



DES ATOMES  
AUX PLANÈTES,  
dernières nouvelles  
**du froid**

Les lettres  
de **Marcel  
Proust**  
bientôt en ligne

Demain,  
un ordinateur  
inspiré de  
notre cerveau ?

**Antoine Petit,**  
président-  
directeur général  
du CNRS



# SCIENCES & CITOYENS

inscription gratuite

Les rencontres du CNRS

Le mercredi 28 mars 2018

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

**La participation, comme la parole, est libre et gratuite !**

Venez échanger avec les scientifiques sur l'avenir de la planète et de la société. Partagez votre savoir, votre curiosité et votre expérience.



CAEN



LYON



MARSEILLE



## ZESTE de SCIENCE

la chaîne YouTube du CNRS qui fait rimer humour avec rigueur pour partager les recherches scientifiques du moment !



**Abonnez-vous !**



#ZdS



**Rédaction :**

3, rue Michel-Ange - 75794 Paris Cedex 16

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

Antoine Petit

**Directrice de la rédaction :**

Brigitte Perucca

**Directeur adjoint de la rédaction :**

Fabrice Impériali

**Rédacteur en chef :**

Matthieu Ravaut

**Chef de rubrique :**

Charline Zeitoun

**Rédacteurs :**

Anne-Sophie Boutaud, Laure Cailloce,

Yaroslav Pigenet

**Assistante de la rédaction****et fabrication :**

Laurence Winter

**Ont participé à ce numéro :**

Denis Delbecq, Séverine Duparcq, Mathieu

Grousson, Denis Guthleben, Martin Koppe,

Francis Lecompte, Hugo Leroux, Fui Lee

Luk, Marie Mabrouk, Christelle Mercier,

Saman Musacchio, Émilie Silvoz, Laurence

Stenvot, Jean-Baptiste Veyrieras

**Secrétaires de rédaction :**

Isabelle Grandrieux, Sandrine Hagège

**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 2261-6446

Dépôt légal : à parution



Photos CNRS disponibles à :

[phototheque@cnrs.fr](mailto:phototheque@cnrs.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 : vue d'artiste  
de la « Terre boule de neige »,  
il y a 720 millions d'années.

PHOTO : MIKKEL JUUL JENSEN/SPL/COSMOS

*“Nous devons  
montrer aux  
décideurs que  
la science est  
omniprésente et  
indispensable.”*

Nommé il y a quelques semaines à la tête de ce magnifique fleuron de la recherche, je veux vous rappeler les six priorités que j'ai proposées pour le CNRS et qui guideront mon action. En premier lieu, il s'agit de soutenir dans tous les domaines une recherche fondamentale au meilleur niveau mondial. Il est aussi nécessaire de promouvoir la pluridisciplinarité, en particulier autour des grands problèmes de société. Troisième priorité : travailler en lien avec les acteurs industriels et économiques sur les innovations de

rupture. Par ailleurs, le CNRS a vocation à jouer un rôle moteur dans la présence de la recherche française au niveau international, notamment dans les grands programmes et infrastructures. Un cinquième objectif est de refonder les partenariats avec des universités autonomes. Enfin, je souhaite que notre organisme apporte une culture et une expertise scientifiques aux décideurs, et à la société.

Le journal du CNRS, et notamment sa version en ligne qui reçoit 250 000 visites chaque mois, est un exemple remarquable des actions que nous conduisons vers la société. Il faut que nous allions plus loin, en touchant davantage de publics et en variant la nature des sujets traités.

Nous devons en particulier faire un effort sur les décideurs dont la culture scientifique reste souvent insuffisante. Il convient de leur montrer que,

même si elle est souvent cachée, la science est omniprésente dans notre quotidien et indispensable pour appréhender avec lucidité et recul les grandes problématiques de demain, celles sur lesquelles ces décideurs auront à décider !

Aborder des questions aussi diverses que le réchauffement climatique, le développement durable, les énergies renouvelables, la mobilité, les territoires (villes, usines, campagnes...) « intelligents », l'intelligence artificielle, l'alimentation ou encore la médecine personnalisée, les vaccins, le travail, les mutations, les radicalisations... nécessite, en amont de la décision, des éclairages pluridisciplinaires mêlant sciences dures et sciences souples.

À nous d'expliquer encore davantage les potentiels impacts sociaux, économiques et industriels de la science.

*Antoine Petit,*  
président-directeur général du CNRS



© F. PUSCINS PHOTO THÈQUE



# GRAND FORMAT

# 13

Dernières nouvelles du froid .....	14
Un manège pour la science .....	24
Quels neurones pour l'intelligence artificielle ? .....	30



# 6

Hélène Morlon  
déchiffre la biodiversité

## EN PERSONNE 5

Des projets européens à l'honneur .....	8
Antoine Petit prend les rênes du CNRS .....	9
Sylvie Benzoni : « <i>Un lieu de rendez-vous pour les mathématiques</i> » .....	10



Un trésor  
exceptionnel  
retrouvé à Cluny

# 54

## EN ACTION 39

Versailles remonte le temps .....	40
Le principe d'équivalence reste valable ! .....	42
La cartographie au service des secours .....	44
La recherche au carrefour de l'Asie .....	46
Les lettres de Proust bientôt en ligne .....	48
Fist SA devient CNRS Innovation .....	50
Les prouesses de la compression vidéo .....	52



La tragédie  
des communs  
était un mythe

# 60

## LES IDÉES 55

Notre raison est-elle rationnelle ? .....	56
La ruée vers l'or nanométrique .....	58
La santé n'est pas étrangère au genre .....	59
Énergie : les promesses de l'hydrogène .....	63

### CARNET DE BORD

E. de Langre nous raconte un souvenir de recherche ..... 64

### LA CHRONIQUE DE DENIS GUTHLEBEN

Sous les pavés, la science... ..... 66

# EN PERSONNE



*Où l'on fait la connaissance  
de deux mathématiciennes  
de talent et du nouveau  
président du CNRS.*

ILLUSTRATION : NURIA/VALERIEOUALID.COM POUR CNRS LE JOURNAL

# Hélène Morlon déchiffre la biodiversité

PAR SÉVERINE DUPARCO

**Écologie évolutive.** Rencontre avec Hélène Morlon, lauréate du prix Irène Joliot-Curie 2017 dans la catégorie « Jeune femme scientifique ». Cette directrice de recherche du CNRS est récompensée pour ses travaux sur la modélisation de la biodiversité, à la croisée des mathématiques et de l'écologie.

P oignée franche et sourire bienveillant. La lauréate 2017 du prix Irène Joliot-Curie nous ouvre chaleureusement les portes de son laboratoire de l'École normale supérieure en cette matinée de décembre. Sa spécialité : l'évolution de la biodiversité, qu'elle étudie en conciliant modèles probabilistes et phylogénie moléculaire. Quelle est l'histoire de la biodiversité et comment va-t-elle répondre aux changements actuels ? Pourquoi certains groupes d'organismes renferment-ils plus d'espèces que d'autres ? Pourquoi des zones géographiques comportent-elles plus ou moins de biodiversité ? L'originalité de ses travaux sur ces questions avait déjà été saluée en 2015, lorsqu'elle a reçu la médaille de bronze du CNRS.

## Le laboratoire et le terrain

La jeune équipe de post-doctorants est encore en transit et il règne comme un air de feng shui dans cette salle moderne et épurée des bâtiments annexes de la rue d'Ulm, à Paris. Hélène Morlon reprend le fil de son parcours qui, loin des modèles mathématiques sur lesquels elle travaille, a laissé la part belle au hasard des rencontres. Et ce dès son entrée à l'ENS Cachan. « À l'époque, je n'imaginai pas faire de recherche en mathématiques. J'aimais cette discipline mais je voulais exercer un métier qui soit davantage ancré dans la société et l'enseignement m'apparaissait comme un bon compromis. » Enseignante, vraiment ? « Je préparais l'agrégation de mathématiques quand le déclic est arrivé, se souvient Hélène Morlon. Ce jour-là, j'ai assisté à un cours d'application des mathématiques à l'écologie qui a beaucoup résonné en moi. » Nous sommes en 2000, et tout vient de basculer pour elle.

Sensibilisée aux questions environnementales depuis son enfance en Provence, Hélène Morlon décide de quitter la voie de l'enseignement pour poursuivre ses

études en écologie. Elle s'inscrit donc à un DEA avant de soutenir une thèse en écotoxicologie à l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) au CEA de Cadarache, au sud de Manosque. Trop de mathématiques fondamentales à Cachan, trop d'expérimental désormais à Cadarache. « Après trois ans de recherche exclusivement expérimentale à Cadarache, j'ai eu envie, dans le cadre de mon post-doctorat, de retourner aux mathématiques et à la modélisation. » Hélène Morlon consulte alors les appels d'offres sur Internet.

À l'époque, les postes en biomathématiques se font rares en France. La scientifique décide de candidater pour un poste aux États-Unis, dans le laboratoire de Jessica Green, chercheuse en modélisation de la biodiversité. Le laboratoire californien développe des modèles mathématiques pour expliquer la distribution géographique de la biodiversité, en particulier celle des micro-organismes.

Les trois années qui suivent sont une bouffée d'oxygène pour celle qui multiplie les allers-retours entre le laboratoire et le terrain pour échantillonner des plantes et des micro-organismes : Californie certes, mais aussi Colorado, Chili, Afrique du Sud et Australie... « Des destinations à faire pâlir d'envie mes confrères », s'amuse la scientifique.

Hélène Morlon prolonge ensuite son expérience américaine en intégrant l'équipe de Joshua Plotkin en Pennsylvanie. Le chercheur, rencontré quelque temps plus tôt, développe des modèles mathématiques appliqués à la biologie évolutive et à l'écologie. C'est là qu'Hélène Morlon commence à s'intéresser aux phénomènes de spéciation et d'extinction des espèces. En 2011, un article cosigné avec Joshua Plotkin et publié dans les *Proceedings of the National Academy of Sciences* (PNAS) consacra l'excellence de leurs travaux. « Si les approches phylogénétiques permettent d'étudier l'évolution de

1. Unité CNRS/ENS Paris/Inserm. 2. Bourse du Conseil européen de la recherche.



“Je suis attachée à la qualité de la recherche mathématique en France.”

groupes d'espèces peu représentés dans le registre fossile, plusieurs études remettaient jusque-là en cause ces approches en pointant des incohérences avec les données fossiles. » En développant un nouveau modèle mathématique appliqué aux cétacés – dauphins, baleines, marsouins –, les chercheurs ont permis de réconcilier les deux camps, redonnant ainsi confiance dans les approches phylogénétiques.

#### Une équipe de chercheurs atypiques

« J'aurais pu décider de poursuivre ma carrière aux États-Unis, mais je suis attachée à mon pays et à la qualité de la recherche mathématique en France », avoue la jeune

#### Son parcours en 6 dates

- 2000** Agrégation de mathématiques à l'ENS de Cachan
- 2005** Thèse en écotoxicologie, puis post-doctorat aux États-Unis
- 2010** Entre au CNRS, au sein du Centre de mathématiques appliquées
- 2014** Obtient une bourse ERC « consolidator » et devient directrice de recherche à l'Institut de biologie de l'ENS (IBENS)
- 2015** Lauréate de la médaille de bronze du CNRS
- 2017** Lauréate du prix Irène Joliot-Curie dans la catégorie « Jeune femme scientifique »

femme. Recrutée par le CNRS en 2010, Hélène Morlon obtient une bourse de l'ANR de quelque 280 000 euros et poursuit ses recherches au Centre de mathématiques appliquées avant de rejoindre, en janvier 2014, l'Institut de biologie de l'École normale supérieure<sup>1</sup> de Paris. Elle y prend la tête d'une équipe et bénéficie d'une bourse européenne ERC<sup>2</sup> « consolidator grant », d'une enveloppe de 1,8 million d'euros pour cinq ans. Elle se lance alors en quête de dix jeunes chercheurs aux profils atypiques, au croisement de la biologie, de la physique et des mathématiques quantitatives.

L'équipe à consonance très internationale développe des recherches sur l'impact des changements de températures et des interactions entre espèces, comme la compétition, sur l'évolution de la biodiversité. Récemment, ces travaux ont montré une évolution des tailles plus rapide chez les mammifères et les oiseaux pendant les périodes géologiques froides. Ils ont également porté sur l'évolution des phénotypes sociaux comme la couleur du plumage ou les chants chez les oiseaux. « *Les recherches sur le terrain dans ce domaine portent typiquement sur deux ou trois espèces. Avec nos modèles, nous pouvons tester l'impact de la compétition entre espèces sur la diversité phénotypique à beaucoup plus large échelle, comme sur l'ensemble des oiseaux.* » Soit plus de 10 000 espèces au total.

2018 sonnera la fin de la bourse ERC. Les recherches, elles, continuent. Dans un premier temps, Hélène Morlon entend développer ses modèles pour prendre en compte des changements environnementaux plus variés, comme le niveau des mers ou la pression partielle de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère. Pour ensuite les appliquer aux données collectées lors des expéditions Tara Océans, soutenues par le CNRS. Son objectif ? Mieux appréhender les facteurs qui ont influencé l'évolution du plancton océanique, et donc, le cycle des nutriments et le stockage du CO<sub>2</sub>. ||

© B. MARTIN/AGF/IED

# Des projets européens à l'honneur

**Récompense.** Les Étoiles de l'Europe priment chaque année 12 équipes françaises impliquées dans la coopération scientifique en Europe. La remise des prix de l'édition 2017 a eu lieu le 4 décembre dans le cadre du 4<sup>e</sup> forum Horizon 2020. Parmi les lauréats, trois projets ont été coordonnés par des chercheurs du CNRS.

PAR MARTIN KOPPE

## Modéliser le climat

En matière de coopération internationale, peu de sujets mobilisent autant de chercheurs que le changement climatique. Le projet IS-ENES2<sup>1</sup> offre l'infrastructure nécessaire pour organiser la communauté européenne sur la modélisation du climat, ce qui lui a valu la remise d'une des Étoiles de l'Europe.

Sylvie Joussaume, directrice de recherche au Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement<sup>2</sup>, coordonne le projet via l'Institut Pierre-Simon-Laplace<sup>3</sup>. « *Les trois principaux aspects de la modélisation du climat requièrent tous de solides infrastructures, détaille-t-elle. Les modèles eux-mêmes sont composés de codes numériques souvent très lourds et complexes. L'accès au calcul intensif est fondamental pour réaliser les simulations numériques, et il est essentiel de savoir gérer la masse de données obtenues pour les partager au niveau international.* »

L'IS-ENES2 échange donc des codes et outils pour permettre la réalisation de ces simulations climatiques à très grande échelle.

## Améliorer la RMN

Capable d'analyser la matière à l'échelle atomique, la spectroscopie par résonance magnétique nucléaire (RMN) s'est imposée tant auprès de la communauté scientifique que du secteur industriel.

Afin d'augmenter la résolution et la sensibilité de cette technique de pointe, neuf équipes de recherche et quatre entreprises se sont rassemblées au sein du consortium pNMR<sup>4</sup>, primé cette année. Guido Pintacuda, directeur de recherche à l'Institut des sciences analytiques<sup>5</sup>, coordonne cette plateforme devenue une référence mondiale. « *Avant ce projet, la RMN fonctionnait très difficilement sur les ions paramagnétiques, explique-t-il. Notre réseau a montré qu'il était tout à fait possible de les étudier de cette manière, et même d'exploiter leur présence pour améliorer la RMN.* » Ces avancées intéressent aussi bien la chimie, la biologie, la médecine que la science des matériaux.

## Fabriquer des nanofilms plus propres

La grande science à petite échelle a également vu les travaux de GreeNanoFilms récompensés. Ce projet européen, conçu en 2014 autour du Centre de recherche sur les macromolécules végétales (Cermav)<sup>6</sup> et impliquant dix partenaires européens du monde académique et industriel, se concentre sur les nanotechnologies respectueuses de l'environnement. « *Le cœur de GreeNanoFilms consiste à fabriquer des films minces par autoassemblage de copolymères biosourcés ou glycopolymères, explique Redouane Borsali, directeur de recherche et coordinateur du projet. Ces matériaux obtiennent de meilleures performances que ceux issus de dérivés de pétrole.* »

Les glycopolymères sont des polymères formés à partir de sucres. Élaborés grâce à la biomasse, ils sont donc fabriqués à partir de ressources abondantes et renouvelables. Leurs multiples applications vont des films à haut rendement photovoltaïque à la nanolithographie, ainsi qu'à toutes sortes de biocapteurs flexibles. ||



▼ Sylvie Joussaume  
(IS-ENES2)



▼ Guido Pintacuda  
(pNMR)



▼ Redouane Borsali  
(GreeNanoFilms)

PHOTOS : DR

1. Infrastructure for the European Network of Earth System modeling - Phase 2. 2. Unité CNRS/CEA/université Versailles Saint-Quentin. 3. CNRS/Université Versailles Saint-Quentin/CEA/ENS Paris/École Polytechnique/IRD/Université Paris-Diderot/Université Paris-Est Créteil Val-de-Marne/UPMC/École Polytechnique. 4. Paramagnetic nuclear magnetic resonance. 5. Unité CNRS/ENS Lyon/Université Claude-Bernard. 6. Unité CNRS/Université Grenoble-Alpes.

# Antoine Petit prend les rênes du CNRS

L'informaticien de 57 ans, qui présidait Inria depuis 2014, a été nommé en janvier 2018 à la tête de l'organisme.

Le 24 janvier, Antoine Petit est devenu président-directeur général du CNRS. Nommé par le président de la République sur proposition de Frédérique Vidal, ministre de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation, il succède à Alain Fuchs, président de l'organisme entre 2010 et 2017, et à Anne Peyroche qui en assurait la présidence par intérim depuis le mois d'octobre 2017. Professeur des universités de classe exceptionnelle, Antoine Petit était depuis 2014 président d'Inria, l'Institut national de recherche en informatique et en automatique.

Agrégé de mathématiques en 1982, il soutient en 1985 une thèse en informatique (en théorie des langages) à l'université Paris-Diderot. Assistant agrégé à l'université d'Orléans, puis maître de conférences à l'université Paris-Sud, il est détaché une première fois au CNRS en 1991 comme chargé de recherche au Laboratoire de recherche en informatique<sup>1</sup>. Trois ans plus tard, il est nommé professeur des universités à l'ENS Cachan avant de prendre dans la foulée la direction du département informatique.

