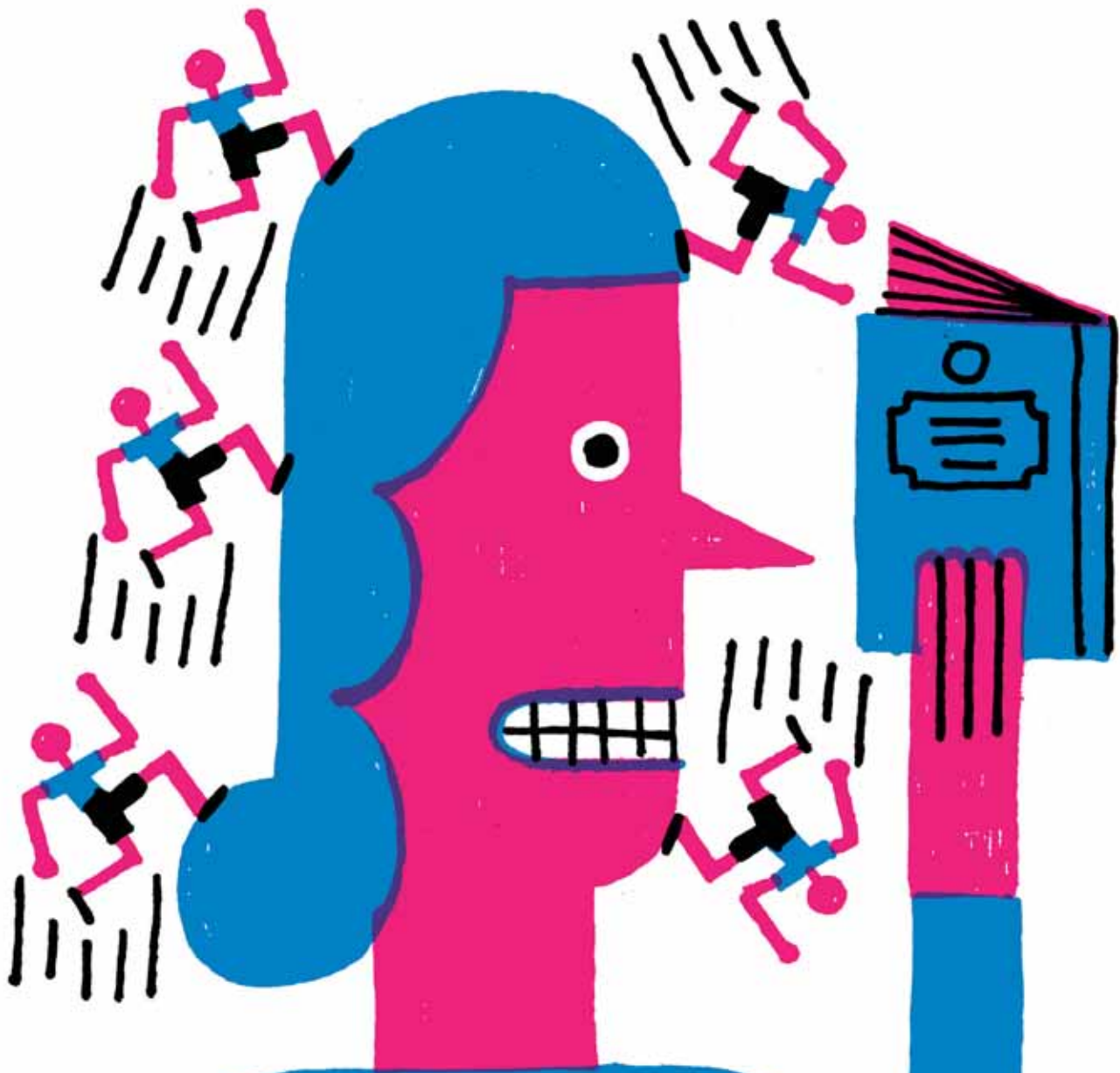
Le graphène est composé d'atomes de carbone organisés en nids d'abeilles.

1. Laboratoire Immunopathologie et chimie thérapeutique (CNRS). 2. Laboratoire écologie fonctionnelle et environnement (CNRS/UPS/INP Toulouse). 3. Centre inter-universitaire de recherche et d'ingénierie des matériaux (CNRS/UPS/INP Toulouse).



Lire l'intégralité de l'article sur [lejournal.cnrs.fr](http://lejournal.cnrs.fr)

# LES IDÉES



*Réfléchir à l'éthique dans la recherche,  
reprendre le contrôle de nos données,  
questionner le sens moral des avocats  
et inviter l'océan au débat sur le climat.*

ILLUSTRATION : BENOÎT TARDIF/COLAGENE.COM POUR CNRS LE JOURNAL



© FALLING WALLS FOUNDATION

# « Nous ne transigeons pas avec l'intégrité »

Éthique. Bien que rares, les cas de méconduite scientifique entachent la réputation de la science auprès du grand public. Le président du CNRS, Alain Fuchs, nous explique comment l'organisme réagit face à ce phénomène.

PROPOS RECUEILLIS PAR LOUISE LIS

## Peut-on dire que les cas de fraude scientifique se sont multipliés ces dernières années ?

**Alain Fuchs :** Je réserve pour ma part le terme de « fraude » scientifique à une situation dans laquelle un chercheur a inventé un résultat de toutes pièces. Même si elles existent, ces pratiques, véritables tentatives d'assassinat de la science, sont fort heureusement très rares. C'est pourquoi je préfère recourir au terme de « méconduite scientifique ». Le terme recouvre des pratiques diverses. Il peut s'agir d'omission d'une partie des résultats, d'embellissement des résultats, de mauvaises présentations de figures, etc. Ce peut être de ne pas avoir suffisamment testé la reproductibilité de ces résultats, sous prétexte que c'est long, que c'est cher, que l'on veut publier tout de suite. Ou alors prétendre qu'on les a reproduits alors que ce n'est pas le cas. La méconduite peut également être liée aux figures, qui peuvent avoir été retravaillées, avec un logiciel type Photoshop par exemple quand il s'agit de photos. Ce sont autant de mauvaises manières qu'il faut identifier et traquer. Est-ce courant ? C'est très difficile à dire... Pour notre part, le nombre de cas ne dépasse pas une dizaine par an, alors qu'en 2014 plus de 40 000 publications ont porté la signature CNRS. C'est à cette aune-là qu'il faut tenter d'évaluer l'étendue des cas de méconduite scientifique.