Antoine Petit devient durant ces années un spécialiste de l'informatique de la vérification. Ce domaine a pour but de mettre au point des méthodes permettant de vérifier le bon fonctionnement de logiciels dits « critiques » parce que leurs défaillances peuvent avoir de graves conséquences sur le plan humain ou économique, comme dans les

transports, la santé ou l'énergie. Ses travaux ont fait l'objet d'une cinquantaine de publications scientifiques.

Fin 2001, Antoine Petit rejoint le ministère en charge de la Recherche comme directeur adjoint à la Direction de la recherche, responsable du secteur des mathématiques et des sciences et technologies de l'information et de la communication. Cette même année, il est élu membre du Comité national de la recherche scientifique (section sciences et technologies de l'information).

C'est tout début 2004 qu'il revient au CNRS, comme directeur scientifique du département Sciences et technologies de l'information et de la communication (Stic), puis comme directeur interrégional pour la région Sud-Ouest. En 2006, il est détaché chez Inria comme directeur du centre de recherche Paris-Rocquencourt. En 2010, il devient directeur général adjoint de l'organisme, puis son président-directeur général à l'automne 2014.

Depuis avril 2017, Antoine Petit est président non exécutif de l'Institut des hautes études pour la science et la technologie (IHEST). Il est également membre du Conseil national de l'industrie, du conseil scientifique de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et techniques (Opecst) et du haut conseil scientifique de l'Onera<sup>2</sup>. Antoine Petit est chevalier de la Légion d'honneur et officier de l'Ordre national du mérite. ||



© F. PLASCNIS PHOTO THÈQUE

1. CNRS/Université Paris-Sud. 2. Office national d'études et de recherches aérospatiales.

# « Un lieu de rendez-vous pour les mathématiques »

**Entretien.** Sylvie Benzoni est, depuis janvier 2018, la nouvelle directrice de l'Institut Henri-Poincaré, un établissement en pleine expansion avec la très attendue Maison des mathématiques et de la physique théorique, qui ouvrira ses portes en 2020.

PROPOS RECUEILLIS PAR LAURENCE STENVOT

**Vous avez pris en janvier la tête de l'Institut Henri-Poincaré (IHP). Quel a été votre parcours jusque-là ?**

J'ai réalisé une thèse à caractère industriel pour l'Institut français du pétrole. Elle consistait en une analyse de modèles pour certains écoulements dans les conduites. En 1992, je suis recrutée comme chercheuse au CNRS ; c'est d'ailleurs pour mon audition au concours d'entrée dans l'organisme que j'ai mis les pieds pour la première fois à l'Institut Henri-Poincaré ! Je deviens en 2003 professeure à l'université de Lyon au sein de l'institut Maply qui, par la suite de fusions, a été intégré à l'Institut Camille-Jordan... dont je suis devenue directrice en 2016. Avant, donc, de prendre la direction de l'IHP.

**Quel est votre regard de mathématicienne sur l'institut ?**

L'Institut Henri-Poincaré est tout d'abord un « lieu de rendez-vous ». Les mathématiciens français et européens s'y retrouvent pour travailler ensemble. Il y a bien sûr les « trimestres thématiques », véritables lieux de rencontres nationales et internationales, qui regroupent plus d'une centaine de chercheurs et font la réputation de l'IHP au travers du Centre Émile-Borel. Enfin, ces dernières années, sous l'impulsion de l'ancien directeur Cédric Villani, le travail de diffusion auprès du grand public s'est beaucoup développé. La bibliothèque de l'IHP est par ailleurs incontournable avec ses collections historiques et ses modèles.

**L'IHP mène en ce moment un grand projet d'agrandissement prévu pour 2020, celui de la Maison des mathématiques et de la physique théorique. À qui s'adressera ce lieu ?**

La Maison des mathématiques accueillera des publics variés. D'abord, le grand public avec les scolaires, les curieux ou encore les amateurs de sciences qui souhaiteraient en savoir plus sur les mathématiques. Ensuite,

les chercheurs qui seront accueillis en plus grand nombre grâce au projet d'extension. Enfin, cette maison marque une volonté d'ouverture aux entreprises avec de nouvelles collaborations qui restent à définir. Un espace de *coworking* pourrait aussi voir le jour. La fréquentation commune de ces trois publics est à inventer. Cette extension de l'IHP a été également pensée vis-à-vis de nos partenaires. Nous hébergeons dans





Lire l'intégralité de l'entretien sur <http://cnrsinfo.cnrs.fr>

nos murs des sociétés savantes et la Fondation sciences mathématiques de Paris, qui finance beaucoup de thèses et de postdocs. L'extension de l'IHP va permettre d'assurer de meilleures conditions pour cette cohabitation.

### Quels sont les autres programmes mis en place pour la promotion des mathématiques auprès du grand public et des entreprises ?

Le Comité de culture mathématique s'est bien développé ces dernières années. Nous sommes en train de discuter actuellement pour le faire évoluer. Ce comité, composé de représentants de sociétés savantes et d'entreprises, est une grosse boîte à idées qui se penche sur la programmation de l'IHP tout en tenant compte du regard des entreprises. L'audiovisuel joue également un grand rôle dans notre travail de diffusion. Depuis quelques années, l'IHP s'est doté, en coopération avec CNRS Images, d'un service de haut niveau. Les visées sont majoritairement grand public, avec des reportages orientés sur la recherche discutée et développée à l'institut, des films, mais aussi des documentaires comme *Einstein et la relativité générale*, *une histoire singulière*, de Quentin Lazzarotto.

### Que souhaitez-vous apporter à l'IHP au cours de votre mandat ?

Je compte être très attentive au pilotage des activités telles que les trimestres thématiques, les programmes « Research in Paris » ou les animations grand public. Le défi majeur sera de réaliser la Maison des mathématiques et de la physique théorique dans les délais. Je souhaite également développer des partenariats, par exemple avec l'Agence pour les mathématiques en interaction avec les entreprises et la société (Amies), une institution qui fait vraiment le lien entre les entreprises et les mathématiciens. L'institut pourrait accueillir par exemple plus régulièrement des Semaines d'étude maths-entreprises en son sein.

### Quelle place occupent les mathématiques dans notre quotidien ?

Il y a des mathématiques dans la plupart des applications technologiques actuelles, mais elles sont cachées. Le problème est que les mathématiques sont méconnues car leur enseignement donne une impression d'immobilité et ne permet pas au public de comprendre leur ampleur. De nos jours, il n'y a pas de mathématiciens à même de maîtriser l'ensemble de cette vaste discipline. Le défi est d'arriver à faire sentir cette ampleur. ▮

## Véronique Maume-Deschamps, nouvelle directrice de l'Amies

Véronique Maume-Deschamps a été nommée en janvier 2018 à la tête de l'Agence pour les mathématiques en interaction avec l'entreprise et la société (Amies). Cette mathématicienne coordonnait depuis 2015 la cellule « relations avec les entreprises » au sein de l'Institut Camille-Jordan. Elle rejoint le labex Amies, créé en 2011 pour développer et promouvoir les interactions entre entreprises et mathématiciens. Parmi les programmes proposés par l'agence, des projets de recherches interdisciplinaires entre des entreprises et des laboratoires, ou les Semaines d'étude maths-entreprises (Seme). Durant ces dernières, des industriels viennent présenter des problèmes sur lesquels vont travailler des doctorants et post-doctorants avec l'aide de chercheurs confirmés.

## En route pour l'Académie

Le 5 décembre, l'assemblée plénière de l'Académie des sciences a élu 18 nouveaux membres, dont la plupart mènent leurs recherches dans des laboratoires liés au CNRS. Parmi eux, on trouve le climatologue **Jean Jouzel**, la mathématicienne **Alice Guionnet** et le roboticien **Jean-Paul Laumond** (ci-dessous, de gauche à droite). À noter que depuis 2003,



la moitié au moins des sièges à pourvoir est réservée à des candidats âgés de moins de 55 ans, d'où un rajeunissement sensible de l'assemblée, qui compte aujourd'hui 273 membres. Tous ces nouveaux académiciens seront reçus en séance solennelle sous la coupole de l'Institut de France le 29 mai 2018.

### DES PRIX POUR DES ÉQUIPES FRANCO-CHINOISES

Le 12 décembre 2017 s'est tenue à Paris la cérémonie de remise des Prix de l'innovation des équipes franco-chinoises, organisée par le Comité France Chine. Parmi les lauréats, **Olmix Group** a reçu le prix « produit innovant » pour son additif alimentaire naturel à base d'algues destiné à la nutrition des animaux de production. Michel Mortier, délégué général à la valorisation du CNRS, présidait le jury.

## Le CNRS en tête des « Consolidator Grants »

Le Conseil européen de la recherche (ERC) a annoncé les noms des lauréats de l'appel Consolidator Grant 2017. Avec 20 bourses, le CNRS arrive en tête des organismes européens. Au total, 329 projets ont été sélectionnés, parmi lesquels 38 sont hébergés en France, ce qui place celle-ci en 3<sup>e</sup> position derrière le Royaume-Uni et l'Allemagne. Pour rappel, les Consolidator Grants s'adressent à des chercheurs ayant entre 7 et 12 ans d'expérience après l'obtention de leur thèse et leur garantissent un financement à hauteur de deux millions d'euros pour une durée maximale de cinq ans.

## La Mission pour la place des femmes a une nouvelle directrice



Le 18 janvier 2018, **Élisabeth Kohler** a été nommée directrice de la Mission pour la place des femmes au CNRS (MPDF). Historienne de formation, elle est entrée au CNRS en 1990 où elle a d'abord exercé des fonctions dans le domaine de l'information scientifique et technique. Devenue responsable du service partenariat et valorisation de la Délégation régionale Île-de-France Sud, elle a ensuite rejoint l'Institut national des sciences de l'Univers en tant que responsable Europe et international. La

Mission pour la place des femmes au CNRS « agit comme un observatoire chargé d'impulser, de conseiller et d'évaluer la prise en compte du genre dans la politique globale de l'établissement ».

### UNE PREMIÈRE SÉLECTION POUR « MAKE OUR PLANET GREAT AGAIN »

Une première liste de 18 scientifiques, retenus dans le cadre de l'appel lancé en juin 2017 par le président de la République à la suite de la décision des États-Unis de sortir de l'accord de Paris, a été rendue publique en décembre 2017 : sept femmes et onze hommes ont été sélectionnés et viendront s'installer en France au cours des prochains mois. Originaires de six pays – les États-Unis (13 projets), le Canada, l'Espagne, l'Inde, la Pologne et l'Italie – ils bénéficieront de fonds compris entre 1 et 1,5 million d'euros pour des programmes de recherche d'au moins trois ans dans des laboratoires français. Ceux-ci portent notamment sur l'impact du changement climatique sur les ouragans, la compréhension de l'effet des nuages dans les modèles climatiques, ou encore l'impact du changement climatique sur la pollution (et réciproquement). Au total, 1822 candidatures ont été reçues pour ce programme dont le pilotage scientifique est assuré par le CNRS.

## Nominations au conseil d'administration

Fin novembre, 12 personnalités ont été nommées membres du conseil d'administration du CNRS par un arrêté de Frédérique Vidal, ministre de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation. Parmi elles, quatre ont été nommées en raison de leurs compétences scientifiques et technologiques : **Christine Musselin**, directrice scientifique de Science Po ; **Barbara Demeneix**, directrice adjointe du laboratoire Évolution des régulations endocriniennes (CNRS/MNHN) ; **Sylvie Retailleau**, présidente de l'université Paris-Sud et **Éric Karsenti**, directeur de recherche émérite à l'Institut de biologie de l'ENS, médaille d'or du CNRS en 2015.



Retrouvez la composition du CA sur  
» [www.cnrs.fr/ca](http://www.cnrs.fr/ca)

## Les lauréats de l'appel à projets CNRS-Momentum

Nouveau programme lancé en 2016 par le CNRS, Momentum s'adresse à de jeunes scientifiques ayant soutenu leur doctorat depuis moins de huit ans et leur permet de mener une recherche innovante au sein d'un laboratoire du CNRS. Avec un total de 430 dossiers éligibles, l'appel a connu un grand succès. Pour cette première vague, les 19 projets retenus couvrent 9 des 13 thématiques affichées par le programme, parmi lesquelles : la sécurité des données et transparence des algorithmes, la modélisation du vivant, ou encore les matériaux multifonctionnels.



» <http://cnrsinfo.cnrs.fr/intranet/actus/171221-momentum.html>

## L'Institut lumière matière récompensé par l'Inpi

La cérémonie des trophées Inpi, qui distinguent des entreprises et des centres de recherche innovants pour leur stratégie de propriété industrielle, a eu lieu le 6 décembre 2017. Dans la catégorie « recherche », c'est l'Institut lumière matière (ILM)<sup>1</sup> qui a remporté cette récompense pour ses travaux sur la lumière destinés à sonder et façonner la matière. Avec une moyenne de 6 dépôts de brevets par an, l'ILM a mis en place une politique forte de protection de ses innovations, aboutissant à la création de plusieurs start-up, telles NH TherAguix ou Ablatom.



► Au centre, Philippe Dugourd, directeur de l'Institut lumière matière, et Brigitte Prével, directrice adjointe, reçoivent leur trophée Inpi.

1. Unité CNRS/Université Claude-Bernard.

# GRAND FORMAT



*Voyage dans le passé – lorsque la Terre  
était une boule de neige – et dans  
le futur avec des neurones artificiels  
directement inspirés de notre cerveau.*

ILLUSTRATION : NURIA/VALERIEOUALID.COM POUR CNRS LE JOURNAL

# *Dernières nouvelles du froid*

MATIÈRE ◀ TERRE ●

Le froid n'est pas qu'une affaire de saison, c'est un sujet d'étude pour les scientifiques, et cela à toutes les échelles, du plus petit atome qu'ils refroidissent jusqu'au zéro absolu, à la dimension de la Terre, lors d'épisodes de glaciation. Panorama de ces recherches à l'occasion de l'exposition « Froid » à la Cité des sciences et de l'industrie, dont le CNRS est partenaire.

UN DOSSIER RÉALISÉ PAR YAROSLAV PIGENET,  
ANNE-SOPHIE BOUTAUD ET VAHÉ TER MINASSIAN

# Ce froid qui vient de la lumière

Refroidir des atomes peut paraître une étrange idée, à plus forte raison quand on se sert de lasers pour y arriver. C'est pourtant le meilleur moyen que la science a trouvé pour mesurer précisément le temps, valider des théories physiques fondamentales et étudier certaines propriétés exotiques de la matière.

Quelle chose bizarre que la lumière ! Capable de nous éclairer, de nous chauffer ou de transporter de l'information, elle peut aussi générer du froid. Et pas n'importe lequel : le plus glacial que l'on puisse imaginer..., jusqu'au milliardième de degré au-dessus du **zéro absolu**, soit  $-273,15\text{ °C}$  ! Le secret de cette stupéfiante réfrigération ? Partant du principe que la température d'un gaz augmente avec la vitesse d'agitation des atomes qui le composent, les physiciens ont eu l'idée de ralentir ces atomes. Comment ? En exploitant la **pression de radiation** qu'exercent sur eux des faisceaux laser. En effet, lorsque le grain de lumière que constitue un photon est absorbé (ou émis) par un atome, il lui transmet (ou lui enlève) une certaine quantité de mouvement, exactement de la même manière qu'un tir de boulet fait reculer un canon. Résultat : la vitesse de l'atome est légèrement modifiée, de quelques centimètres par seconde. Une variation de vitesse qui peut sembler négligeable si on la compare aux centaines de mètres par seconde que l'atome met pour se déplacer à température ambiante. Mais si l'on répète l'opération 30 millions de fois par seconde grâce à un laser, cette différence devient décisive !

## Le refroidissement d'atomes par laser

Cette idée a été mise en œuvre dès les années 1980 au travers des mélasses optiques, des dispositifs qui ont révolutionné plusieurs domaines de la physique moderne, de la métrologie de haute précision aux recherches sur de nouveaux états de la matière. Le principe : croiser dans une enceinte plusieurs faisceaux laser de directions opposées afin de créer une sorte de **milieu visqueux** (la fameuse mélasse) où les atomes d'un gaz vont, en quelque sorte, se retrouver « englués » par l'action des photons. De nos jours, ce type d'équipement est utilisé par des dizaines de laboratoires à travers le monde. Les mélasses optiques reposent

sur l'exploitation astucieuse de l'effet Doppler, un phénomène employé entre autres par les radars et les appareils d'échographie, selon lequel la fréquence d'une onde est perçue différemment si l'on est en mouvement par rapport à l'émetteur de cette onde (et vice versa). C'est en raison de cet effet que, par exemple, la sirène d'un camion de pompiers qui se rapproche semble passer du grave à l'aigu pour le piéton et repasser au grave lorsque le véhicule s'éloigne.

On sait qu'un atome n'absorbe la lumière qu'à certaines fréquences particulières, dites de résonance. Il se trouve que, sur un atome au repos, la pression exercée par deux lasers de directions opposées s'annule. En revanche, en réglant les lasers sur des fréquences légèrement inférieures à celle de résonance, dès que l'atome est en mouvement, par effet Doppler, la fréquence apparente du laser qui vient à sa rencontre ...

## ZÉRO ABSOLU

Cette température égale à  $-273,15\text{ °C}$  (ou 0 kelvin) est la plus basse qui puisse exister dans l'Univers. Tous les atomes et particules deviennent alors parfaitement immobiles.

## PRESSION DE RADIATION

À l'instar de la pression d'un gaz, qui résulte des chocs contre une surface des atomes (ou molécules) constituant ce gaz, la pression de radiation résulte des chocs des photons constituant un rayon de lumière.

## VISCOSITÉ

En physique, la viscosité qualifie la résistance d'un matériau à l'écoulement. Plus elle est élevée, plus l'écoulement sera lent. Le miel, par exemple, a une viscosité plus élevée que l'eau.