## Comment faire pour mieux les repérer ?

**A. F. :** En toutes disciplines, l'avancement de la science consiste en ce que d'autres scientifiques doivent être capables de reproduire les résultats obtenus par un de leurs pairs pour en tester la véracité et l'étendue de leur validité. La science avance par approximations successives. Un premier résultat paru fera souvent l'objet de travaux complémentaires. Il peut y avoir polémique. Et au bout d'un moment, un consensus finit par s'installer. C'est la vie de la science, une vie riche et complexe. Les faits scientifiques ne parlent pas d'eux-mêmes ; ces faits sont toujours

construits. Or, pendant toute cette période de controverse, qui peut parfois durer des mois, des années même, il peut être difficile de repérer d'éventuelles méconduites au milieu de cette vie foisonnante de la science. C'est la raison pour laquelle un organisme comme le nôtre doit être extrêmement prudent. Il ne s'agit pas de fermer les yeux ou de laisser faire. Mais notre travail est d'assurer un climat favorable à l'éclosion de la meilleure science et non d'instaurer une sorte de police de la science.

## Dans le même temps, le nombre des publications a explosé. La pression à la publication est-elle responsable de ce genre de pratiques ?

**A. F. :** Il existe environ 28 000 journaux actifs toutes disciplines confondues qui publient 2,5 millions d'articles primaires par an ! Le volume des publications scientifiques est devenu colossal. Et il ne cesse de croître. Entre 2002 et 2012, selon l'association STM, le nombre de journaux a augmenté de 2,5 % par an tandis que le nombre d'articles a crû de 3 % par an. Et cette augmentation va sans doute s'amplifier dans les prochaines années. Comment traiter une telle masse ? L'évaluation par les pairs, qui reste comme la démocratie le pire système à l'exclusion de tous les autres, a forcément du mal à suivre. À combien d'arbitres l'article a-t-il été soumis ? Qui a choisi ces arbitres ?

La principale raison de cette croissance tient au nombre de chercheurs dans le monde. Mais ce n'est pas la seule. Il est certain que la pression à la publication joue un rôle. La compétition et la concurrence entre les chercheurs font naturellement partie du jeu. Mais l'usage inapproprié et systématique d'indicateurs chiffrés (facteurs d'impact, facteur « h », etc.) a tendance à fausser ce jeu. La qualité d'un travail scientifique s'évalue par les pairs, elle ne se mesure pas par des chiffres. Je tiens d'ailleurs à signaler au passage que le Comité national de la recherche scientifique résiste autant qu'il le peut à cette furie des indicateurs. Les comités



d'évaluation essaient de les utiliser avec discernement, en étant les plus vertueux possibles. Mais il est impossible de s'extraire du monde... De plus, les journaux fonctionnent selon une logique de marché, ils font monter les sujets, provoquent des effets de mode. La communauté scientifique a délaissé l'industrie de la connaissance (10 milliards d'euros) et en a laissé la responsabilité de l'édition aux éditeurs.

### Certaines disciplines sont-elles plus exposées ?

**A. F. :** Les sciences de la vie sont plus souvent montrées du doigt que les autres. Mais sur quelles bases ? Je suis très méfiant vis-à-vis de ces accusations. Je crains pour ma part que toutes les disciplines soient touchées. Ce qui est certain, c'est qu'il y règne une compétition acharnée, liée au fait que ce sont les sciences de ce début de siècle, celles où le rythme des découvertes est probablement le plus rapide.

### Comment les institutions de recherche peuvent-elles combattre ces phénomènes ? Quel est le processus au CNRS ?

**A. F. :** Nous avons au CNRS une procédure souple qui est, je crois, assez efficace, même si l'on peut toujours faire mieux. Lorsqu'il y a soupçon de méconduite, l'institut auquel le laboratoire du chercheur est rattaché est alerté et lance une investigation. Si l'institut juge le sujet suffisamment sérieux, il sollicite une commission indépendante d'expertise scientifique : si la méconduite est avérée, une commission administrative paritaire dite disciplinaire est mise en place. Cette procédure enclenchée va provoquer le vote d'une proposition de sanction pouvant aller jusqu'à la radiation du chercheur. C'est le président du CNRS qui décide, in fine, de la sanction sur la base de l'avis de la commission.

Le cadre dans lequel nous évoluons est celui de la fonction publique d'État. Tout y est fait pour protéger la réputation des agents. Il est ainsi permis de faire la publicité des sanctions mais sans faire de déballeage. Si les fautes reprochées et avérées relèvent de la loi, le cas est alors signalé à l'autorité judiciaire. Je ne crois pas qu'on puisse parler de laxisme des institutions scientifiques. Nous travaillons à rappeler les règles de déontologie et de l'éthique scientifique. Le Comité d'éthique du CNRS (Comets) a rédigé un excellent guide des bonnes pratiques que nous avons diffusé abondamment dans les laboratoires. Faut-il aller plus loin ? Peut-être, mais sans bâtir d'usines à gaz. J'envisage la mise en place d'une formation à l'intégrité scientifique qui s'adresserait à tous les agents recrutés.

### Quelles sont les sanctions encourues ? Quel est le bilan des sanctions prononcées ces dernières années au CNRS ?

**A. F. :** Les sanctions sont réparties en quatre groupes qui vont de l'avertissement et du blâme pour les plus légères à la retraite d'office et à la révocation pour les plus lourdes.

Entre ces deux types de sanctions, il existe un éventail de possibilités comme l'abaissement d'échelon, l'exclusion temporaire de quinze jours, le déplacement d'office, la rétrogradation et l'exclusion temporaire pour une période comprise entre trois mois et deux ans.

Ces deux dernières années, j'ai été amené à prendre huit sanctions dont une révocation, une mise à la retraite d'office, une rétrogradation et cinq exclusions temporaires. Toutes ne concernent pas des méconduites scientifiques. J'ai le sentiment que nous ne transigeons pas avec l'intégrité, que chacun est conscient dans cette maison que la liberté dont nous bénéficions doit s'accompagner d'une grande sévérité quand il y a débordement. Il en va de la réputation de la science auprès de nos concitoyens.

---

*“La qualité d'un travail scientifique s'évalue par les pairs, elle ne se mesure pas par des chiffres.”*

---

### Dans quelle mesure ces méconduites scientifiques procèdent-elles d'une forme dévoyée de management de la science ?

**A. F. :** Je viens d'évoquer la course à la publication. Dans cette compétition exacerbée, chaque équipe s'organise pour être la première à publier selon le principe non écrit mais intégré qu'il vaut mieux être le premier, même si les résultats ne sont pas encore très solides. Ce sont des pratiques contre lesquelles il est très difficile de lutter car nous en sommes collectivement tous complices, même si, il faut le relever, certaines instances mettent en garde régulièrement le monde scientifique contre ces déviances. Il se peut que nous soyons en train d'atteindre une forme de limite de notre modèle de production scientifique. Une meilleure régulation du système passera par des mesures prises collectivement au niveau global (mondial) et par une évolution forte du mode de publication. ■



Guide « Promouvoir une recherche intègre et responsable », Comité d'éthique du CNRS, juillet 2014, 44 p., à télécharger sur : [www.cnrs.fr/comets](http://www.cnrs.fr/comets)



# Reprenons le contrôle de nos données

**Roberto Di Cosmo**

Professeur d'informatique<sup>1</sup>, membre du Laboratoire Preuves, programmes et systèmes<sup>2</sup>



Lire l'intégralité du billet sur [lejournal.cnrs.fr](http://lejournal.cnrs.fr)

## Les technologies liées à l'informatique évoluent à une vitesse vertigineuse : nous avons produit et échangé plus de données cette dernière année que dans toute l'histoire de l'humanité.