Éléments optiques utilisés pour mettre en forme des faisceaux laser qui permettront de refroidir des atomes de dysprosium.

... atteint la fréquence de résonance. Le laser freine alors l'atome par pression de radiation. Les physiciens réussissent ainsi, en une fraction de seconde, à ralentir des millions d'atomes jusqu'à des vitesses d'une dizaine de centimètres par seconde seulement. C'est-à-dire qu'ils parviennent à les porter à des températures de l'ordre du... dix-millionième de degrés au-dessus du zéro absolu !

#### Atomes et instruments de précision

Cette technique de refroidissement par effet Doppler – et, plus généralement, celle des mélasses optiques – a valu à Claude Cohen-Tannoudji, du laboratoire Kastler-Brossel (LKB)<sup>1</sup>, et à ses collègues américains Steven Chu et William Daniel Phillips, le prix Nobel de physique en 1997. Elle a aussi été à l'origine d'une nouvelle génération d'instruments de mesure tels que les accéléromètres, les gyromètres... et surtout les horloges atomiques (*lire l'encadré ci-contre*).

Or, il s'avère que les performances des horloges atomiques dépendent directement de la vitesse des atomes, donc de leur température. « *De fait*, explique Noël Dimarcq, directeur de recherche CNRS au labora-

toire Syrte<sup>2</sup>, *plus les atomes sont rapides, moins les physiciens disposent de temps pour comparer, avec précision, la fréquence de l'oscillateur à celle de l'atome et plus l'effet Doppler décalant les fréquences est important, ce qui a, in fine, une incidence sur la qualité de la mesure* ». D'où la conception à la fin des années 1980 dans des laboratoires comme le Syrte et le LKB, en France, d'un nouveau type d'horloge : les fontaines atomiques. Dans ce dispositif, des atomes de césium sont refroidis dans une mélasse optique, puis lancés vers le haut avant de retomber sous l'effet de la gravité au terme d'une ascension d'environ un mètre. En les sondant au moment de leur montée et de

leur descente et en répétant l'opération un grand nombre de fois, les physiciens obtiennent avec cette méthode une définition de la seconde d'une précision de seize chiffres ; soit une exactitude cent fois meilleure que celle obtenue avec des horloges classiques ! Autre avantage : leur stabilité. En effet, les fontaines

## Du froid pour mesurer le temps

Chaque mois, 400 horloges, réparties à travers le monde, participent à l'établissement du temps atomique international (TAI) et du temps universel coordonné (UTC) sur lequel repose l'heure

légal française. De l'exactitude de ces appareils découle une mesure précise non seulement de la seconde, mais aussi de nombreuses autres unités du Système international (SI), en particulier le mètre. Quant à leurs utilisations directes, elles sont hautement stratégiques, allant du positionnement par satellite, comme le GPS ou Galileo, à l'astronomie.

Inventé il y a plus d'un demi-siècle, le procédé

par lequel ces machines comptent les secondes repose sur le fait que l'atome a la propriété d'absorber la lumière puis de la réémettre à des fréquences particulières qui dépendent de la nature de ce même atome. Le principe d'une horloge atomique consiste à ajuster la fréquence d'un oscillateur à celle fournie par un de ces atomes. Pour cela, les physiciens emploient le plus souvent le césium. La raison de ce choix ? Ils veulent que leur horloge égrène des secondes ! Or, selon les conventions internationales en vigueur depuis 1967, la seconde correspond très exactement au temps que met le césium pour effectuer 9 192 631 770 oscillations.



▶ Voir le film « Les nouveaux maîtres du temps » sur [lejournal.cnrs.fr](http://lejournal.cnrs.fr)



© OBSERVATOIRE DE PARIS/SYRTE

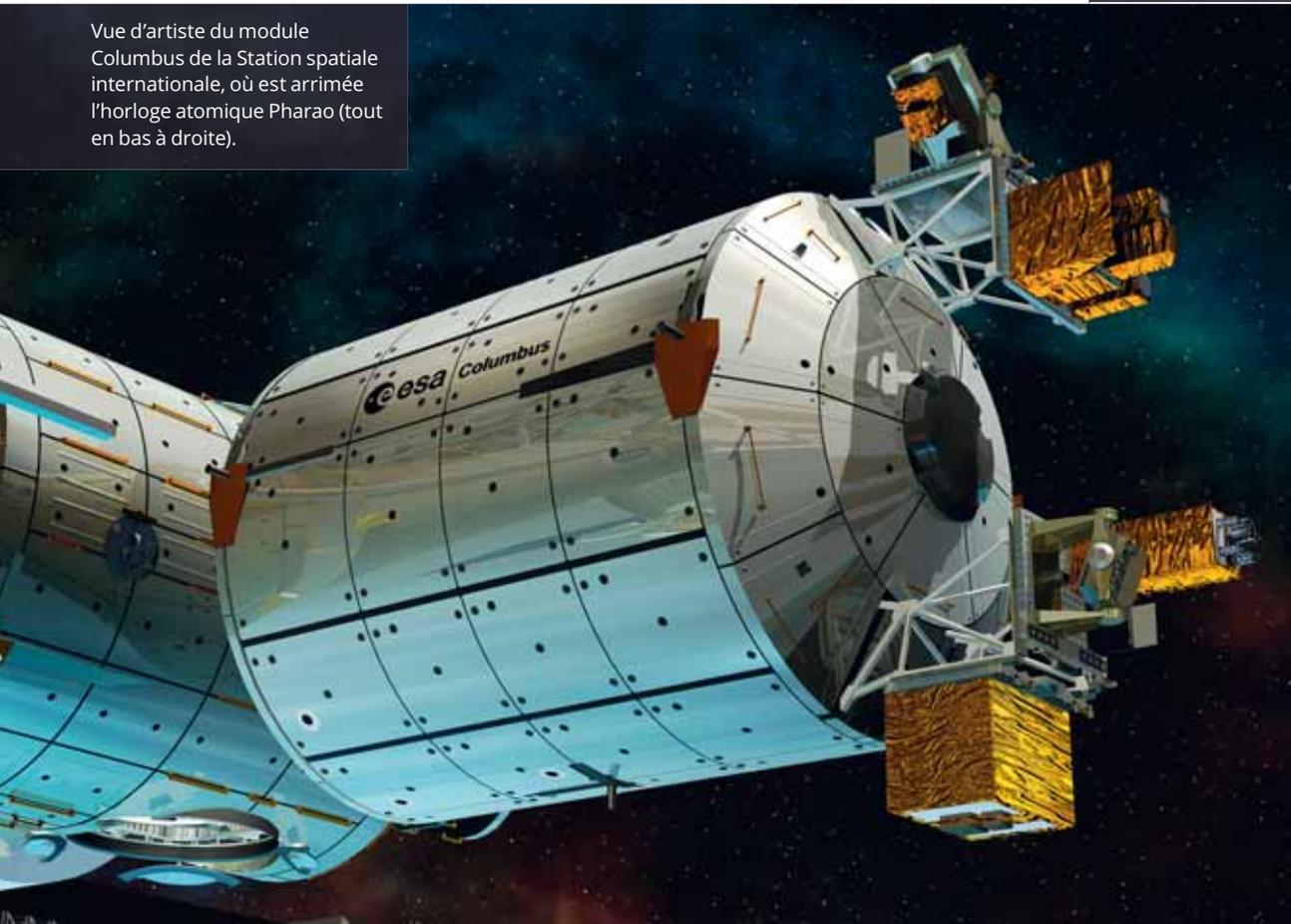
Dernière génération d'horloge atomique, au strontium.

atomiques ne dérivent que d'une seconde tous les... 300 millions d'années !

Ces performances – quoiqu'elles aient déjà été dépassées par l'arrivée des horloges optiques utilisant des fréquences atomiques 50 000 fois plus élevées que celles du césium – ne sont pas uniquement exploitées pour la seule mesure du temps. Des systèmes tels que le GPS – dont le temps de référence est synchronisé à l'aide de fontaines atomiques – en bénéficient aussi. On les utilise aussi en recherche fondamentale pour vérifier certaines

En une fraction de seconde, on ralentit les atomes jusqu'à des vitesses d'une dizaine de centimètres par seconde.

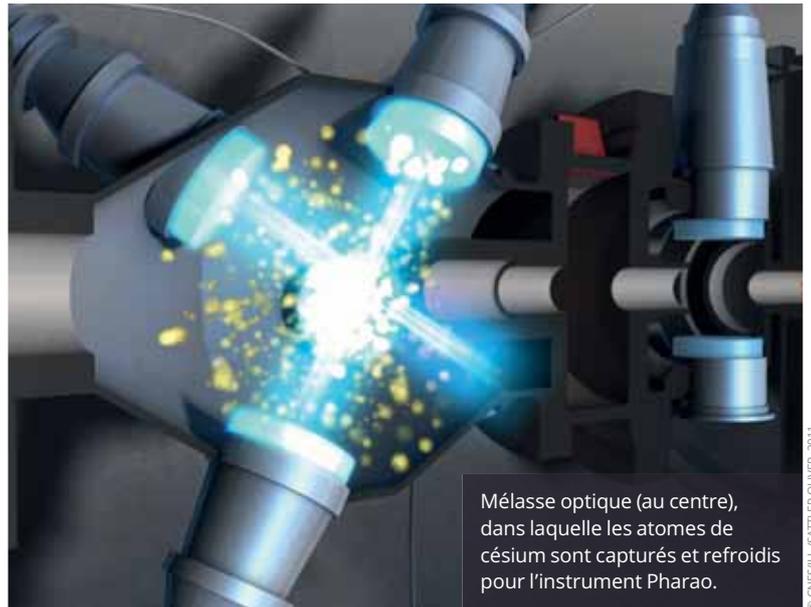
Vue d'artiste du module Columbus de la Station spatiale internationale, où est arrimée l'horloge atomique Pharaon (tout en bas à droite).



théories physiques comme la relativité. Actuellement en préparation, la mission ACES de l'Agence spatiale européenne va, par exemple, consister à installer dans les prochaines années à bord de la Station spatiale internationale, l'horloge Pharaon à atomes de césium refroidis par laser. Celle-ci est développée par le Centre national d'études spatiales avec le concours de plusieurs laboratoires et industriels français<sup>3</sup>. En comparant les mesures de cet instrument à celles d'équipements semblables restés sur Terre, les physiciens vont pouvoir tester le principe de la relativité générale d'Einstein à des niveaux inédits de précision.

### Vers des états exotiques de la matière

Le refroidissement d'atomes par laser a toutefois des limites. En effet, les physiciens ont constaté qu'au-delà d'un certain niveau d'abaissement de la température, les atomes confinés dans les mélasses optiques les plus denses cessent de ralentir et finissent par s'assembler et former des molécules. Cela a conduit à imaginer une technique complémentaire tirant parti d'une autre propriété de la lumière, qui « attire » les atomes dans les endroits où elle est la plus intense, jusqu'à les y confiner. Le procédé consiste donc à utiliser une mélasse optique pour « remplir » une de ces zones de forte irradiation ; puis à abaisser peu à peu l'intensité de cette lumière, de façon à évacuer du mélange les atomes véloces pour ne conserver que les plus lents. Ce refroidissement par évaporation aboutit alors à des résultats spectaculaires. Il permet en



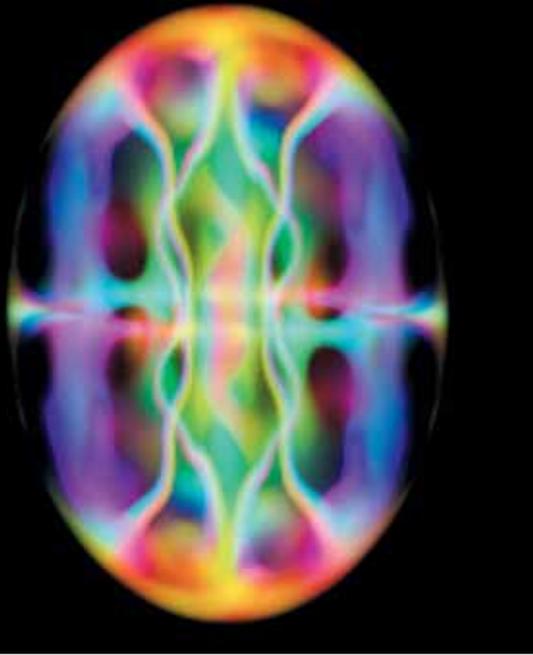
Mélasse optique (au centre), dans laquelle les atomes de césium sont capturés et refroidis pour l'instrument Pharaon.

particulier de porter la température d'un nuage d'atomes à des valeurs de l'ordre du nano-kelvin, soit un milliardième de degré au-dessus du zéro absolu !

Des niveaux si bas qu'ils frôlent l'immobilité la plus totale, un monde où la matière change complètement de comportement pour acquérir des propriétés franchement exotiques. Certains gaz deviennent ainsi superfluides, acquérant l'étonnante capacité de s'écouler ...

1. Unité CNRS/ENS/UPMC/Collège de France. 2. Systèmes de référence temps-espace (CNRS/Observatoire de Paris/UPMC/LNE). 3. En particulier, les laboratoires LKB et Syrte et l'industriel Sodern.

Simulation informatique d'un condensat de Bose-Einstein, obtenu en confinant et en refroidissant des atomes jusqu'à une température proche du zéro absolu.



© NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY/SCIENCE PHOTO LIBRARY/COSMOS

... sans plus aucune viscosité. « En particulier, indique Jean Dalibard, professeur au Collège de France, il devient possible de créer à partir de bosons (en l'occurrence, des atomes dont le noyau contient un nombre pair de neutrons), des condensats de Bose-Einstein gazeux, un état de la matière dont l'existence fut prédite dans les années 1920. » Dans ces milieux, des millions d'atomes

placés dans un même état d'énergie et devenus indiscernables les uns des autres se mettent à marcher au pas à la manière de petits soldats, et se comportent comme les photons dans les lasers. Leur mise en évidence a permis aux Américains Eric Cornell et Carl Wieman et à l'Allemand Wolfgang Ketterle d'obtenir le prix Nobel de physique en 2001. « Cette matière quantique peut être ensuite placée dans des « boîtes » formées par de la lumière et il est alors possible d'étudier son transport d'une boîte à l'autre, en analogie avec le transport des charges dans un circuit électronique », explique le chercheur. Du fait de leurs dimensions caractéristiques, ces condensats de Bose-Einstein (et leur équivalent, les gaz de Fermi, obtenus non plus avec des bosons mais des fermions, atomes à nombre impairs de neutrons) pourraient permettre des avancées bien au-delà des accéléromètres, gyromètres et horloges atomiques. « Les physiciens cherchent notamment, assure Jean Dalibard, à les utiliser comme des simulateurs quantiques, à même de les aider à résoudre des problèmes d'une haute complexité dans des domaines aussi ardues que la physique hors équilibre, la matière topologique ou encore la supraconductivité à haute température. » De quoi fortement échauffer les esprits des scientifiques... || V. T. M.

## Supraconductivité: et pour quelques degrés de plus...

La supraconductivité a été découverte en 1911 par le physicien hollandais Heike Kamerlingh Onnes : ce dernier a constaté que quand le mercure était refroidi en dessous de  $-269^{\circ}\text{C}$  (4,2 kelvins) il conduisait le courant électrique sans aucune résistance – et donc sans aucune déperdition de l'énergie électrique sous forme de chaleur. On s'est aperçu ensuite que la plupart des métaux deviennent supraconducteurs à condition d'être refroidis à des températures voisines du zéro absolu, que l'on

obtient généralement en les plongeant dans de l'hélium liquide. Plus récemment, on a découvert que certains alliages spéciaux, tels les cuprates et les pnictures, pouvaient devenir supraconducteurs à environ 80 kelvins, une température que l'on peut obtenir grâce à de l'azote liquide, beaucoup plus accessible que l'hélium liquide. Depuis, les chercheurs tentent de comprendre d'où vient cette supraconductivité, dite à haute température, pour pouvoir l'améliorer et, pourquoi pas, trouver des

supraconducteurs à température ambiante, qui ne nécessiteraient donc plus aucune réfrigération. Utilisée en recherche fondamentale pour des accélérateurs de particules comme le LHC, la supraconductivité pourrait déboucher sur de nouvelles applications en imagerie médicale, pour la lévitation électromagnétique et le stockage d'électricité.



Lire notre article « Supraconductivité, une révolution qui venait du froid » sur [lejournal.cnrs.fr](http://lejournal.cnrs.fr)

Lévitation d'un aimant placé au-dessus d'une pastille de supraconducteur cuprate.



© J. BOBROFF/CNRS PHOTO THÈQUE

Vue d'artiste de la « Terre boule de neige » il y a 720 millions d'années.

On est désormais presque certains qu'à trois reprises au moins, notre planète s'est entièrement recouverte de glace. Le climatologue Gilles Ramstein nous explique comment elle en est arrivée là, et surtout comment elle a pu en sortir.

# Quand la Terre était une boule de neige

Notre planète n'a pas toujours été bleue et hospitalière ; elle a même connu, à plusieurs reprises, des périodes suffisamment froides pour que sa surface se couvre intégralement de glace. Longtemps contestés, ces épisodes dits de « Terre boule de neige » (*Snowball Earth*) sont aujourd'hui attestés par de nombreuses traces géologiques et géochimiques. Le climatologue Gilles Ramstein enquête<sup>1</sup> depuis les années 2000 sur ces épisodes où la Terre vue de l'espace ressemblait à Europe ou Encelade, deux lunes glacées. Retour sur les coups de froid qui ont frappé notre planète.