En termes d'information, nous nous sommes habitués à ce que l'échange et l'accès priment sur la possession. Nous profitons, par ailleurs, d'une mise à jour constante des informations qui rendrait rapidement obsolète toute copie. En contrepartie, nos informations personnelles sont de plus en plus souvent numérisées. Certaines sont entre les mains de l'État, comme notre dossier fiscal, judiciaire et d'état civil, mais d'autres sont collectées par des acteurs privés, avec notre participation active, quoique souvent non informée : notre profil de consommation, nos goûts culturels, nos préférences politiques et notre réseau de connaissance sont facilement identifiables par l'analyse des traces que nous laissons chaque jour via les cartes bancaires, les abonnements de transport, les mots clés dans les moteurs de recherche, les réseaux sociaux, les documents partagés en ligne, les échanges de courriels et les communications téléphoniques.

## Une collecte insidieuse

La concentration de toutes ces informations dans des infrastructures centralisées rend possibles à la fois l'émergence de services de grande utilité sociale et une invasion sans précédent de notre vie privée : Google est capable de suivre l'avancée d'une épidémie de grippe, mais aussi de tracer une carte fidèle du trafic, d'indiquer les bouchons et de fluidifier ainsi les transports routiers. Or ces mêmes données peuvent être utilisées pour dresser un profil de santé d'un individu ou suivre ses déplacements, ce qui est bien plus inquiétant. En 2012, le fait que la chaîne de supermarché Target, en exploitant les

données des cartes de fidélité, pouvait identifier les femmes enceintes avant que leur famille ne soit au courant avait fait scandale aux États-Unis.

On a déjà connu des régimes totalitaires qui cherchaient à contrôler la vie des individus, mais cela coûtait cher et engendrait de la méfiance. Le changement majeur permis par l'évolution technologique est que ce contrôle peut être poussé beaucoup plus loin, pour bien moins cher et sans susciter de méfiance, parce que la collecte des données s'accompagne presque toujours d'un service utile et gratuit à première vue. Derrière la gratuité se cache en effet très souvent un modèle économique basé sur la connaissance fine des profils des utilisateurs, qui sont ensuite exploités de différentes manières. Comme le disait Bruce Schneier en 2010 à propos de la politique de confidentialité de Facebook : « *If you dont pay for the product, you are the product.* »

## La collecte de données s'accompagne presque toujours d'un service utile et à première vue gratuit.

Avec la généralisation des objets connectés, l'étendue des données susceptibles d'être captées s'élargit à perte de vue, et les aspects les plus intimes de notre vie privée, comme notre santé, commencent déjà à être percés à jour. Plusieurs initiatives visent à mieux protéger nos informations personnelles, mais il y a encore beaucoup de naïveté, que nous nous devons de dépasser, sur différents sujets.

- Premièrement, les lois ne sont pas un rempart suffisant : les acteurs qui collectent nos données peuvent être forcés à les fournir par des pressions de diverse nature, se les faire dérober ou les dévoiler au grand jour par des erreurs humaines.

- Deuxièmement, l'anonymisation des données est une illusion : selon une étude récente<sup>3</sup>, pour identifier la trace GSM d'une personne dans une base anonymisée, il suffit de la localiser, avec une certaine précision, quatre fois pendant un an.

- Troisièmement, le logiciel libre n'est pas la panacée : on ne peut faire confiance à un logiciel que s'il est exécuté dans un environnement dont on a la maîtrise totale. Google, Facebook et Amazon utilisent massivement du logiciel libre, et nos données ne s'en trouvent pas mieux protégées.

## Intérêt général vs intérêt privé

Pouvons-nous trouver les moyens pour marier les avantages des infrastructures centralisées tout en gardant le contrôle sur l'usage de nos données privées ? Pour résumer, il est important de savoir qui possède nos données, et lesquelles ; qui peut utiliser ces données, et dans quels buts ; qui contrôle les logiciels qui collectent, transmettent et analysent ces données, et par quels moyens.

Il est aussi important de donner aux individus les moyens nécessaires de décider quelles sont les informations qu'ils souhaitent partager, avec qui et pour quels usages. Et de développer les connaissances et la technologie nécessaires pour permettre à chacun de s'assurer que ses décisions sont respectées.

Pour tout cela, la société a besoin de la communauté scientifique et lui pose un défi noble et stimulant : développer les connaissances nécessaires pour trouver le juste équilibre entre l'usage agrégé de nos données personnelles, qui peut servir l'intérêt général, et la protection de notre vie privée contre les intrusions de plus en plus généralisées qu'elle subit. **II**

1. Actuellement en délégation Inria. 2. Unité CNRS/Univ. Paris Diderot. 3. « Unique in the Crowd : The Privacy Bounds of Human Mobility, Y.-A. de Montjoye et al., *Scientific Reports*, 25 mars 2013, vol. 3 : 1376.

## À lire



## ANIMAUX

Depuis quelques mois, le Code civil confère aux animaux le statut d'« *êtres vivants doués de sensibilité* ». Mais cette qualité est encore bien loin d'être prise en compte systématiquement dans un régime juridique cohérent et structuré. Selon que l'animal est de compagnie, de ferme, de laboratoire ou sauvage, sa sensibilité est par exemple plus ou moins considérée... Rédigé sous la direction de deux agrégés en

droit, avec notamment l'avis d'un vétérinaire praticien, cet ouvrage pose les jalons d'une réflexion qui devrait permettre d'aboutir au futur droit animalier.

*Sensibilité animale. Perspectives juridiques*, Régis Bismuth et Fabien Marchadier, CNRS Éditions, mai 2015, 258 p., 25 €

## NAPOLÉON

En cette année anniversaire de la bataille de Waterloo, le politologue Gérard Grunberg déconstruit un peu plus la légende napoléonienne. Il dresse un réquisitoire contre l'héritage législatif et politique de cet officier corse devenu empereur, qui s'est voulu exécuteur testamentaire de la Révolution qui l'avait promu. Ce spécialiste de l'histoire institutionnelle reproche au vainqueur d'Austerlitz de s'être avéré incapable d'établir un système d'institutions stables et légitimes. Pire, selon lui, les deux grands legs de Bonaparte, l'État jacobin et l'amour de la gloire, ont longtemps retardé l'entrée de la France dans la modernité.

*Napoléon Bonaparte. Le noir génie*, Gérard Grunberg, CNRS Éditions, avril 2015, 230 p., 22 €



## Zoom sur...

## Le monde du travail



Scandale de l'amiante, troubles musculo-squelettiques, souffrance psychique... Depuis les années 1990, les conditions de travail se sont imposées comme un sujet majeur de société. De nouvelles problématiques émergent, comme la nécessaire mixité de tous les postes de travail ou l'externalisation des risques à travers la généralisation de la sous-traitance... Rassemblant les contributions d'une centaine d'auteurs (sociologues, ergonomes, toxicologues, médecins, syndicalistes, etc.), ce nouvel ouvrage revisite en profondeur une première édition parue en 1985. Il ambitionne de nourrir la réflexion de tous – professionnels, mais aussi salariés et syndicats – afin d'adapter en profondeur le système actuel de la santé au travail.

*Les Risques du travail. Pour ne pas perdre sa vie à la gagner*, Annie Thébaud-Mony, Philippe Davezies, Laurent Vogel et Serge Volkoff (dir.), La Découverte, avril 2015, 606 p., 28 €

Elles ont travaillé chez Chantelle ou Moulinex... À travers le témoignage de ces ouvrières, Fanny Gallot montre comment la génération des femmes qui a commencé à travailler après 1968 a révolutionné le travail. Elle ont obtenu le droit d'être reconnues comme des salariées à part entière, ont mis en cause le pouvoir des petits chefs et leur quasi-droit de cuissage, ont obligé les syndicats à se saisir de questions comme l'avortement ou le partage des tâches familiales. Pourtant, le rôle des femmes dans les luttes sociales avait été passé sous silence. Fanny Gallot lui rend toute sa place.

*En découdre. Comment les ouvrières ont révolutionné le travail et la société*, Fanny Gallot, La Découverte, avril 2015, 83 p., 19,50 €



## Autres parutions...

## ENVIRONNEMENT

Une discussion à bâtons rompus entre une philosophe et un ami érudit sur le thème de l'environnement. Quels rapports entretenons-nous avec le milieu où nous vivons ? Comment évoluent les espèces au sein d'un écosystème ? Comment faire face à la crise écologique et vivre plus en harmonie avec l'environnement ? Dédié à un jeune public, ce livre court et joliment illustré apporte des réponses simples qui poussent à la réflexion... et intéresseront tout autant les adultes.

*Vivre dans et avec l'environnement*, Marie Gaille, dessins de Donatien Mary, Gallimard Jeunesse, mars 2015, 72 p., 10,50 €

## COMMUNICATION

Révolution technologique, vertus et mirages des réseaux, montée en puissance des Gafa (Google, Amazon, Facebook et Apple), relations conflictuelles entre gouvernants et médias, réflexion sur le destin des intellectuels... Le dernier numéro d'*Hermès* nous présente un tour d'horizon du xx<sup>e</sup> siècle vu à travers le prisme de la communication. Il n'oublie pas de convoquer la célèbre école de Palo Alto, courant de pensée fondateur initié dans les années 1950.

*« Le xx<sup>e</sup> siècle saisi par la communication. Vol. 2 : Ruptures et filiations »*, Hermès, Éric Letourneur et Bernard Valade (dir.), CNRS Éditions, juin 2015, 352 p., 27 €

## SANTÉ

Ce livre présente quelques-unes des nombreuses recherches menées en Afrique de l'Ouest au sein de l'UMI Environnement, Santé, Sociétés. Qu'il s'agisse de l'alimentation, de la fécondité, du développement de l'enfant, du vieillissement de la population ou de l'évolution de certaines pathologies, les chercheurs livrent un nouveau regard sur des problématiques de santé en étudiant leurs liens, souvent complexes, avec leurs contextes environnemental et sociétal.

*Santé et sociétés en Afrique de l'Ouest*, Gilles Boëtsch, Lamine Gueye, Enguerran Macia et Yannick Jaffré (dir.), préface de Patrice Bourdelais, CNRS Éditions, juin 2015, 320 p., 25 €

## NOURRISSON

Fleur Lejeune, docteure en sciences cognitives, et Édouard Gentaz, professeur de psychologie du développement, rassemblent les connaissances les plus récentes sur l'évolution des enfants prématurés, notamment les risques sensoriels, cognitifs et affectifs auxquels ils sont exposés. Car « *s'intéresser aux compétences cognitives de l'enfant prématuré est tout sauf accessoire. [...] C'est fondamental pour son développement ultérieur* », annonce la préface.

*L'Enfant prématuré. Développement neurocognitif et affectif*, Édouard Gentaz et Fleur Lejeune, Odile Jacob, mai 2015, 154 p., 22,90 €

## SOCIÉTÉS

**Droit.** Comment les avocats pénalistes vivent-ils leur métier ? La juriste Edwige Rude-Antoine<sup>1</sup>, auteure d'une étude sur le sujet, nous répond.

PROPOS RECUEILLIS PAR FABRICE IMPÉRIALI

# Les avocats ont-ils un sens moral ?



*L'éthique de l'avocat pénaliste*, Edwige Rude-Antoine, L'Harmattan, décembre 2014, 208 p., 21 €

**Vous venez de publier le résultat d'une enquête auprès d'avocats pénalistes. Pourquoi vous êtes-vous intéressée à ce métier très particulier ?**

**Edwige Rude-Antoine :** Cet intérêt fait suite à une recherche que j'avais engagée il y a plusieurs années sur la justice et la vérité au sein des cabinets d'avocats. J'avais envie d'étendre cette réflexion au champ pénal : qu'est-ce qui est à l'œuvre dans l'action de défendre un accusé ou de soutenir les intérêts d'une victime ? Les avocats sont-ils animés par une idée de vérité ? Ensuite, je me suis demandé comment les questions morales se posaient au quotidien. Enfin, j'ai voulu répondre à cette question souvent posée aux avocats pénalistes : comment faites-vous pour défendre un assassin ?