**La Terre est située dans la zone habitable de son étoile, ce qui a priori indique que l'eau peut s'y maintenir à l'état liquide. Comment, dans ce cas, a-t-elle pu s'englacer totalement ?**

**Gilles Ramstein :** Les choses ne sont pas si simples ! Il y a 4,56 milliards d'années, quand la Terre s'est formée, l'énergie irradiée par le Soleil était 30 % moins importante qu'aujourd'hui. Depuis, sa puissance augmente de 7 % par milliard d'années. Le paradoxe est qu'en dépit d'une irradiation moindre, la Terre était alors bien plus

chaude qu'actuellement. Ce phénomène s'explique par le fait que le climat d'une planète dépend de son bilan radiatif : la différence entre l'énergie reçue du Soleil et celle renvoyée vers l'espace par les continents, les océans et l'atmosphère. Sur Terre, dès l'origine, l'atmosphère a joué le rôle d'une couverture chauffante. En particulier, le dioxyde de carbone et le méthane, qui sont deux puissants gaz à effet de serre et peuvent beaucoup varier dans l'atmosphère, ont été à la base de la régulation des températures de surface. Le climat résulte ainsi de l'équilibre entre des sources qui émettent des gaz à effet de serre et des puits qui les soustraient de l'atmosphère. Sur notre planète, le CO<sub>2</sub> a pour principale source naturelle le volcanisme, tandis que son puits principal repose sur l'érosion des roches continentales silicatées sous l'effet du ruissellement des eaux. En réagissant avec la roche, le CO<sub>2</sub> est soustrait à l'atmosphère et fixé sous forme de carbonates qui vont s'accumuler comme sédiments sous-marins. Il y a plus de 3 milliards d'années, le volcanisme était déjà actif, mais les surfaces continentales étaient ...

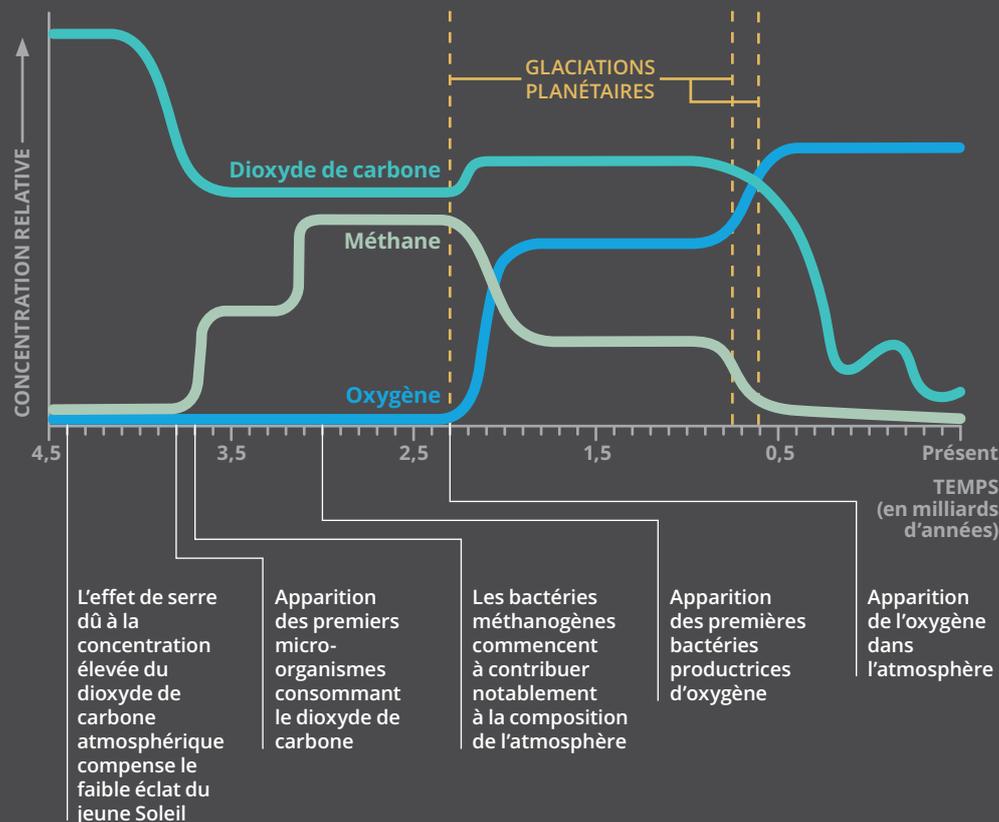


**Gilles Ramstein**  
climatologue, directeur de recherche CEA au Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement<sup>2</sup>.

1. Il est l'un des auteurs de l'étude publiée en ligne le 8 novembre 2017 dans *Science Advances*, « Snowball Earth climate dynamics and Cryogenian geology-geobiology ». 2. Unité CNRS/CEA/Université Versailles Saint-Quentin.

## Trois gaz pour façonner le climat terrestre

À l'origine, l'atmosphère terrestre était principalement composée de CO<sub>2</sub> dont la concentration va commencer à baisser en raison de l'érosion liée à l'apparition des premiers continents. La diminution de ce gaz à effet de serre est d'abord compensée par l'accumulation du méthane produit par les bactéries méthanogènes. Toutefois, l'apparition de bactéries productrices d'oxygène (toxique pour les autres espèces) va, en exterminant les méthanogènes, entraîner un effondrement de la concentration en méthane atmosphérique qui conduira à la première glaciation globale.



... encore très réduites et l'érosion demeurait négligeable : la concentration atmosphérique en CO<sub>2</sub> était donc très élevée. De surcroît, il y a 3,5 milliards d'années sont apparues les archées méthanogènes – des micro-organismes unicellulaires dont le métabolisme produit du méthane et dont l'effet de serre est trente fois plus puissant que celui du CO<sub>2</sub>. L'accumulation de ces deux gaz – dioxyde de carbone et méthane – dans l'atmosphère terrestre primitive explique pourquoi notre planète était si chaude dans sa jeunesse.

### Mais que s'est-il passé pour que cela aboutisse à une glaciation ?

**Gilles Ramstein** : Cette catastrophe climatique découle d'une révolution biologique ! Il faut savoir que durant ses deux premiers milliards d'années d'existence, notre planète est restée anoxique : le gaz oxygène n'y est présent qu'à l'état de traces et constitue un poison violent pour les formes de vie anaérobies qui prospéraient à l'époque, notamment les archées méthanogènes. Or il y a 2,4 milliards d'années, on observe une augmentation globale de la concentration d'oxygène : c'est ce qu'on appelle le « grand événement d'oxydation » (GEO). Ce phénomène est probablement la conséquence de l'apparition des cyanobactéries, des micro-organismes dotés d'un nouveau métabolisme, la photosynthèse, dont l'oxygène constitue un déchet. En s'accumulant, il va éradiquer la plupart des archées méthanogènes qui peuplaient l'océan primitif, mettant à l'arrêt la production de méthane. De plus, le méthane présent dans l'atmosphère

va réagir avec l'oxygène et se transformer en CO<sub>2</sub>, dont l'effet de serre est bien moins puissant. S'ensuit un fort refroidissement, amplifié lui-même par l'augmentation de l'albédo – la capacité de la surface terrestre à réfléchir les rayons solaires vers l'espace – due à l'apparition de glace. Le phénomène s'emballe alors jusqu'à l'englacement presque total de la Terre. Cet épisode, qui dure près de 300 millions d'années, est appelé glaciation huronienne.

### La glaciation huronienne est-elle le seul épisode de « Terre boule de neige » qu'ait connu notre planète ?

**Gilles Ramstein** : Non, au cours du dernier milliard d'années, la Terre va connaître deux autres épisodes de glaciation globale : la glaciation sturtienne, qui s'enclenche il y a 720 millions d'années, et, après un bref épisode interglaciaire, la glaciation marinoenne qui s'achève il y a 635 millions d'années (voir l'infographie page 22). Pourtant, il y a 700 millions d'années, le Soleil est à 94 % de sa puissance actuelle, on aurait donc dû être tiré d'affaire ! En fait, cette fois-ci, c'est le moteur à CO<sub>2</sub> qui va lâcher. Il y a 800 millions d'années, le supercontinent Rodinia – qui s'était constitué 500 millions d'années plus tôt – commence à se disloquer le long de la bande tropicale (voir la carte page 22). Ces mouvements tectoniques s'accompagnent de gigantesques éruptions volcaniques qui vont recouvrir de basaltes d'immenses régions. Cet événement majeur s'accompagne de l'ouverture d'océans et de bras de mer, engendrant de nouvelles sources d'humidité à proximité des

## Sur Terre, dès l'origine, l'atmosphère a joué le rôle d'une couverture chauffante.

continents. Ceci va entraîner une augmentation des précipitations et du ruissellement sur les continents et donc un accroissement de l'érosion des roches continentales. Les roches basaltiques récemment formées s'altérant six à huit fois plus vite que le granit, une grande partie du CO<sub>2</sub> atmosphérique disparaît dans ce puits ! Il y a 750 millions d'années, la concentration atmosphérique de gaz à effet de serre baisse à tel point que la Terre perd environ 50 °C de température moyenne. Les calottes polaires atteignent alors l'équateur.

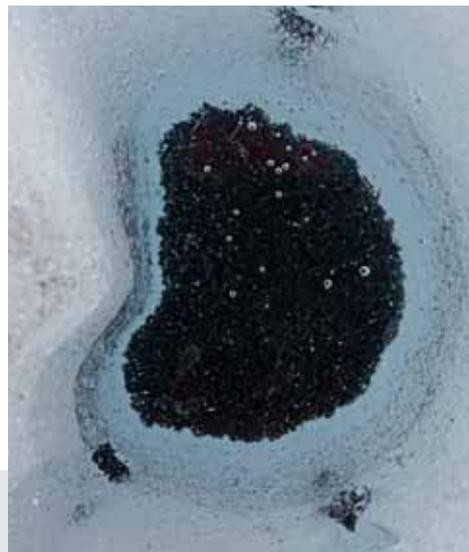
### Ces phénomènes d'englacement global s'auto-amplifiant, comment la Terre a-t-elle pu s'extraire de ces épisodes « boule de neige » ?

**Gilles Ramstein :** Les épisodes de Terre boule de neige sont des déséquilibres majeurs et finalement très instables. Leur existence a été postulée dès les années 1960 par le géologue anglais Walter Brian Harland : celui-ci remarque des traces de glaciation sur des roches qui, il y a 700 millions d'années, étaient localisées dans les régions tropicales et équatoriales. Ces régions étant par définition les plus chaudes de la planète, cela

impliquait que la Terre entière avait été recouverte par les glaces. À l'époque, on ne le croit pas. En effet, l'albédo d'une Terre englacée est si important qu'on estime alors que pour sortir d'une glaciation globale, il aurait fallu un Soleil 1,5 fois plus puissant. Dans les années 1990, on comprend que ce n'est pas par le Soleil qu'on s'extrait d'une Terre gelée mais par le CO<sub>2</sub>. Que se passe-t-il ? La Terre, même couverte de glace, maintient une forte activité volcanique ; ainsi, pendant des millions d'années, le CO<sub>2</sub> issu du volcanisme s'accumule dans l'atmosphère. Ceci va à la longue générer un super-effet de serre capable de surpasser l'albédo des glaces et de la neige et entraîner une brusque débâcle.

### Et la vie dans tout ça ? Comment a-t-elle pu se maintenir lors d'épisodes si extrêmes ?

**Gilles Ramstein :** Dans l'hypothèse d'une Terre totalement glacée, la vie qui s'était maintenue dans les océans aurait dû être asphyxiée... Nous avons pu montrer, au ...



Ces trous de cryoconite photographiés sur un glacier du Groenland actuel sont similaires à ceux dans lesquels la vie s'est réfugiée lors des glaciations passées.

## Comment la vie a-t-elle subsisté face à la glaciation ?

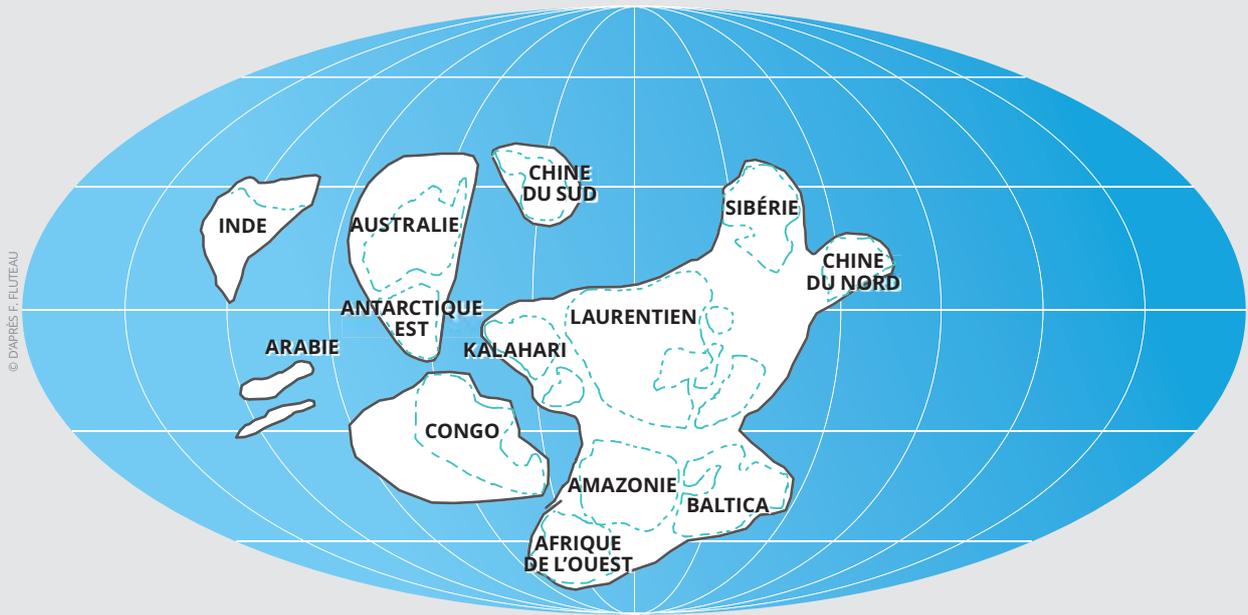
L'hypothèse d'une « Terre boule de neige » a longtemps été rejetée, d'abord parce qu'on ne disposait d'aucun mécanisme expliquant comment la planète avait pu sortir d'un englacement global, mais aussi parce qu'il était difficile d'éclaircir la façon dont les formes de vie exploitant la

photosynthèse avaient pu s'y maintenir pendant des millions d'années sous une épaisse couche de glace les privant de lumière. La solution à cette énigme est venue de l'observation, à la surface des glaces éternelles actuelles, de trous remplis d'eau liquide, de poussières et de colonies microbiennes appelés trous

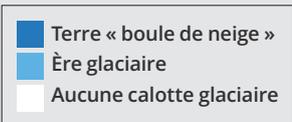
de cryoconite. Les chercheurs pensent que ce sont ces trous de cryoconites, qui devaient être nombreux dans les régions équatoriales de la « Terre boule de neige », qui ont pu servir de refuge à la vie durant toute la durée des glaciations sturtiennes et marinoennes (voir l'infographie page 22).

## La Terre lors de la glaciation sturtienne

Il y a 720 millions d'années, le supercontinent Rodinia a entamé sa dislocation, en partie responsable de la glaciation globale qui va suivre (sturtienne). Les pointillés délimitent (très) approximativement les plaques qui aboutiront aux continents actuels.

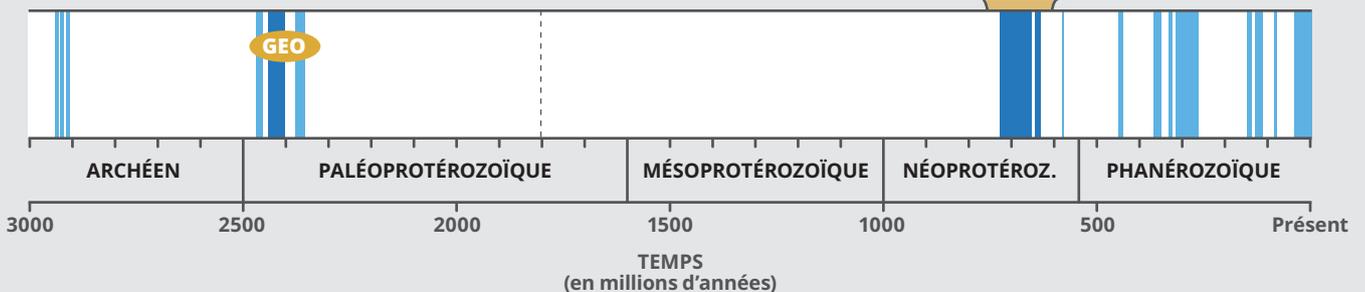
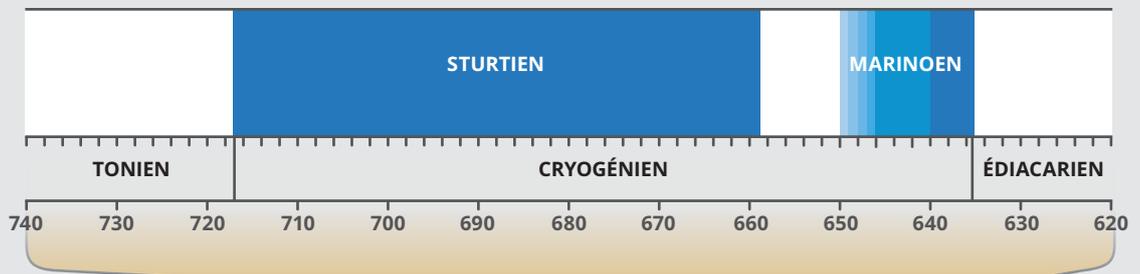


## Les glaciations sur Terre depuis 3 milliards d'années



En paléoclimatologie, une ère glaciaire correspond à une période où se maintiennent une ou plusieurs calottes glaciaires permanentes. Ainsi, même si nous vivons depuis 10 000 ans dans un épisode de réchauffement relatif, la planète traverse depuis 2,6 millions d'années une ère glaciaire caractérisée par la subsistance de deux calottes polaires. Toutefois, comme on le voit dans cette frise chronologique, la présence de glaces permanentes (périodes en bleu

clair), même limitée aux pôles, a plutôt constitué une exception dans l'histoire de la Terre. Quant aux épisodes « Terre boule de neige » (en bleu foncé), caractérisés par une extension des calottes jusqu'aux zones équatoriales, les chercheurs n'en dénombrent que trois : la première il y a 2,4 milliards d'année, juste après le Grand événement d'oxydation (GEO), les deux autres plus d'un milliard et demi d'années plus tard, juste avant l'apparition des premiers animaux.