**Justement, les avocats peuvent être admirés ou critiqués selon les « clients » qu'ils défendent. Comment vivent-ils cette dualité ?**

**E. R.-A. :** On ne peut pas vraiment dire qu'ils soient pris dans cette dualité. Ce sont avant tout des professionnels qui partent du principe que « le client », qu'il ait commis une infraction ou qu'il soit victime, a besoin d'être représenté pour faire valoir ses droits. Pour un avocat, défendre, c'est avant tout offrir un rempart à un individu montré du doigt qui n'a personne d'autre que lui pour le représenter. Il ne s'agit pas d'acquiescer à un acte commis, mais de retranscrire la parole d'un prévenu, d'un accusé ou d'une victime, d'assurer le respect des règles du procès.

**À quelles questions déontologiques les avocats sont-ils confrontés dans leur travail quotidien ?**

**E. R.-A. :** La déontologie est considérée comme la garantie première du justiciable et l'âme véritable de la profession. Seize principes guident ainsi l'avocat pénaliste. Celui-ci doit exercer ses fonctions avec dignité, conscience,



© B. PERILLO/APP PHOTO

indépendance, probité et humanité. Il doit respecter les principes d'honneur, de loyauté, de désintéressement, de confraternité, de délicatesse, de modération et de courtoisie. Il doit, enfin, faire preuve à l'égard de ses « clients » de compétence, de dévouement, de diligence et de prudence. La méconnaissance d'un seul de ces principes constitue une faute pouvant entraîner une sanction disciplinaire. Notons que l'indépendance de l'avocat n'est pas totale, car sa décision de revenir sur une information donnée lors du procès ou de l'éluder ne repose pas toujours sur un choix rationnel, mais plutôt sur sa représentation des jurés et de l'impact d'informations sur la condamnation du prévenu ou de l'accusé. Le débat judiciaire est un duel ordonné dans le cadre d'un procès équitable. La confraternité et la loyauté sont des exigences quasi vitales pour l'exercice harmonieux de la profession, mais ces qualités sont de loin les plus difficiles à assumer.

**Car l'avocat se sent dans l'obligation de gagner...**

**E. R.-A. :** En effet, l'objectif premier de l'avocat pénaliste est sans aucun doute de gagner l'affaire qu'il défend. C'est pourquoi tous disent combien, dans la pratique, l'absence de confraternité et de loyauté reste courante. Elle se pose dans le cas du dessaisissement d'un dossier qui résulte de la volonté du « client ». Souvent, l'avocat successeur rencontre des difficultés : manque de célérité dans la transmission des pièces, omission de certains documents, perte du dossier. Beaucoup aussi m'ont fait part de propos tenus par l'avocat pressenti à l'égard de son prédécesseur, taxé d'incompétence ou de désinvolture, qui montrent toute la difficulté de se conformer à ce principe déontologique majeur.

1. Directrice de recherche au CNRS, membre du Centre d'études des normes juridiques, Institut Marcel-Mauss (CNRS/EHESS).



► Dessin figurant Yvan Colonna (à g.) et son avocat, Gilles Simeoni, lors de son procès pour l'assassinat du préfet Claude Érignac.

### Comment les avocats parviennent-ils à défendre les causes qui nous paraissent les plus indéfendables ?

**E. R.-A. :** Les avocats disent tous qu'il leur arrive de se trouver en face de clients qui ont commis des faits qui leur apparaissent plus immoraux que d'autres, voire monstrueux. Mais tous soulignent qu'ils sont là pour défendre. Plus l'accusation est grave, plus l'accusé a le droit d'être défendu, et l'avocat, le devoir de le défendre. L'avocat doit accepter de défendre les pires criminels à une seule mais importante condition : être d'accord sur la stratégie de défense. Les avocats ajoutent qu'au-delà de l'acte commis ils défendent l'humanité. Si un avocat refusait de défendre un prévenu, on pourrait penser qu'il nie la part d'humanité de son « client » et par là qu'il renonce à sa propre humanité.

*“L'acte de défendre n'a atteint son but que lorsque le prévenu, l'accusé ou la victime a conscience que sa cause a été entendue.”*

### Fait nouveau, vous vous êtes attachée à étudier ce métier du point de vue de l'éthique...

**E. R.-A. :** L'acte de défendre n'a atteint son but que lorsque le prévenu, l'accusé ou la victime a conscience que sa cause a été entendue, et cela quel que soit le verdict rendu. Mais il arrive que les avocats se retrouvent dans une situation où il leur semble que leur client a perdu toutes qualités humaines. Les avocats s'interrogent alors pour savoir comment dialoguer authentiquement avec ces « clients ». Quel que soit l'acte commis, reproché ou subi, l'avocat tente de penser l'impensé du discours de son « client ». Tout en cherchant à connaître aussi objectivement que possible les faits reprochés au présumé coupable ou subis par la victime, les avocats ont parfois pour objectif de les aider à se positionner autrement, c'est-à-dire à leur restituer la compréhension de leur propre acte, ou de cet acte subi en tenant compte de leur histoire et de l'interprétation qu'ils se sont construite autour des faits évoqués.

### Les avocats ont-ils une limite morale dans la défense des prévenus ?

**E. R.-A. :** L'avocat pénaliste peut être saisi par des sentiments moraux, des conflits éthiques, voire des doutes persistants sur la culpabilité ou non du prévenu ou de l'accusé. Il a ainsi une responsabilité morale concernant à la fois le prévenu ou l'accusé, la victime mais aussi la société civile. La question se pose alors de savoir ce que la conscience éthique peut tolérer. Jusqu'où l'avocat peut-il aller dans la défense du prévenu, de l'accusé ou de la victime sachant qu'au moment du procès ce n'est pas seulement l'incrimination qui est en cause, mais aussi le poids de l'acte, ses représentations et sa résonance sociales ?

### A-t-on vraiment intégré, dans notre démocratie, l'idée que la défense est un droit essentiel ?

**E. R.-A. :** L'exercice de la défense n'est pas assuré par le seul fait que nous vivons en démocratie. Il est souvent remis en question, même s'il est inscrit dans *La Déclaration des droits de l'homme et du citoyen de 1789* ou *La Convention européenne de sauvegarde des droits de l'homme et des libertés fondamentales* qui déclare que « toute personne a droit à ce que sa cause soit entendue équitablement et publiquement et dans un délai raisonnable, par un tribunal dépendant et impartial, établi par la loi ». Et elle précise que « tout accusé a droit [...] à l'assistance d'un défenseur de son choix et, s'il n'a pas les moyens de rémunérer un défenseur, à pouvoir être assisté gratuitement par un avocat d'office ». Ainsi, les textes garantissent le fait que la défense est un droit essentiel. Pourtant, il faut souvent rappeler que, dans un État de droit, on juge selon des règles de droit. Or la science du droit ne s'improvise pas, elle s'apprend et s'expérimente. L'accusé ne la connaît pas ; la justice pénale ne peut être juste et comprise que si la défense est présente et joue ce rôle de rempart contre le retour à une justice hors démocratie ou contre des décisions arbitraires. ■

# La mémoire filmée de la Shoah

## En quoi l'exposition « Filmer la guerre » apporte-t-elle un regard nouveau sur le génocide juif ?

**Valérie Pozner** : Nous avons croisé des archives filmiques et photographiques avec la presse et la documentation judiciaire et administrative afin de contextualiser ces images, dont 80 % sont inédites. Elles documentent les divers modes opératoires de la Shoah à l'Est : exécutions par balles, pendaisons, ghettos, camps, bûchers... Nous avons pu dresser une carte précieuse, pour les principaux sites de massacres, ce qui a été filmé ou photographié et à quelle date.

## Pourquoi les Soviétiques avaient-ils tant d'images ?

**V. P.** : Il faut se replacer dans le contexte de guerre à l'Est, avec ses 27 millions de morts soviétiques. Les massacres de juifs commencent dès l'été 1941. À partir de novembre, les autorités décident de les rendre publics pour mobiliser les soldats et les populations à l'arrière. C'est l'une des raisons pour lesquelles la judéité des victimes a été gommée au montage. L'autre objectif est, bien sûr, d'informer les Alliés.

## Comment ces archives construisent-elles l'histoire ?

**V. P.** : Le dépôt d'archives démontre une conscience historique très forte. Certains responsables du cinéma et plus encore certains chefs d'équipe du front étaient parfaitement conscients de filmer des images qui participeraient de l'écriture de l'histoire du pays. Paradoxalement, on sait que certaines images de charniers, aujourd'hui perdues, ont été tournées, grâce aux journaux tenus par certains opérateurs, tandis que d'autres images, conservées dans les archives, nécessitent de croiser les sources pour comprendre à quoi on a affaire. Le discrédit qui a touché ces images jusqu'ici explique qu'elles soient aussi méconnues. On leur reproche fréquemment d'être des reconstitutions, or cela ne concerne qu'une infime partie de ces archives, principalement celles d'Auschwitz, qui ont été tournées après coup, car les opérateurs, à leur arrivée, n'avaient pas de matériel d'éclairage ni de prise de son, et très peu de pellicule.

▼ **L'opérateur soviétique Avenir Sofin au front.**

 **Filmer la guerre : les Soviétiques face à la Shoah, exposition jusqu'au 27 septembre, au Mémorial de la Shoah, à Paris**

SOCIÉTÉS 

**Histoire.** Spécialiste du cinéma soviétique, Valérie Pozner<sup>1</sup> nous explique le caractère inédit de l'exposition « Filmer la guerre : les Soviétiques face à la Shoah ».

PROPOS RECUEILLIS PAR LYDIA BEN YTZHAK



Lire l'intégralité de l'article sur [lejournal.cnrs.fr](http://lejournal.cnrs.fr)

» <http://filmer-la-guerre.memorialdelashoah.org>



© RGAREF

## Les images sont-elles pensées comme des preuves ?

**V. P.** : Les Soviétiques imaginent très tôt la collecte de preuves pour les procès à venir. Cet objectif conduit à filmer très souvent le travail des commissions d'enquête, notamment celles menées à propos des opérations d'effacement des preuves de crimes. Les Soviétiques récupèrent des photographies prises aux Allemands – par exemple de machines destinées à broyer les os –, mais surtout ils enregistrent les témoignages des prisonniers de guerre réquisitionnés pour cette tâche. L'avancée rapide de l'Armée rouge à partir de 1944 interrompt ces opérations de destruction, comme c'est le cas à Klooga, en Estonie. Les images filmées peu après l'arrivée de l'Armée rouge sont très éprouvantes. Il n'y a plus sur les lieux que 80 survivants de bûchers incomplètement calcinés. Elles seront reprises dans le film présenté par l'accusation soviétique à Nuremberg en 1946. ■

1. Laboratoire Théorie et histoire des arts et des littératures de la modernité (CNRS/ENS/Univ. Sorbonne Nouvelle).



# COP 21 : on a oublié d'inviter l'océan !

**Françoise Gaill**

Coordinatrice du conseil scientifique de la Plateforme océan et climat

**C'est à peine croyable, et pourtant... L'océan, qui couvre 70 % de la surface du globe, qui absorbe 25 % du CO<sub>2</sub> émis chaque année par l'homme dans l'atmosphère, et 90 % du surplus de chaleur dû à l'effet de serre,** n'est même pas au programme des discussions de la 21<sup>e</sup> Conférence des parties (COP 21), qui débutera à Paris le 30 novembre. Les quelque 200 délégations qui y participeront, les milliers de décideurs et de politiques qui, je l'espère, prendront en cette fin d'année les décisions qui conviennent pour nous assurer un avenir viable sur la terre ferme de notre planète ont-ils conscience que l'océan concentre 50 fois plus de carbone que l'atmosphère, et que sa capacité de stockage de la chaleur est bien plus efficace que celle des continents ? Et imaginent-ils une seconde les conséquences sur le climat et sur la viabilité de la Terre si jamais le système océanique cessait de fonctionner ? Car, si tout ce que la mer emmagasine était déversé dans l'atmosphère, ce n'est pas 2 °C d'élévation de température que l'on aurait, mais certainement dix fois plus.

## L'océan est en train de changer

Voilà pourquoi la Plateforme océan et climat, associée à de nombreux acteurs nationaux et internationaux, a tiré la sonnette d'alarme le 8 juin, à l'occasion de la Journée des océans à l'Unesco. Une lettre ouverte a été publiée et une pétition lancée sur Change.org afin que les décideurs ouvrent enfin les yeux sur le rôle primordial des eaux océaniques dans la régulation climatique. L'occasion de dire haut et fort ce que l'on sait déjà avec certitude, mais également de pointer ce que l'on ignore encore, et ce qui reste à faire. Car l'océan aussi est en train de changer. On le sait, le réchauffement de l'atmosphère entraîne celui des eaux salées. Résultat : l'océan se dilate et la mer monte, et ce d'autant plus vite que la fonte des glaces s'accélère. Les modèles envisagent une

hausse d'un quart de mètre dès la fin du siècle, avec un maximum de plus de 80 centimètres. Mais on ignore encore les conséquences locales et les variabilités de ces phénomènes, et reste à scénariser leurs conséquences sur les zones littorales : érosion, submersion, affaissement, voire disparition des îles.