Retrouvez tous nos articles, vidéos et diaporamas sur le froid sur [lejournel.cnrs.fr](http://lejournel.cnrs.fr)

... Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement, que la Terre n'était pas totalement recouverte de glace, grâce notamment aux sources chaudes, aux volcans. La vie a pu se réfugier dans des cryoconites, sortes de marmites qui forment des trous dans la glace. Ce qui était suffisant pour permettre des échanges entre l'atmosphère et les océans et une continuité de la vie jusqu'à la déglaciation. La Terre a connu de grandes extinctions mais elle est demeurée extrêmement favorable à la vie depuis 4 milliards d'années. Au final, l'histoire de notre planète montre une remarquable stabilité du climat. Les épisodes de glaciation globale n'en représentent qu'une toute petite partie. Toutefois, le contexte climatique ne sera pas toujours favorable à la vie : le Soleil chauffant de plus en plus, il va évoluer en géante rouge. Les derniers milliards d'années de l'histoire de la Terre seront peut-être sans vie, parce qu'elle n'aura pas su s'adapter à l'absence d'eau et de photosynthèse – à l'image de Vénus. La vie aura accompagné la Terre pendant très longtemps. Et c'est une bonne nouvelle pour ceux qui cherchent de la vie ailleurs. Dans le système solaire, on explore aujourd'hui Europe, Encelade. Des satellites gelés qui nous renvoient, finalement, au propre passé de notre planète... **II PROPOS RECUEILLIS PAR A.-S. B.**



## Le froid s'expose à la Cité

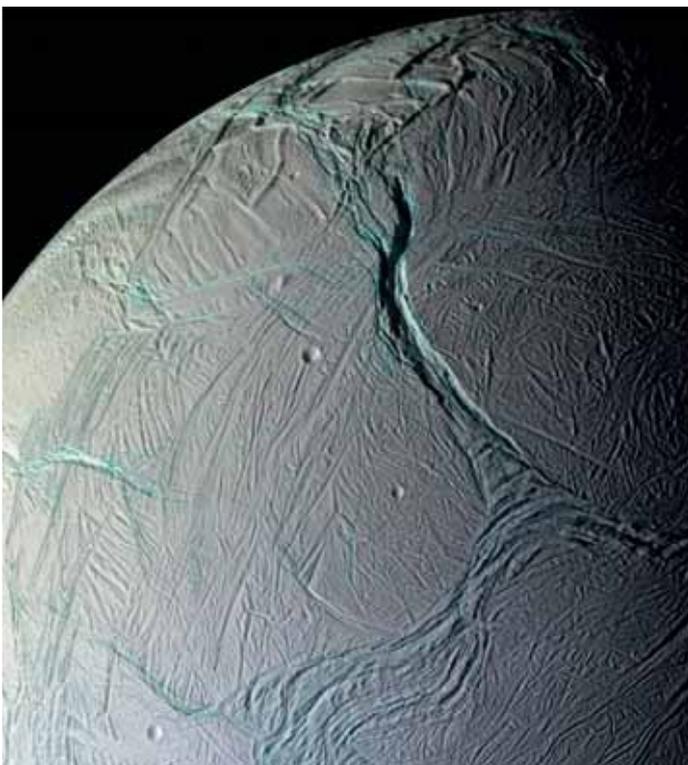
C'est une véritable plongée dans l'univers du froid que la Cité des sciences et de l'industrie propose à travers l'exposition « Froid », dont le CNRS est partenaire. Après une entrée en matière dédiée aux notions fondamentales sur ce sujet, le parcours permet de saisir l'importance du froid dans notre quotidien – notamment pour l'alimentation – ainsi que la diversité des questions qu'il soulève pour les scientifiques. Comment réagissent les organismes exposés à de faibles températures ? Que peut-on guérir grâce à la cryothérapie ou la cryochirurgie ? Comment fabriquer du froid ? De quelle manière se comporte la matière près du zéro absolu ? Le visiteur trouvera des réponses à plusieurs de ces questions dans un décor inspiré d'un laboratoire de basses températures.



© N. KRIEZ/EPPDCSI



Jusqu'au 26 août 2018  
[www.cite-sciences.fr](http://www.cite-sciences.fr)



© NASA/JPL/SPACE SCIENCE INSTITUTE

Durant la glaciation sturtienne, la Terre vue de l'espace devait ressembler à ce cliché d'Encelade, la lune glacée de Saturne.

# Un manège pour la science

1

MATIÈRE

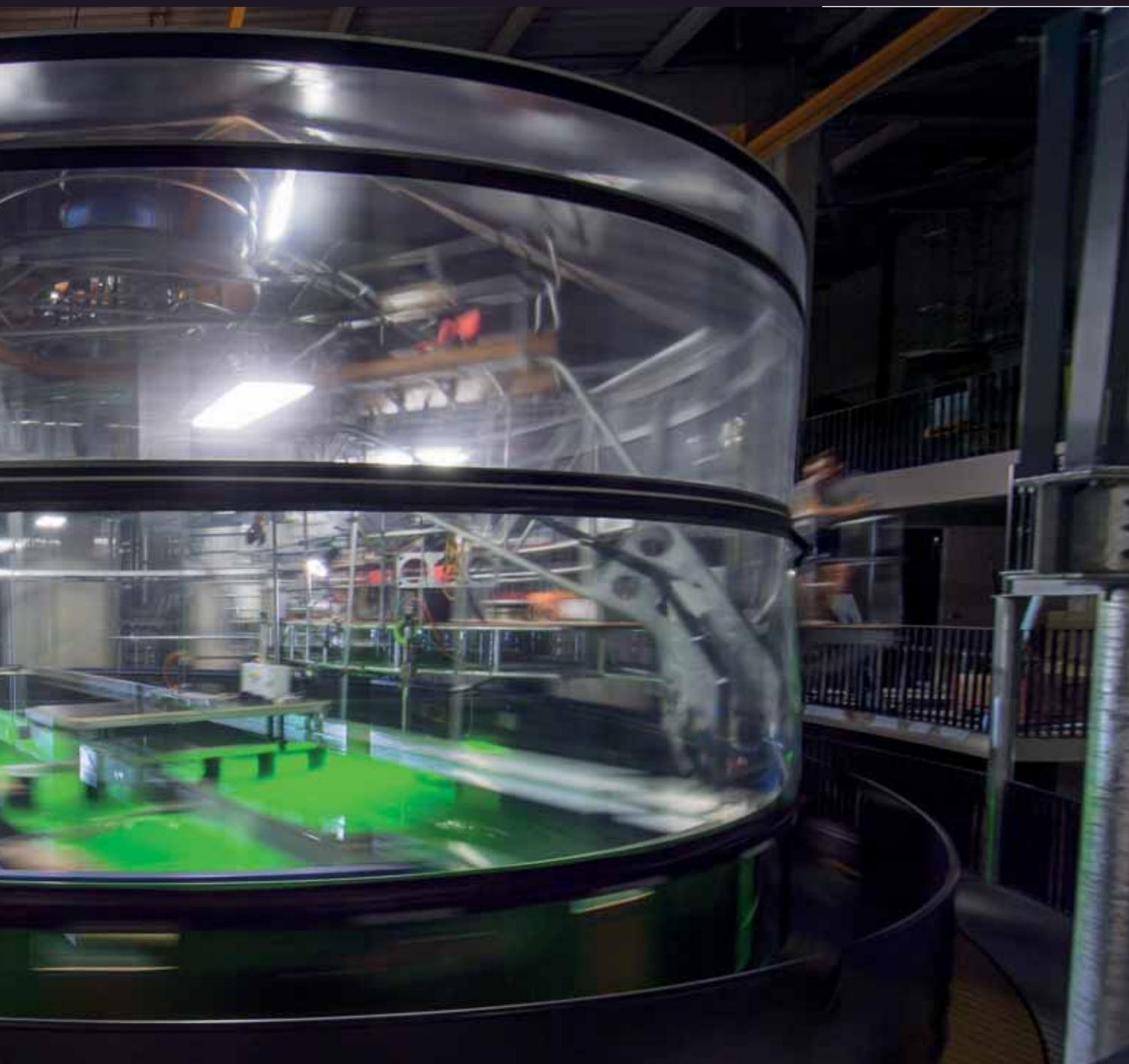
TERRE

**Mécanique des fluides.** La plateforme tournante Coriolis est un outil de recherche unique au monde dédié à la mécanique des fluides. Installée au Laboratoire des écoulements géophysiques et industriels<sup>1</sup> à Grenoble en 1960, elle y a été reconstruite en 2014 avec des performances améliorées. Elle permet aux scientifiques du monde entier d'étudier les effets de la force de Coriolis – une force physique induite par la rotation de la Terre – sur les turbulences atmosphériques et océaniques.

TEXTE MARIE MABROUK ET CHRISTELLE MERCIER

PHOTOS C. FRÉSILLON/LEGI/CNRS PHOTOTHÈQUE ; MÉTÉO FRANCE

1. CNRS/Université Grenoble-Alpes/Institut polytechnique de Grenoble.

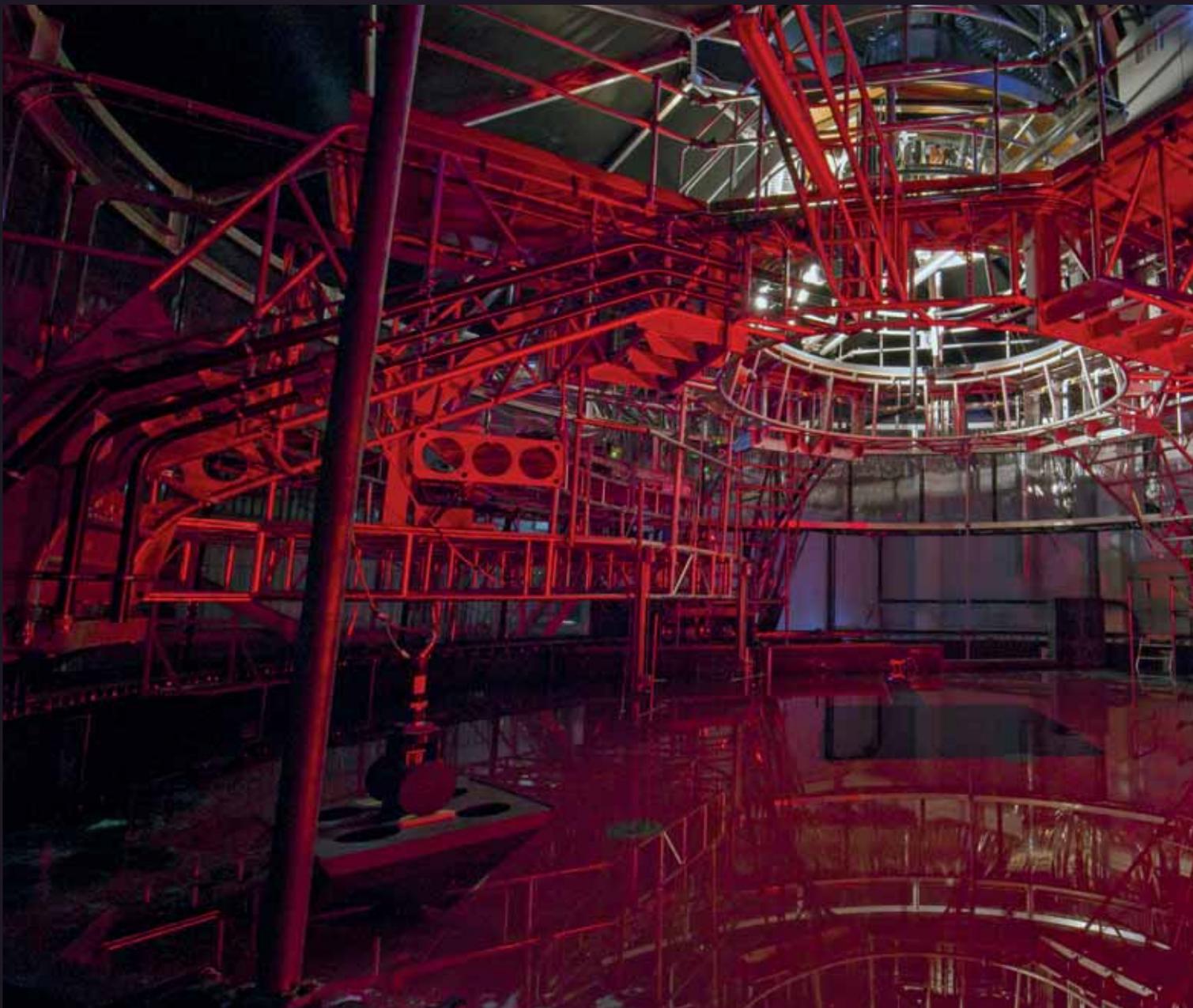


© C. FRESILLON/LEGE/CNRS PHOTO THÈQUE

1. Cette machine tournante de grande dimension permet de mener des expériences en recréant les conditions mécaniques de la rotation terrestre. Sa cuve de 13 mètres de diamètre peut contenir 130 tonnes d'eau. La hauteur totale de l'instrument est de 12 mètres.

2. Ce dispositif de grande échelle peut accueillir les scientifiques au sein même de la plateforme en rotation. Les expériences sont pilotées en direct depuis le poste de suivi, sur le portique d'instrumentation. Surplombant la cuve, le portique supporte également les équipements nécessaires : lasers, profilers, caméras...

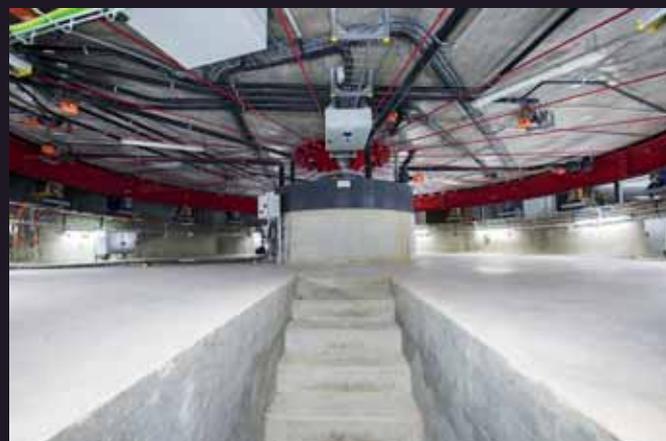
2



3. Dans la cuve, cet ingénieur est en train de régler un générateur qui permet de former des vagues de tailles et de formes différentes. Le but de cette expérience est de voir comment ces vagues se propagent et interagissent dans le bassin, comme elles le font à la surface des océans.



3



4

© PHOTOS : C. FRESILLON/LEGIC/ONIS PHOTO THÈQUE

4. La plateforme vue du dessous. La dalle de béton de 220 tonnes supportant la cuve d'eau repose sur un pivot central et un rail circulaire. Tout autour de la cuve, une série de galets jaunes porteurs et de galets bleus moteurs permettent de faire tourner le rail et d'entraîner la plateforme, reproduisant ainsi la force de Coriolis.



5



6

5. Un scientifique ajoute des particules dans l'eau pour visualiser les tourbillons qui se forment. Cette expérience, qui se tient dans le cadre du projet européen Milestone EUHIT (associant le CNRS et l'université de Stockholm), vise à étudier la turbulence dans des milieux comme l'océan ou l'atmosphère, constitués de plusieurs couches de densités différentes.

6. Des cylindres se déplacent horizontalement et mettent l'eau en mouvement, comme une cuillère. Une caméra enregistre le déplacement des particules éclairées par un laser. Leur trajectoire et la structure de leur écoulement sont ensuite mesurées afin de mieux comprendre les phénomènes météorologiques et climatiques.



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

7. À plus petite échelle, les scientifiques utilisent une plateforme pédagogique de 40 centimètres pour expliquer le principe de la force de Coriolis aux visiteurs. Grâce à un fluide et à un colorant, elle permet de visualiser l'effet Coriolis : tout objet en mouvement à la surface de la Terre est dévié de sa trajectoire en raison de la rotation terrestre. Comme ici, ce typhon dans l'hémisphère Nord (océan Pacifique), dont la trajectoire est déviée vers la gauche (nord géographique à droite).



© MÉTÉO FRANCE

© PHOTOS : C. FRESILLON/LEGI/CNRS PHOTOTHÈQUE

# Quels neurones pour l'intelligence artificielle ?

NUMÉRIQUE ■

Depuis les années 1950, les chercheurs veulent s'inspirer des neurones du cerveau humain pour créer des machines intelligentes. Grâce à des neurones virtuels – des fonctions mathématiques –, l'intelligence artificielle connaît aujourd'hui des succès spectaculaires. Mais pour la prochaine révolution, d'autres types de neurones – des composants électroniques cette fois – poussent l'imitation beaucoup plus loin...

PAR CHARLINE ZEITOUN, YAROSLAV PIGENET ET HUGO LEROUX

En moins d'une décennie, les ordinateurs, qui s'étaient jusque-là contents de se substituer à nos matériels de bureau, dispositifs de communication, outils graphiques, lecteurs-éditeurs de médias et appareils de loisirs, se sont mis à disputer au cerveau humain la capacité de battre des champions de poker, traduire correctement des textes, reconnaître des visages, conduire des voitures, tenir une conversation (presque) sensée, voire anticiper nos désirs. Des progrès

réels et fulgurants qui pourraient annoncer l'âge d'or maintes fois reporté de l'intelligence artificielle (IA), une discipline dont les déceptions semblaient à la mesure des espoirs suscités. Les Gafam<sup>1</sup>, dont la valorisation est intimement liée à ces progrès, investissent aujourd'hui massivement dans les laboratoires d'intelligence artificielle. Ils nous promettent pour bientôt des machines non seulement capables de trier, d'analyser et d'interpréter, mieux que nous le pouvons, les masses de données que nous produisons en

continu, mais aussi de nous aider à prendre nos décisions quand il s'agit de choisir un partenaire ou une musique, voire d'agir pour nous comme robots ou véhicules autonomes.

## Des problématiques anciennes

Mais d'où vient au juste cette brusque, soudaine et parfois inquiétante bouffée d'intelligence des machines ? « *Les problématiques pratiques de l'IA actuelle sont les mêmes que celles définies il y a soixante ans : il s'agit de simuler, d'articuler des tâches d'apprentissage, de perception-*

*“Les algorithmes sur lesquels les progrès récents s’appuient sont développés depuis une trentaine d’années.”*

of Technology (MIT), et Nathaniel Rochester, créateur de l’IBM 701 – le premier ordinateur commercial généraliste –, utilisaient pour la première fois les termes « intelligence artificielle » dans un appel à la communauté scientifique. Les principaux objectifs pratiques de l’IA étaient posés : robots autonomes, compréhension et traduction de l’écrit et de la parole, vision artificielle, aide à la décision et résolution de problèmes mathématiques.

#### **Du symbolique au numérique**

Dans les premiers temps, partant du constat que l’ordinateur est avant tout un système de manipulation de symboles, les chercheurs tentent de modéliser et d’émuler l’intelligence à ...

classification, de raisonnement, de décision et finalement d’action, tempère Sébastien Konieczny, chercheur au Centre de recherche en informatique de Lens<sup>2</sup>. C’est essentiellement à l’essor récent des méthodes d’apprentissage et de classification associées au deep learning (apprentissage profond, NRLR) que l’on doit la plupart des résultats actuels. Il y a eu une rupture technique, dont les résultats sont incontestables et spectaculaires. Mais les algorithmes sur

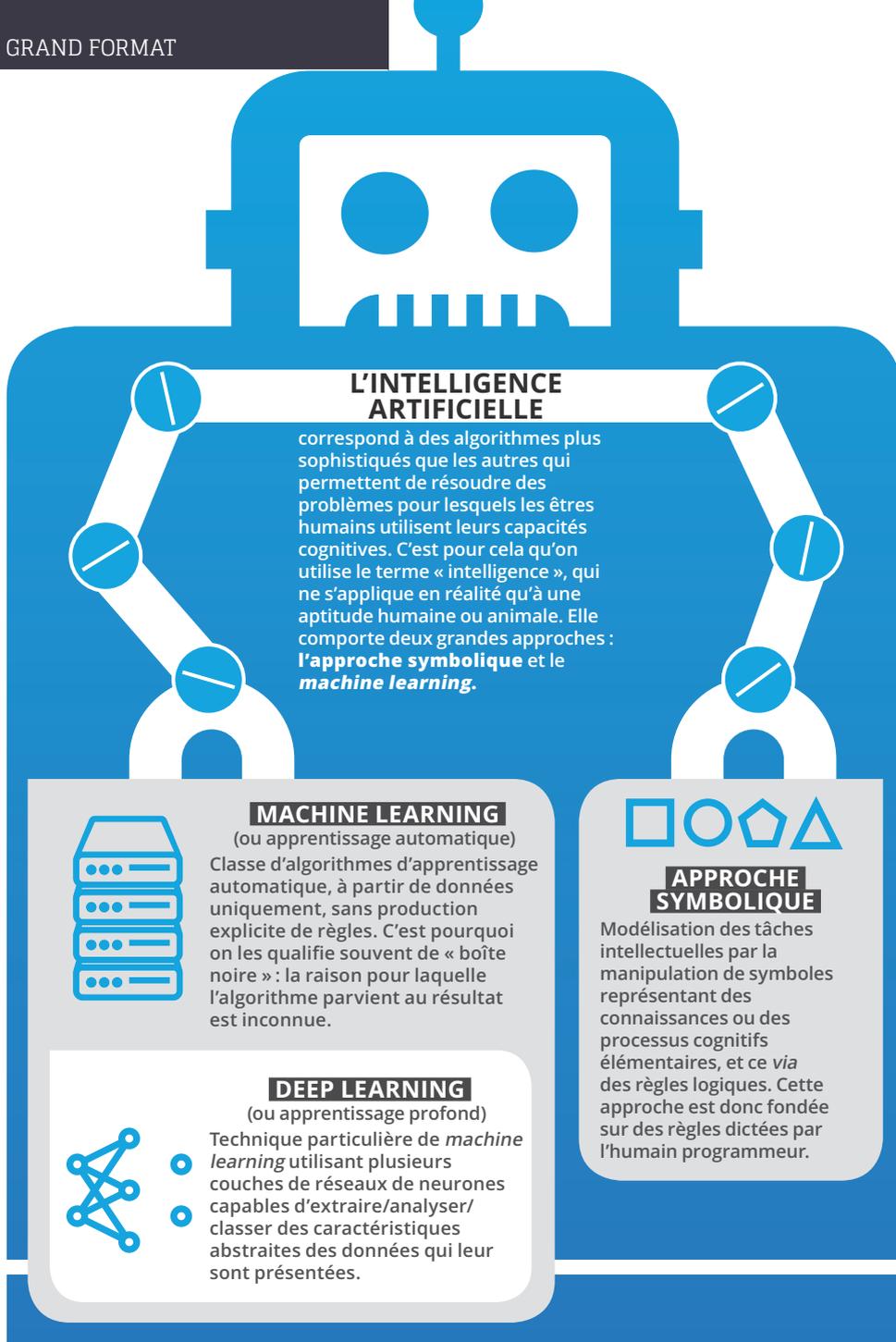
lesquels ces progrès s’appuient – modélisation statistique, réseaux de neurones, apprentissage automatique, etc. – sont développés depuis une trentaine d’années. »

En effet, dès août 1955, à l’initiative de John McCarthy, un professeur de mathématiques spécialiste des machines de Turing, Claude Shannon, inventeur de la théorie de l’information, Marvin Minsky, futur cofondateur du laboratoire d’Intelligence artificielle du Massachusetts Institute



Démonstration d’un système de reconnaissance de visage lors d’une exposition à Pékin en 2016.

1. Gafam : acronyme formé des initiales des géants du Net Google, Amazon, Facebook, Apple et Microsoft.  
2. Unité CNRS/Université d’Artois.



... partir des notions de symbole et de représentation interne du monde. Mobilisant les progrès de la logique mathématique et de la linguistique, cette approche symbolique reste dominante dans l'intelligence artificielle jusqu'aux années 2000.

Elle aboutit notamment à la mise au point des premiers systèmes experts de diagnostic médical, des premiers joueurs électroniques – la victoire de Deep Blue sur le champion du monde d'échecs Gary Kasparov

#### NEURONES VIRTUELS

Fonctions mathématiques qui, à partir des valeurs numériques reçues en entrée (connexions entrantes), calculent une valeur numérique de sortie (connexion sortante).

en est l'apothéose – ainsi qu'à quelques tentatives peu convaincantes de traitement automatique du langage naturel.

L'un des gros inconvénients des approches symboliques est qu'elles gèrent très mal les données bruitées : il ne faut pas d'erreur dans les données qu'on présente au système. En fait, ce problème de l'apprentissage a été abordé et en partie résolu par un autre courant de recherche de l'IA baptisé connexionnisme. Celui-ci

prend pour modèle le cerveau biologique et tente de reproduire certaines de ses facultés, notamment visuelles, en simulant numériquement le comportement de réseaux de neurones formels ; en s'inspirant également de la structure en couches hiérarchiques des neurones du cortex visuel humain, ce qui aboutira aux algorithmes de *deep learning*.

Dès les années 1970, on savait comment entraîner un réseau de neurones à reconnaître les objets d'une image grâce à l'algorithme de rétro-propagation d'erreur (voir l'infographie page 33) : une méthode numérique qui permettait d'améliorer le taux de bonnes reconnaissances du système en ajustant, à chaque erreur de classification, le poids des connexions entre chaque neurone du réseau.

Yann LeCun, aujourd'hui directeur du laboratoire d'intelligence artificielle de Facebook, l'avait démontré en développant dès 1989 un dispositif de reconnaissance des codes postaux manuscrits basé sur l'apprentissage profond : pour peu que l'on dispose d'un échantillon d'exemples suffisamment important à présenter à un réseau de **neurones virtuels**, celui-ci finit par égaler la performance d'un être humain, du moins en théorie<sup>2</sup>...

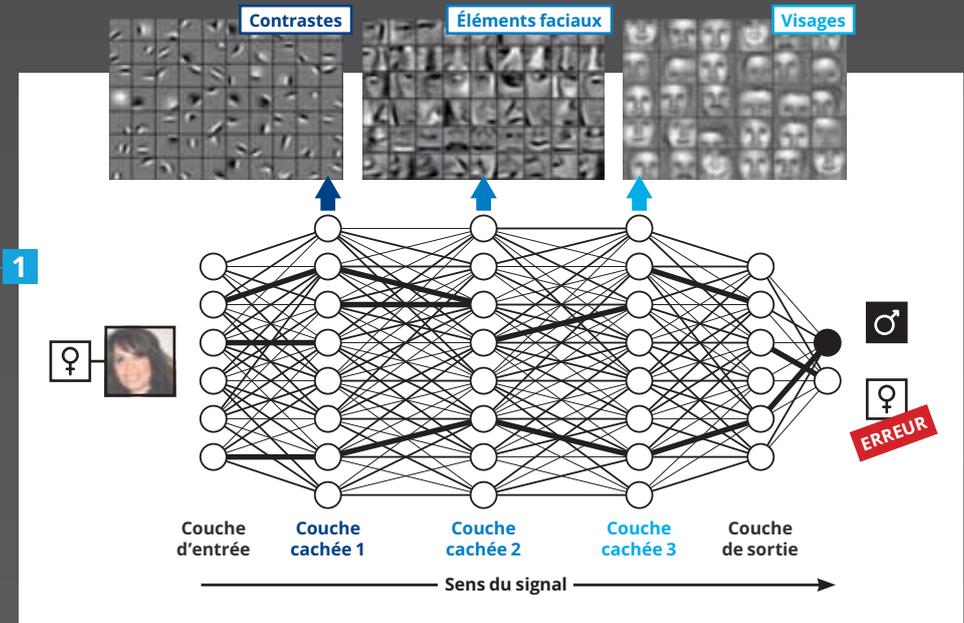
« On savait depuis les années 1980 que ces méthodes fonctionnaient, seulement elles réclamaient une puissance de calcul et une quantité de données considérables, qui sont restées longtemps hors de notre portée. Tout a changé au milieu des années 2000 : avec l'augmentation de la capacité des processeurs, il est devenu possible d'effectuer dans un temps raisonnable les calculs nécessités par les algorithmes de *deep learning*, explique Jérôme Lang, directeur de recherche au Laboratoire d'analyse et modélisation des systèmes pour ...

2. « Backpropagation applied to handwritten zip code recognition », Y. LeCun et al., *Neural Computation*, 1989, vol.1 (4) : 541-551. 3. Unité CNRS/Université Paris-Dauphine.

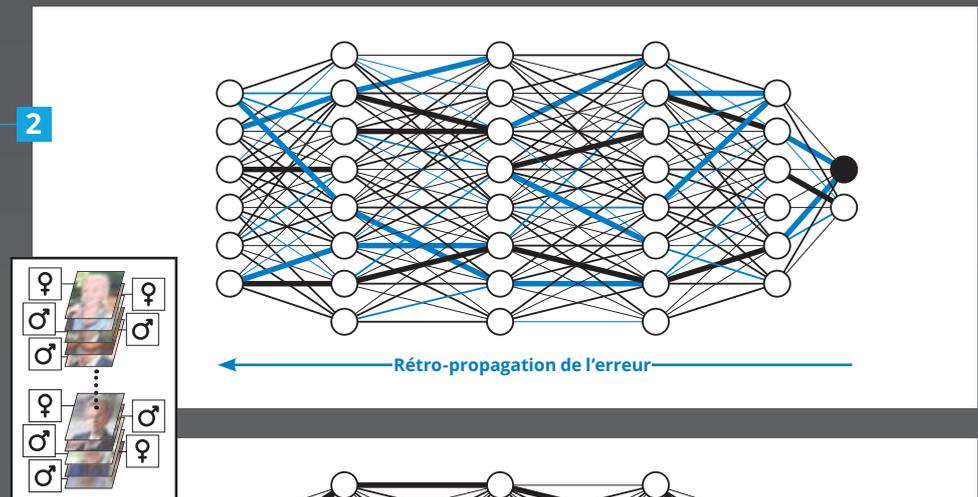
## Reconnaître le genre d'un visage grâce au *deep learning*

S'inspirant de l'architecture du cortex visuel humain, dont différentes couches de neurones successives extraient et analysent des caractéristiques de plus en plus complexes d'une scène visuelle, les systèmes de reconnaissance de visage actuels s'appuient sur des réseaux de neurones artificiels comprenant plusieurs couches « cachées » dédiées à différents niveaux d'analyse de l'image (contours, éléments faciaux, visages).

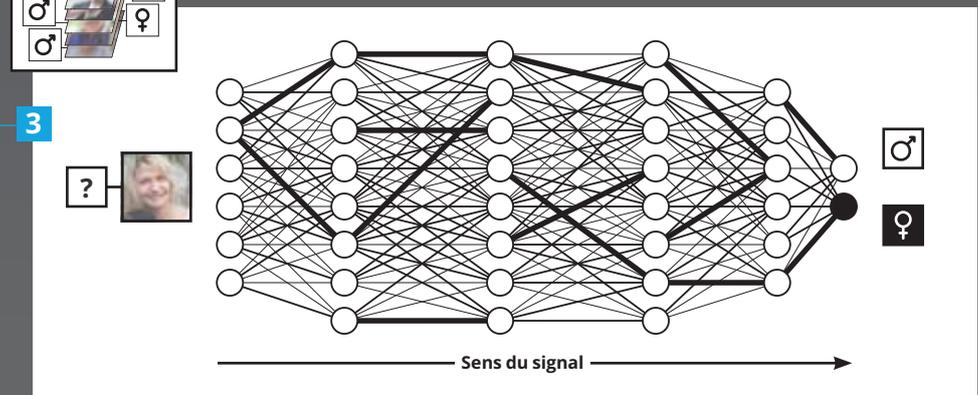
1 Ici, on commence l'entraînement du système en lui présentant un visage préalablement reconnu et annoté comme féminin par un humain. Le système l'identifie de manière erronée comme masculin.



2 Cette erreur va entraîner une reconfiguration du réseau selon un algorithme dit de rétro-propagation de l'erreur : une fonction mathématique complexe qui augmente ou diminue la force de certaines connexions entre neurones du réseau.



3 Après avoir répété les étapes 1 et 2 avec des dizaines de milliers de photos annotées, on finit par obtenir un système qui distingue les visages féminins des visages masculins aussi bien que le ferait un être humain.



“Notre but est que des machines réalisent mieux que nous des tâches autrefois considérées comme intelligentes.”

... l'aide à la décision<sup>3</sup> et médaille d'argent 2017 du CNRS. *L'autre changement majeur, c'est Internet et l'accroissement exponentiel de la masse de données qu'il a rendue disponible. Par exemple, pour entraîner un système de reconnaissance visuelle, il faut lui présenter le plus grand nombre possible de photos annotées : tandis qu'il fallait se démermer pour constituer des échantillons de quelques centaines de clichés indexés par des étudiants, on peut aujourd'hui assez facilement accéder à des centaines de millions de photographies annotées par les internautes via les "Captcha".* »

#### Un fonctionnement en boîte noire

Les résultats les plus spectaculaires de l'intelligence artificielle, ceux qu'aucun spécialiste n'osait espérer au début des années 2000, ont été obtenus dans les domaines de la reconnaissance visuelle – de la reconnaissance de visage à l'analyse de scènes –, de la reconnaissance vocale ou musicale, et dans celui du traitement automatique des langues

– de la traduction à l'extraction automatique de sens. Or, le point commun de ces systèmes, c'est que leur « intelligence », ou du moins leur performance, croît avec la taille du corpus à partir duquel ils ont été entraînés. Le problème posé par ces dispositifs est qu'une fois entraînés, ils fonctionnent comme une boîte noire : ils donnent de bons résultats mais, contrairement à ce que permettent les systèmes symboliques, ne donnent aucune indication sur le « raisonnement » qu'ils ont suivi pour y arriver. Un phénomène que trois chercheurs employés par Google ont appelé dès 2009 « l'irrationnelle efficacité des données ».

Cela explique l'avantage décisif qu'ont pris les Gafam dans ces domaines, ainsi que la frénésie avec laquelle ces derniers nous soutirent

des données contre des promesses d'intelligence. Certains gourous technologiques extrapolent même l'émergence imminente d'une conscience artificielle, d'une intelligence super-humaine faite de machines qui inventeront et créeront d'elles-mêmes, pour nous... et éventuellement contre nous.

« Ces "prédictions" sont faites par des personnes éloignées de la recherche ou qui ont quelque chose à vendre, souligne Sébastien Konieczny. Les chercheurs en IA n'ont jamais prétendu recréer l'intelligence – dont il faudrait déjà qu'on donne une définition opérationnelle –, notre but est que des machines réalisent mieux que nous des tâches considérées comme intelligentes car nous seuls étions jusqu'alors capables de les réaliser, comme le classement de milliers de photos ou de morceaux de musique. Les seules choses que l'on maîtrise aujourd'hui, ce sont des tâches goal oriented ; une machine qui soit capable de définir ses buts, ça on ne sait pas faire. Alors, la conscience... » || Y. P.

## Les neurones artificiels en 7 dates

Selon les actes de la **conférence de Dartmouth** (États-Unis), « chaque aspect de l'apprentissage ou toute autre caractéristique de l'intelligence peut être si précisément décrit qu'une machine peut être conçue pour le simuler ».

1955

Avec son **système de rétro-propagation de l'erreur** dans les réseaux de neurones (voir l'infographie page 33), Yann LeCun présente un dispositif de *deep learning* capable de reconnaître des codes postaux manuscrits, même s'il peine encore à égaler l'humain en performance.

1989

Grâce à l'**explosion du big data** et aux progrès de la **puissance des ordinateurs**, le *deep learning* et ses réseaux de neurones connaissent déjà de grands succès. Application emblématique, les Google cars, voitures autonomes, sillonnent les routes de Californie.

2010

1957

Le Perceptron est le **premier réseau de neurones artificiels virtuels** (ce sont des fonctions mathématiques) capable de classer des objets par apprentissage à partir d'une base d'exemples.

2012

Nourrie de 10 millions d'images, **Google Brain**, IA fondée sur le *deep learning*, apprend toute seule à identifier des chats.