Ce n'est pas la seule conséquence du réchauffement sur le plus grand écosystème terrestre, celui des océans. Un tiers des espèces marines recensées sont abritées par les récifs coralliens. Or, au-delà d'une valeur seuil, un degré de plus suffit à provoquer le blanchissement des coraux et la disparition potentielle des récifs ! On estime ainsi que 50 % d'entre eux pourraient disparaître à l'horizon 2050, ce qui aura des conséquences directes sur la



Tous les premiers vendredis du mois, retrouvez sur [lejournal.cnrs.fr](http://lejournal.cnrs.fr) les Inédits du CNRS, des analyses scientifiques originales publiées en partenariat avec Libération.

subsistance d'un demi-milliard de personnes dans le monde. Autre risque important : la hausse de nos rejets en CO<sub>2</sub> entraîne une acidification des mers qui menace les écosystèmes marins. Enfin, et toujours à cause des activités humaines, les *dead zones*, des zones où l'oxygène disparaît, qui menacent d'asphyxie instantanée tout être vivant qui a le malheur de les traverser, se multiplient. En réalité, les impacts réels du changement climatique nous restent en grande partie inconnus. Mais il y a des bonnes nouvelles, les résultats de la première grande expédition du XXI<sup>e</sup> siècle du projet Oceanomics devraient nous aider à y voir plus clair. Pour la première fois, tous les habitants microscopiques de la surface des mers ont été inventoriés à partir d'un bateau à voile, en utilisant les

méthodes les plus modernes. L'état de santé de l'écosystème planctonique va désormais pouvoir être suivi, et cette bibliothèque est à notre disposition pour en savoir plus sur l'évolution de la « pompe à carbone » biologique et, plus généralement, sur la réponse du vivant marin aux variations climatiques.

## Une priorité de société

Le Grenelle de la mer, conduit de 2009 à 2012, a identifié des priorités de société. Il s'est ensuivi des regroupements divers pour mettre l'océan au centre des stratégies environnementales, autour de structures comme le Conseil national de la mer et des littoraux. Les scientifiques ont travaillé, les acteurs de la mer ont proposé, la haute mer a été invoquée... et, chaque fois, la réponse a été la même : la mer, oui, mais laquelle ? La mer est partout, et donc nulle part, et surtout jamais mentionnée. À croire que l'océan est trop grand, trop abstrait, trop lointain pour être identifié par nos sociétés : on reste au bord. Et pourtant, nous nous agglutinons près des côtes l'été et, dans une décennie, la bande littorale accueillera les deux tiers de la population mondiale. Et pourtant, 90 % du commerce mondial passe par la mer.

Un océan en bonne santé, c'est un climat préservé... Car, oui, le climat dépend aussi de l'océan. Quand les politiques en prendront-ils conscience ? Certains furent en leur temps des scientifiques, embarquant sur les océans et capables d'évaluer le Gulf Stream en mesurant simplement la température de l'eau (Benjamin Franklin). Embarquons donc les politiques en mer, comme le secrétaire général des Nations unies sur Tara, pour les convaincre que l'océan est notre avenir et que la vie est bleue ! II



Lire l'intégralité du billet sur [lejournal.cnrs.fr](http://lejournal.cnrs.fr)

Signez l'appel « Ensemble, faisons entendre la voix de l'océan ! »

>> [www.change.org/oceanforclimate](http://www.change.org/oceanforclimate)







*Livio De Luca*, directeur du laboratoire Modèles et simulations pour l'architecture et le patrimoine (MAP)

# “Je me souviens...”

PROPOS RECUEILLIS PAR YAROSLAV PIGENET

... du lancement du projet de reconstitution numérique du pont d'Avignon que nous avons mené comme une véritable enquête scientifique. Lancé en 2010, le projet a mobilisé durant quatre ans cinq laboratoires du CNRS<sup>1</sup> et rassemblé une quarantaine de chercheurs provenant d'horizons différents – des historiens, des architectes, des ingénieurs, des archéologues, ainsi que des géomorphologues. Cette reconstitution a nécessité l'étude d'un grand nombre de sources iconographiques, par exemple des cartes d'époque représentant le pont Saint-Bénézet et les bâtisses environnantes, que nous avons ensuite mises en relation avec la représentation tridimensionnelle

numérisée. Cette méthode permet, entre autres via un dispositif mobile de type tablette tactile, de visualiser le modèle en 3D incrusté sur la source. On peut ainsi établir un lien, sur le plan conceptuel, géométrique et projectif, entre la source iconographique et sa reconstitution numérique.”

PHOTO : MCC/MAP/CNRS PHOTOTHÈQUE

➤ Visionner notre vidéo : « À quoi ressemblait le pont d'Avignon au Moyen Âge ? » sur [lejournal.cnrs.fr](http://lejournal.cnrs.fr)

1. MAP (CNRS/MCC), Cerege (CNRS/Aix-Marseille Univ./IRD/Collège de France), Ciham (CNRS/Univ. Lumière Lyon-II/Univ. d'Avignon/ENS Lyon/EHESS/Univ. Jean-Moulin Lyon-III), LA3M (CNRS/Aix-Marseille Univ./MMSH), EVS (CNRS/Univ. Jean-Moulin Lyon-III/Univ. Lumière Lyon-II/Univ. Jean-Monnet Saint-Étienne/Mines Saint-Étienne/ENS de Lyon/ENSAL/ENTPE/Insa de Lyon).



de Denis Guthleben,  
historien au CNRS

# Affinités chinoises

Le bureau du CNRS en Chine célèbre son 20<sup>e</sup> anniversaire. Créé en 1995 par le directeur général Guy Aubert, il répondait à une sollicitation du ministère français des Affaires étrangères pour reconstituer des liens scientifiques solides entre les deux pays, quelques années après les événements de 1989 qui les avaient brutalement interrompus. La Chine demeurait néanmoins encore, pour beaucoup, une puissance scientifique « de demain ». Mais quelques-uns, chercheurs et diplomates, avaient perçu avec lucidité que « demain » arriverait plus vite que prévu...

## Partenaire d'aujourd'hui et de demain

Depuis 1995, les ressources du bureau – installé depuis 2011 dans les locaux de l'ambassade de France à Pékin – sont allées croissantes, en même temps que les échanges qu'il a accompagnés. Il suffit de rappeler que le CNRS est aujourd'hui présent dans près de trois quarts des copublications entre la France et la Chine, qu'il participe à

l'université Tsinghua de Pékin, Tsien San-Tsiang. Devenu l'ami des époux Joliot-Curie, il passe une dizaine d'années auprès d'eux, vivant au rythme d'une France défaite, occupée, et finalement libérée à partir de juin 1944.

De tels liens individuels connaissent un rebond à partir de 1964, avec la décision audacieuse du général de Gaulle d'établir des relations diplomatiques avec la République populaire de Chine. Interrompus pendant la Révolution culturelle, les échanges reprennent au début de la décennie suivante, dans la foulée de la participation du directeur général du CNRS Hubert Curien à l'exposition scientifique française de Pékin en 1972. Clin d'œil de l'histoire : à cette occasion, Hubert Curien visite l'Institut de physique nucléaire de Pékin en compagnie de son directeur... Tsien San-Tsiang.