# Ces puces qui miment les neurones naturels

Grâce à des composants électroniques bio-inspirés, les chercheurs mettent en avant de nouveaux modèles pour pousser plus loin les applications en intelligence artificielle.

neurones virtuels qui, s'ils permettent actuellement de spectaculaires applications en intelligence artificielle (IA), désignent en réalité des fonctions mathématiques, des algorithmes, purement numériques et impalpables.

« D'autres nano-neurones artificiels "en dur" avaient déjà été mis au point, mais nous avons été les premiers à les faire fonctionner au sein d'une application », explique Julie Grollier, qui a dirigé ces travaux au sein de l'Unité mixte de physique CNRS-Thales<sup>2</sup>. Quelques mois plus tôt, en avril, un autre composant bio-inspiré était dévoilé dans *Nature Communications*<sup>3</sup> par Vincent Garcia, chercheur au sein de la même unité, et ses collègues. Cette fois, il s'agissait d'une synapse artificielle, inspirée de celles qui relient les neurones du cerveau.

En septembre 2017, un neurone artificiel capable de reconnaître des chiffres prononcés par différentes personnes a fait l'objet d'une présentation très remarquée. À l'heure des assistants intelligents de type Google Home et de la voiture autonome, pourquoi une performance aussi sommaire fut-elle annoncée comme une première mondiale par la célèbre revue *Nature*<sup>1</sup> ? Parce que la révolution réside dans le composant lui-même : un neurone électronique, cylindre de métal mille fois plus fin qu'un cheveu et implémentable en circuit. Bref, un nano-neurone artificiel « en dur », à la différence des réseaux de

## SYNAPSE

Zone de contact entre les neurones, assurant la transmission des informations.

**AlphaGo**, fondé sur le *deep learning*, bat Lee Sedol, considéré comme l'un des meilleurs joueurs de go au monde.

2016

2017

Le premier neurone artificiel « en dur », composant électronique mis au point par une équipe dirigée par Julie Grollier, fonctionne au sein d'une application. Celle-ci permet de reconnaître des chiffres prononcés par différentes personnes (lire l'article ci-contre).

1. « Neuromorphic computing with nanoscale spintronic oscillators », J. Torrejon et al., *Nature*, 2017, vol. 547 : 428-431. 2. Unité CNRS/Thales/Université Paris-Sud. 3. « Learning through ferroelectric domain dynamics in solid-state synapses », S. Boyn et al., *Nature Communications*, 2017, vol. 8 : 14736.

### ... Une large économie d'énergie

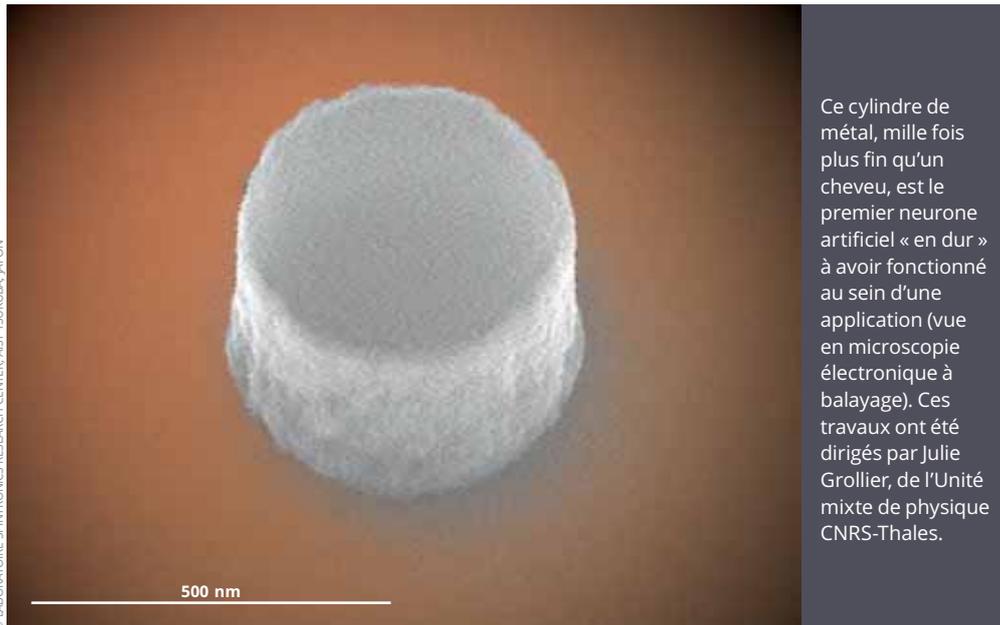
À quoi bon cette nouvelle quincaillerie électronique alors que les réseaux de neurones virtuels font déjà merveille en intelligence artificielle ? Parce que ces derniers, redoutables pour classer de gigantesques masses de données, sont aussi effroyablement gourmands en énergie... Un gaspillage lié à la structure même des machines sur lesquelles ils turbinent.

« Les ordinateurs traditionnels sur lesquels on les fait tourner sont fondés sur une architecture datant des années 1950 qui sépare la mémoire et le "centre de calcul" en deux blocs bien distincts, explique Damien Querlioz, chercheur au Centre de nanosciences et de nanotechnologies<sup>4</sup>. Dès lors, un calcul, même simple, nécessite parfois d'aller chercher des données stockées très loin à l'échelle de la microélectronique. Or, les réseaux de neurones virtuels ont la particularité d'effectuer des calculs, certes très simples, mais en quantité massive et de manière parallèle avec souvent beaucoup de redondances. » D'où, parfois, de terribles « embouteillages » énergivores pour accéder à la mémoire... C'est ainsi que le programme AlphaGo, l'IA de Google qui a récemment écrasé les plus

---

**Le programme AlphaGo, qui a écrasé les plus grands champions de go, consomme dix mille fois plus d'énergie qu'un humain à la même table de jeu !**

---



Ce cylindre de métal, mille fois plus fin qu'un cheveu, est le premier neurone artificiel « en dur » à avoir fonctionné au sein d'une application (vue en microscopie électronique à balayage). Ces travaux ont été dirigés par Julie Grollier, de l'Unité mixte de physique CNRS-Thales.

grands champions de go, consomme dix mille fois plus d'énergie qu'un humain à la même table de jeu !

« Grâce à ses circuits neurone-synapse, notre cerveau, lui, dispose d'une mémoire ("stockée" dans les synapses) placée au plus proche du "centre de calcul" (que symbolisent les neurones) », explique Damien Querlioz. Cette architecture très distribuée s'avère extrêmement efficace pour traiter en parallèle la myriade d'opérations simples que nécessite la reconnaissance de sons ou d'images. En revanche, elle est moins adaptée au calcul classique : « Pour les opérations arithmétiques par exemple, qui font appel à moins de calculs, mais plus complexes, et exécutés les uns après les autres, l'architecture bien centralisée des ordinateurs traditionnels reste imbattable en précision », poursuit le chercheur.

Si l'on parvient à construire des puces neuromorphiques, assemblage de composants artificiels mimant neurones et synapses biologiques, elles seront donc dédiées uniquement aux tâches d'IA où les excellents quoique trop dispendieux réseaux de neurones actuels sont cantonnés (reconnaissance de formes, de sons, etc.). Et l'éventuel ordinateur du futur qui en abriterait garderait précieusement ses microprocesseurs classiques. « En

intégrant une puce neuromorphique, dédiée aux algorithmes de type réseau de neurones courants en IA, sur chaque processeur d'ordinateur ou de téléphone, on disposerait de processeurs moins énergivores », confirme Vincent Garcia.

Les géants de l'électronique ne s'y sont pas trompés : IBM, Intel, Qualcomm, tous développent leur propre puce neuromorphique. Leur approche peut sembler timide : neurones et synapses artificiels y sont construits à partir de transistors classiques en silicium. C'est également le parti pris d'Alain Cappy, de l'Institut de recherche sur les composants logiciels et matériels pour l'information et la communication avancée<sup>5</sup>.

« L'avantage de n'utiliser que des composants déjà existants est de pouvoir fabriquer plus rapidement des puces efficaces et industrialisables », argumente le chercheur. Ce qui ne le dispense pas de toute originalité : là où les neurones de silicium mis en œuvre par les industriels nécessitent vingt à trente transistors, l'équipe d'Alain Cappy a délibérément privilégié un modèle plus simple et économe de six transistors seulement. Résultat : « Il consomme cent fois moins d'énergie que les autres neurones artificiels du même type », se félicite Alain Cappy. Il fait également le pari d'une intégration totalement bio-inspirée : « L'idée

est d'imiter le système yeux-cortex cérébral qui analyse si rapidement et si efficacement l'image. Nous tentons ainsi d'intégrer ces neurones à la fois dans des capteurs visuels inspirés de la rétine biologique, et dans des puces de traitement agencées comme les colonnes de neurones de notre cortex cérébral », poursuit Alain Cappy. Cette architecture très interconnectée pourrait s'avérer efficace pour mettre en place des réseaux de neurones bien plus complexes et performants que les possibilités offertes par les solutions actuelles sous forme logicielle.

#### L'assemblage des neurones

La plupart des chercheurs misent sur une approche encore plus révolutionnaire pour fabriquer les composants bio-inspirés eux-mêmes. « Les neurones construits avec des transistors classiques mesurent

100 micromètres de côté tandis que le nôtre mesure à peine 100 nanomètres de diamètre : c'est mille fois plus petit », se réjouit Julie Grollier. Or, la question de la taille se posera de manière aiguë quand on voudra les assembler par millions et fabriquer des puces valables. Pour construire leur nano-neurone, les chercheurs de l'Unité mixte de physique CNRS-Thales ont misé sur la spintronique, une discipline utilisant le **spin** des électrons comme unité d'information (alors que l'électronique utilise la charge électrique des électrons).

On peut ainsi se représenter, de manière schématique, un électron comme un petit aimant pouvant prendre seulement deux orientations : un spin « vers le haut » ou un spin « vers le bas ». Le nano-neurone consiste en un empilement de deux couches de métaux ferromagnétiques prenant en sandwich une

#### EFFET TUNNEL

Effet quantique permettant à une particule de traverser une barrière a priori infranchissable.

#### SPIN

Caractéristique microscopique et purement quantique de l'électron, comparable à une aimantation.

#### ISOLANT DE MOTT

Matériau isolant du fait d'une forte interaction répulsive entre électrons.

fine couche d'isolant électrique. « Lorsqu'on le soumet à un courant continu, les électrons passent à travers l'isolant par **effet tunnel** et leur spin fait tourner l'aimantation de la couche supérieure. Cela produit en sortie des oscillations électriques comparables aux signaux émis par les neurones de notre cerveau », résume Julie Grollier.

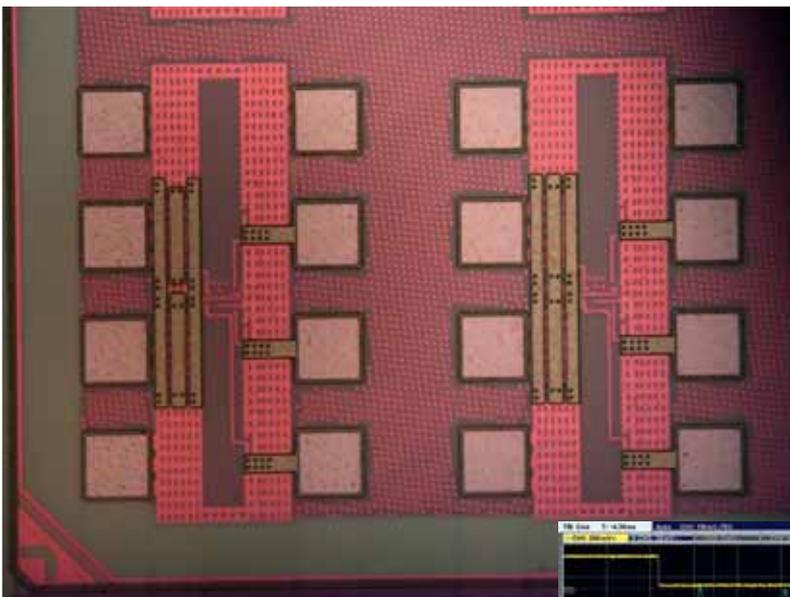
Pour développer leur propre nano-neurone, l'équipe de Laurent Cario, de l'Institut des matériaux Jean-Rouxel<sup>6</sup>, a de son côté misé sur les **isolants de Mott**. Ce matériau, dont le comportement physique est exploré dans le cadre de mémoires de nouvelles générations, pourrait constituer une alternative aux matériaux spintroniques : « Notre neurone a fait l'objet d'un brevet déposé en 2014 et nous essayons maintenant d'en améliorer la miniaturisation afin de faciliter son transfert industriel », indique Laurent Cario.

#### Imiter la plasticité biologique

Présentes dans le cerveau en nombre dix mille fois plus important que les neurones, les synapses ont un rôle tout aussi capital. En particulier, les chercheurs tentent de reproduire une caractéristique de ces canaux interneuronales : leur plasticité, c'est-à-dire leur capacité à se renforcer ou à se déprécier au fil du temps pour favoriser le « câblage » entre les neurones utiles.

Pour y parvenir, Vincent Garcia et son équipe ont choisi une couche ultra-mince d'un matériau ferroélectrique que les électrons traversent par effet tunnel : « Nous avons démontré que l'amplitude et la durée des impulsions que reçoit la synapse artificielle provoquent une variation de la résistance du matériau, donc de sa capacité à transmettre le courant tunnel. Cette propriété est très similaire à la plasticité des synapses biologiques », détaille le chercheur.

« De nombreux matériaux peuvent, sur application de certaines ...



L'équipe d'Alain Cappy utilise des transistors pour fabriquer ses neurones artificiels. Assemblés en circuit (ci-dessus), ils répondent à une excitation synaptique par des signaux électriques (ci-contre, en vert) identiques à ceux obtenus avec des neurones biologiques.



4. Unité CNRS/Université Paris-Sud/Université Paris-Saclay. 5. Unité CNRS/Université de Lille 1. 6. Unité CNRS/Université de Nantes.

“Un composant seul peut présenter un comportement physique remarquable qui s'estompe lorsqu'on en intègre des milliers.”

... gammes de tensions, présenter ce type de propriétés de changement de résistivité », remarque Vincent Derycke, chercheur au sein du laboratoire Nimbe<sup>7</sup>. Oxydes de métal, matériaux spintroniques, ferroélectriques..., la palette de candidats « exotiques » (c'est-à-dire marginaux par rapport à ceux utilisés en microélectronique classique, fondée sur le silicium) est en effet très large. « Toute la question est : leurs changements de résistivité sont-ils exploitables pour bâtir des circuits efficaces ? Jusqu'ici, aucun matériau idéal ne s'est encore détaché », ajoute le chercheur.

Avec son équipe, il s'est spécialisé dans une voie originale : l'électronique organique, qui vise à traiter l'information au sein de molécules (assemblages de quelques atomes seulement), et ainsi à réduire encore les consommations énergétiques. « C'est comme cela que l'industrie a pu remplacer les LED par des équivalents organiques, les OLED,

dans de nouvelles générations d'écrans plats », explique Vincent Derycke. Ce dernier ne cache pas le côté exploratoire de cette piste : « Mis à part les OLED, l'électronique organique, qui promettait au début des années 2000 de révolutionner l'électronique, n'a pas tenu toutes ses promesses et demeure un domaine de recherche principalement fondamental. Si d'éventuels neurones ou synapses organiques, très économes en énergie, deviennent réalité, ce ne sera pas avant cinq ou dix ans. »

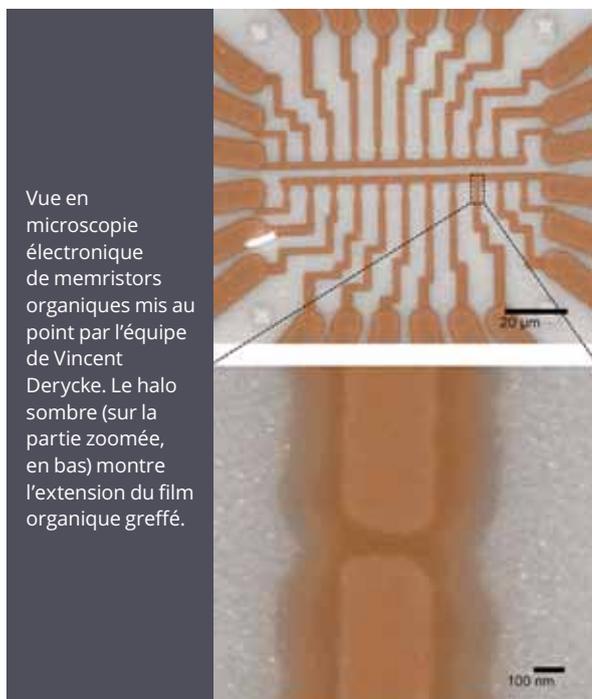
#### Le défi des circuits intégrés

Malgré une multitude de matériaux proposés pour l'ingénierie neuromorphique, tous les chercheurs butent pour l'instant sur le même obstacle : le passage à l'échelle. « Un composant seul peut présenter un comportement physique remarquable, mais ce bénéfice s'estompe parfois lorsqu'on en intègre des milliers », commente Damien Querlioz. Il suffit par exemple que la tension électrique arrivant à l'entrée de chaque composant varie légèrement pour ruiner l'intérêt d'une puce neuromorphique complexe. Or, « des milliers, voire des centaines de milliers de composants à intégrer ensemble, c'est pourtant le minimum si l'on veut mettre au point de premières applications commerciales », poursuit le jeune chercheur, médaille de bronze du CNRS en 2017 pour ses travaux sur ces futures architectures neuromorphiques.

Le contrôle fin de la tension d'entrée donne encore du fil à retordre aux chercheurs. C'est l'un des défis

que se propose de relever l'équipe de Sylvain Saighi, du Laboratoire de l'intégration du matériau au système<sup>8</sup>. À partir de la synapse ferroélectrique de Vincent Garcia, dite « memristor », les chercheurs tentent de construire un circuit de 1024 x 100 éléments. À travers le projet européen Ulpec, impliquant notamment IBM, Bosch et la société parisienne Chronocam, ce circuit devrait ensuite être intégré et testé au sein d'une caméra embarquée dans la voiture autonome. Restera aussi à régler le problème de la production en série des composants : « Il nous faut maintenant montrer que l'on peut produire notre memristor sur les substrats silicium habituels des industriels de la microélectronique pour envisager une production à grande échelle », résume Sylvain Saighi.