## 1978 : premier accord de coopération

L'année 1978 marque une nouvelle étape, avec la signature par le Premier ministre français Raymond Barre et son homologue chinois Deng Xiaoping d'un accord de coopération scientifique, et, au niveau du CNRS représenté par son directeur général Robert Chabbal, d'une convention avec l'Académie des sciences de Chine. L'un des principaux aboutissements de cette association réside dans le lancement d'un programme de recherche en coopération sur la structure, la formation et l'évolution de la croûte terrestre et du manteau supérieur de l'Himalaya. L'opération mobilise dès la première année plus d'une soixantaine de spécialistes des sciences de la Terre. Une dynamique est ainsi lancée, qui est accentuée quatre ans plus tard avec la création au CNRS de la Direction des relations et de la coopération internationale : dès le milieu de la décennie 1980, les échanges entre le CNRS et la Chine portent sur une large palette de recherches, allant de la sismologie aux sciences humaines en passant par la robotique et la chimie.

Notre bureau de Pékin, auquel on souhaite un excellent anniversaire, est le dépositaire de cette longue histoire, certes jalonnée d'écueils, mais aussi marquée par de grands succès... et dont les plus belles pages sont sans doute encore à écrire. Car les signaux sont nombreux, qui indiquent que, pour la recherche chinoise, « demain » est là, et bien là ! ■

## Les premières relations du CNRS avec la Chine ont débuté dès la création de l'établissement, en 1939.

plus d'une vingtaine d'actions structurantes – unités mixtes, laboratoires associés et groupements de recherche internationaux –, qu'il accueille quelque 1 300 doctorants chinois dans ses formations et organise chaque année autant de missions vers la Chine, pour constater que l'arbre – serait-ce le Kien-mou de la mythologie chinoise ? – porte de très beaux fruits.

## Des liens solides

Cet arbre a aussi des racines solides. Car les premières relations du CNRS avec la Chine débutent tôt dans l'histoire de l'établissement, dès sa création, en octobre 1939. Le CNRS, à qui vient d'être confiée la mobilisation scientifique face à la menace nazie, soutient les travaux menés par Irène et Frédéric Joliot-Curie. Et l'un de leurs proches collaborateurs est un jeune physicien diplômé de

# 25<sup>es</sup> Rencontres "Sciences et Citoyens" CNRS Jeunes

16, 17 et 18 octobre 2015

Palais des Congrès  
du Futuroscope de Poitiers

## BULLETIN D'INSCRIPTION \*

Merci de remplir ce bulletin en majuscules

G  F  N° Agent CNRS :

Nom.....

Prénom.....

Date de naissance.....

Adresse.....

.....

Ville.....

Code postal.....

Téléphone.....

Niveau d'études ou activité professionnelle.....

.....

.....

E-mail.....@.....

désire participer aux 25<sup>es</sup> Rencontres CNRS Jeunes « Sciences et Citoyens », au Palais des congrès du Futuroscope, du 16 au 18 octobre 2015, et joint le règlement de 65 €\*\* par :

chèque bancaire  chèque postal

libellé à l'ordre du CNRS (Centre national de la recherche scientifique).

En cas d'annulation avant le 8 septembre 2015, une somme de 30 € sera retenue. Passée cette date, aucun remboursement ne pourra être effectué.

Une confirmation d'inscription et une documentation de présentation vous parviendront dans les meilleurs délais.

Signature

Bulletin et règlement sont à retourner avant le 24 septembre 2015 à l'adresse suivante :

**CNRS - DIRCOM / PÔLE ACTIONS JEUNES ET ÉVÉNEMENTS**  
Rencontres CNRS Jeunes « Sciences et Citoyens »  
3 rue Michel-Ange - 75794 Paris Cedex 16

Pour tout renseignement complémentaire :

Martine ROCHE Tél. : 01 44 96 46 31  
Jean-Louis BUSCAYLET Tél. : 01 44 96 46 34  
Olivier MARCO Tél. : 01 44 96 48 48

[www.cnrs.fr/sciencesetcitoyens](http://www.cnrs.fr/sciencesetcitoyens)

\* Inscription dans la limite des places disponibles

\*\* 65 € pour les personnes extérieures et 50 € pour les enfants des personnels CNRS ou membres des clubs CNRS Jeunes « Sciences et Citoyens ».

**VOUS AVEZ DE 18 à 25 ANS,  
VENEZ PARTICIPER AUX 25<sup>es</sup> RENCONTRES CNRS JEUNES « SCIENCES ET CITOYENS »**

Jeune ou chercheur, chacun apporte ici sa richesse : un savoir, une curiosité, une expérience. C'est comme un bagage que l'on propose en partage pour réfléchir et construire ensemble la société de demain.

Ne manquez pas cet événement exceptionnel, inscrivez-vous rapidement sur : [www.cnrs.fr/sciencesetcitoyens](http://www.cnrs.fr/sciencesetcitoyens)

### AUTOUR DE 10 ATELIERS-DÉBATS

#### MATIN

- 1 - LE CERVEAU, LE POLITIQUE ET LA LOI
- 2 - RELIGIONS ET POLITIQUE
- 3 - JUSTICE ET INJUSTICES ENVIRONNEMENTALES
- 4 - FINANCE CONTRE DÉMOCRATIE ?
- 5 - VERS UNE RUPTURE ÉNERGÉTIQUE ?

#### APRÈS-MIDI

- 6 - LE PARADOXE DE FERMÍ ET LES EXTRATERRESTRES INVISIBLES
- 7 - LET'S DANCE : LE MOUVEMENT HUMAIN, DE LA CHORÉGRAPHIE À LA MALADIE DE PARKINSON
- 8 - SMART CITIES : LA VILLE DE DEMAIN SERA-T-ELLE VRAIMENT PLUS INTELLIGENTE ?
- 9 - MODÉLISATION ET BIODIVERSITÉ
- 10 - ÉCO-CONCEPTION SANS ÉCO-CONSUMMATION ???



PARIS2015

LA RECHERCHE  
SE MOBILISE  
POUR LE CLIMAT

LE FORUM  
DU CNRS

# Que reste-t-il à découvrir ?

PARIS, LA SORBONNE  
13 ET 14 NOVEMBRE 2015

## CHANGEMENTS CLIMATIQUES CENT CHERCHEURS VOUS RÉPONDENT

#ForumCNRS  
[leforum.cnrs.fr](http://leforum.cnrs.fr)

EN ASSOCIATION AVEC **Le Monde**



© C. Han / CNRS - Friedels, Bay of Light, Julia, Matej Koutal/istock.com