Même ambition pour Julie Grollier. D'ailleurs, si son équipe a été la première à faire fonctionner des neurones artificiels bio-inspirés au sein d'une application, c'est parce qu'elle a usé d'un astucieux artifice : un seul nano-neurone a permis de reconstituer un circuit de 400 neurones grâce à la méthode de multiplexage temporel. « Un peu comme si un acteur s'enregistrait en train de jouer les 400 rôles d'un même film et qu'on les superpose au montage », illustre la chercheuse. Les circuits bien réels de centaines ou de milliers de neurones sont donc aujourd'hui attendus de pied ferme ! ■ H. L.



Vue en microscopie électronique de memristors organiques mis au point par l'équipe de Vincent Derycke. Le halo sombre (sur la partie zoomée, en bas) montre l'extension du film organique greffé.

© V.DERYCKE/CEA

7. Nanosciences et innovation pour les matériaux, la biomédecine et l'énergie (CNRS/CEA/Université Paris-Saclay). 8. Unité CNRS/Bordeaux INP/Université de Bordeaux.

#### ÉVÉNEMENT

Découvrez les manifestations de la « semaine du cerveau » du 12 au 18 mars 2018 sur [www.semaineducerveau.fr](http://www.semaineducerveau.fr)

Lire aussi notre dossier « Comment l'intelligence artificielle va changer nos vies » sur [lejournal.cnrs.fr](http://lejournal.cnrs.fr)

# EN ACTION



*Découvrez Versailles comme vous ne l'avez jamais vu, Proust comme vous ne l'avez jamais lu, et un trésor du Moyen Âge sauvé de justesse.*

ILLUSTRATION : NURIA/VALERIOALID.COM POUR CNRS LE JOURNAL

SOCIÉTÉS



NUMÉRIQUE



**Patrimoine.** Versailles n'a cessé d'être modifié au gré des besoins des rois successifs. Le projet Verspera a pour objectif de modéliser en 3D le château à toutes ses époques, grâce à la numérisation de milliers de plans, dont une partie est déjà accessible en ligne.

PAR LAURE CAILLOCE

# Versailles remonte le temps

C'est un trésor qui se cachait dans les tiroirs des Archives nationales et de la Bibliothèque nationale de France... Quelque 7 500 plans du château et du domaine de Versailles des XVII<sup>e</sup> et XVIII<sup>e</sup> siècles sont en cours de numérisation<sup>1</sup>. Le public peut déjà en consulter une partie<sup>2</sup> depuis décembre 2017 sur le site Internet du Centre de recherche du château de Versailles (CRCV).

« Depuis Louis XIII et son pavillon de chasse créé en 1623, jusqu'à Louis-Philippe qui a fait du château un espace muséal dès 1837 (supprimant au passage la plupart des cabinets d'aisances, d'où les clichés tenaces sur la saleté de la cour), Versailles n'a cessé d'être modifié pour répondre aux besoins des souverains successifs et loger famille, courtisans, ministres... », raconte Mathieu da Vinha, directeur scientifique du CRCV. Des salles mentionnées dans les documents historiques n'existent plus dans le château actuel, et certaines circulations ne sont plus compréhensibles – au point que les historiens se demandent parfois, à la lecture des documents d'époque, par où les gens pouvaient bien passer ! D'où l'idée, en plus du vaste chantier de numérisation lancé dès 2013 dans le cadre du projet Verspera<sup>3</sup>, d'utiliser ces milliers de plans au sol, coupes et élévations pour modéliser le château en 3D.

Initialement conçu comme un relais de chasse par Louis XIII qui était tombé amoureux du domaine de Versailles lorsqu'il était venu y chasser enfant, c'est sous Louis XIV que le château a pris l'aspect extérieur qu'on lui connaît aujourd'hui. Le roi y voit des possibilités



▼ La galerie Mignard, telle qu'elle était en 1685, est le premier espace à faire l'objet d'une reconstitution 3D.

d'extension qui n'existent pas au Louvre et démarre les travaux en 1661 : le bâtiment de Louis XIII est entouré d'une enveloppe de pierre par l'architecte Le Vau, qui bâtit de nouvelles ailes pour les communs et les écuries et construit les grands appartements. À sa suite, Hardouin-Mansart ferme la terrasse à l'italienne du château qui devient la Galerie des glaces, lance la construction des majestueuses ailes du Nord et du Midi, de part et d'autre du corps central... Soit plus de cinquante ans de travaux, pendant lesquels le roi et sa famille, puis la cour tout entière, vivent dans le bruit, les odeurs et la poussière !

## Des réaménagements constants

Passionné d'architecture, Louis XIV veut en effet suivre de près l'avancement du chantier et se soucie peu de l'inconfort que cela occasionne à son entourage... « En 1682, lorsque la Dauphine, enceinte, emménage au château, elle ne supporte pas l'odeur dans ses appartements et part s'installer un peu plus loin, chez Madame Colbert », rapporte Mathieu da Vinha. Louis XV n'agrandit plus le château, mais procède à de nombreux réaménagements. Avec la naissance de l'intimité dans les

1. Cette numérisation a été rendue possible grâce au financement de la Fondation des sciences du patrimoine. 2. En janvier 2018, 2 200 plans numérisés étaient accessibles sur le site [www.banqueimages.chateauversailles-recherche.fr](http://www.banqueimages.chateauversailles-recherche.fr). 3. Verspera est un projet porté par la Fondation des sciences du patrimoine, le Centre de recherche du château de Versailles, les Archives nationales, la Bibliothèque nationale de France et le laboratoire Équipes traitement de l'information et systèmes. 4. Unité CNRS/Université Cergy-Pontoise/Ensaé. 5. Un film créé avec les étudiants de la licence « métiers du numérique » de l'université de Cergy-Pontoise, peut être visionné sur [lejournal.cnrs.fr](http://lejournal.cnrs.fr)



© B. HILBERT, M. POTHIER, N. RAMBELOMANANA, D. RODRIGUEZ, L. SAUNANCON/PROJET VERSPERA



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

### Tous les plans, rien que les plans

Des écueils que le logiciel de modélisation a dû apprendre à contourner, afin d'extraire les informations pertinentes de la masse hétérogène des documents numérisés : en plus des « classiques » plans au sol, on trouve des plans de coupe révélant les étages et les entresols, mais aussi des élévations. Précieuses pour la reconstitution, ces dernières représentent les murs et façades et portent souvent des éléments de décor tels que stucs, cheminées, boiserie... Autre particularité de ces plans d'époque, qui n'a pas manqué de « corser » l'entreprise de numérisation : certains comprennent jusqu'à une vingtaine de « retombes » – des rabats collés sur le plan principal, qui, en l'absence de papier-calque, permettaient aux architectes de proposer des variantes, de mentionner un détail ou de montrer un autre niveau...

sociétés européennes, le souverain a lui aussi droit à des espaces totalement privés : il fait bâtir des arrière-cabinets où il peut se dérober à la vue de la cour ; il aménage des appartements pour ses filles ; des pièces sont réaffectées, des décors déménagés, des entresols créés... Au point que le corps central du château, qui comptait à l'origine trois niveaux, en dénombre désormais sept !

Si l'on comprend tout l'intérêt de la modélisation 3D pour retracer les évolutions du château, celle-ci n'est pas sans difficultés. « *Les plans des XVII<sup>e</sup> et XVIII<sup>e</sup> ne sont pas codifiés comme ceux qu'on utilise aujourd'hui*, explique Michel Jordan, ingénieur de recherche au laboratoire Équipes traitement de l'information et systèmes<sup>4</sup> (ETIS), spécialisé dans le traitement de l'image numérique. *C'est plus un intermédiaire entre des dessins d'artiste, parfois très joliment aquarellés, et des plans d'architecte.* » Les formats, eux aussi, sont loin d'être standards. « *Certains plans font trois centimètres par quatre, quand les plus grands mesurent trois mètres par quatre mètres*, témoigne Pierre Jugie, conservateur aux Archives nationales, qui a supervisé le chantier de numérisation mais aussi de restauration des plans qui le nécessitaient. *Des marques de pliures sont visibles sur certains d'entre eux, qui n'avaient pas été dépliés depuis des siècles, et peuvent être confondues avec des murs ou des cloisons une fois numérisées...* »

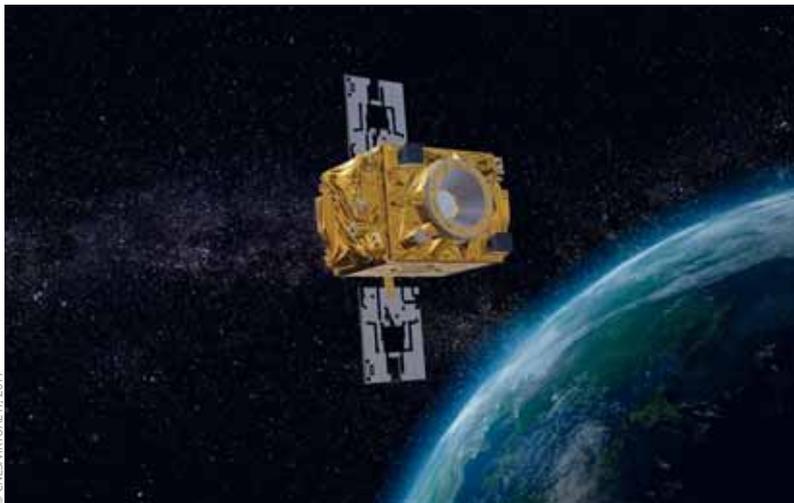
La galerie Mignard est le tout premier espace recréé en 3D grâce au logiciel Verspera<sup>5</sup>. D'abord appartement de Louis XIV, cet espace situé au premier étage de l'aile droite du bâtiment central a ensuite accueilli sa maîtresse Madame de Montespan, avant d'être remanié en 1685 et de devenir un appartement de collectionneur où le roi exposait ses œuvres d'art, parmi lesquelles la *Joconde*. La galerie de 15 mètres de long est décorée de lambris et flanquée d'un salon à chaque extrémité. Elle est précédée de plusieurs pièces, comme le cabinet des Coquilles. « *D'autres espaces suivront*, annonce Mathieu da Vinha. *L'objectif, à terme, serait notamment de suivre les évolutions de l'appartement du roi sur trois siècles, mais aussi de montrer certains projets qui n'ont pas abouti.* »

Avec une seule limite : Verspera n'ira pas au-delà de ce que les archives voudront bien révéler. La règle est en effet de s'en tenir aux informations fournies par les documents d'archives, quitte à laisser vides de vastes surfaces, ou à produire quelques bizarreries. Le salon de l'Œil-de-bœuf, une antichambre de l'appartement du roi créée en 1701 grâce à la réunion de deux pièces, apparaît ainsi parfaitement rectangulaire sur les plans de Hardouin-Mansart, alors qu'il adopte dans la réalité la forme d'un trapèze. « *Sur le chantier, l'architecte a dû s'adapter à la configuration exacte des pièces environnantes* », témoigne Michel Jordan. Versailles n'a pas fini de nous étonner. ||

# Le principe d'équivalence reste valable !

PROPOS RECUEILLIS PAR MATHIEU GROUSSON

▲ Vue d'artiste du microsatellite Microscope, placé en orbite le 25 avril 2016.



© CNES/VIRTUAL-IT/2017

**Les premiers résultats de l'expérience Microscope ont été publiés en décembre 2017 dans la revue *Physical Review Letters*. Quels sont-ils et quel est l'objectif de cette expérience qui implique plusieurs équipes du CNRS ?**

**Gilles Métris<sup>1</sup>** : L'objectif du satellite Microscope du Cnes<sup>2</sup> est de mettre à l'épreuve le principe dit d'universalité de la chute libre, ou d'équivalence, selon lequel tous les corps tombent de la même manière, c'est-à-dire avec la même accélération, dans un champ de gravité. Or, après avoir analysé les données de la première session de mesures, nous concluons que le principe d'équivalence est valable dans la limite d'une précision de 14 chiffres après la virgule. Ainsi, nous améliorons d'un facteur 20 la précision de la meilleure mesure réalisée jusqu'ici par le groupe de physiciens américains Eöt-Wash en 2012.

**Quel est le principe de l'expérience Microscope ?**

**G. M.** : D'un mot, pour tester le principe d'équivalence, il s'agit de comparer comment des masses, dont les compositions diffèrent, tombent dans le champ de gravité. Les premières expériences de ce type remontent à Galilée. À sa suite, Isaac Newton, en utilisant des pendules de même longueur mais munis de boules de matériaux différents, a vérifié qu'ils battaient au même

MATIÈRE

UNIVERS

**Physique.** Il y a deux ans, le satellite Microscope prenait son envol pour tester le principe d'équivalence – érigé par Albert Einstein –, qui veut que dans le vide, tous les corps tombent à la même vitesse. Décryptage des premières conclusions avec Gilles Métris, co-investigateur principal de la mission.



© A. MACARRIUNIS

rythme, à  $10^{-3}$  près. Puis, en 1889, Loránd Eötvös, utilisant pour sa part des pendules de torsion, est parvenu à réaliser une mesure avec huit chiffres significatifs. C'est en affinant la même technique expérimentale que le record de 2012 a été établi. Avec Microscope, nous revenons au principe des expériences originelles, c'est-à-dire la chute libre. Mais, contrairement à l'expérience de pensée de Galilée, « réalisée » depuis le sommet de la tour de Pise, nous avons placé nos masses à l'intérieur d'un satellite en orbite autour de la Terre, à 700 kilomètres d'altitude. Ainsi, elles chutent en continu, loin des perturbations de surface.

Précisément, il s'agit de deux cylindres creux concentriques – le cylindre interne, en platine, a une masse de 400 grammes et le cylindre externe, en titane, une masse de 300 grammes – en apesanteur dans une enceinte, à la manière d'un astronaute dans la Station spatiale internationale. Grâce à un système électrostatique, ces deux masses sont maintenues parfaitement immobiles l'une par rapport à l'autre. Il s'agit alors de mesurer et de comparer les forces à appliquer à chaque masse pour les maintenir fixes. Dans la mesure où l'on contrôle toutes les autres perturbations, une différence signifierait une violation du principe d'équivalence.

**Pourquoi est-ce important de tester le principe d'équivalence ?**

**G. M.** : Dans le formalisme de Newton, ce principe traduit l'identité de la masse grave, qui détermine la sensibilité d'un corps à l'attraction d'un champ gravitationnel, et de la masse inerte, qui détermine le degré de résistance d'un corps à une modification de son mouvement. A priori, il n'y a aucune raison qu'elles coïncident. Pourtant, le principe d'équivalence est au fondement de la relativité générale d'Einstein, édiflée en 1915. C'est lui qui conduit à considérer la gravitation non pas comme une force qui s'exercerait depuis un objet vers un autre, mais comme liée à la déformation de la structure même de l'espace-temps.

**Alors que la relativité générale a été vérifiée avec un luxe de détails, pourquoi s'attend-on à une**

1. Chercheur au laboratoire Géoazur (CNRS/Univ. de Nice Sophia Antipolis/IRD/UPMC/Observatoire de la Côte d'Azur). 2. Centre national d'études spatiales.

### éventuelle remise en cause du principe d'équivalence ?

**G. M. :** Parce que si la relativité générale marche très bien, elle ne peut pas constituer une théorie définitive. En l'occurrence, elle n'intègre pas les prescriptions de la mécanique quantique, à la différence des théories qui décrivent les trois autres interactions – l'électromagnétisme et les forces nucléaires forte et faible. Ainsi, depuis plusieurs décennies, les théoriciens travaillent à l'élaboration d'un cadre commun pour unifier les quatre interactions fondamentales. Or, de nombreuses théories candidates à cette unification prévoient l'existence de nouveaux champs, dont l'une des manifestations serait une violation du principe d'équivalence. L'observation d'une telle violation serait même l'une des façons les plus simples et les moins coûteuses de mettre ces théories à l'épreuve.

### Sauf que Microscope vient de montrer que le principe d'équivalence résiste encore et toujours...

**G. M. :** D'après les théoriciens, une violation n'était pas attendue au niveau de précision exploré avant Microscope. Tout l'intérêt de cette expérience est qu'elle va permettre pour la première fois d'explorer des domaines où le principe d'équivalence pourrait commencer à chopper, sans qu'il y ait pour autant de prédictions théoriques fortes que cela devrait se produire. Ajoutons que le résultat qui vient d'être publié n'est fondé que sur la toute première série de mesures.

### Quelle suite est prévue pour l'expérience ?

**G. M. :** Microscope a été placé en orbite en avril 2016. Depuis, il a réalisé environ dix sessions de mesures de huit jours chacune. Au terme de la mission, prévu au printemps 2018, nous devrions par ailleurs disposer d'une dizaine de sessions supplémentaires, soit environ vingt au total. L'ensemble permettra de gagner un facteur 10 sur la précision, et de parvenir ainsi à 15 chiffres significatifs. *In fine*, nous serons limités par l'autonomie des micropropulseurs à gaz qui permettent de contrôler très finement les mouvements du satellite.

### À quel résultat vous attendez-vous au final ?

**G. M. :** C'est impossible à dire dans la mesure où aucune prédiction n'indique expressément à quel niveau de précision nous devrions observer un début d'écart au principe d'équivalence. Si tel était le cas avec Microscope, l'objectif suivant serait bien évidemment de le confirmer par une mesure indépendante. À l'inverse, en cas de résultat négatif, il s'agira d'imaginer de nouvelles expériences encore plus précises. À cet égard, l'Agence spatiale européenne donnera ou non son feu vert cette année pour l'expérience Stequest, dont l'ambition est d'étudier la chute libre d'atomes dans l'espace. De son côté, l'expérience américaine Step ambitionne d'atteindre une précision de 18 chiffres après la virgule, avec trois masses maintenues à température cryogénique. En attendant, le principe d'équivalence résiste depuis 400 ans ! **||**

## En bref

### UNE UMI FRANCO-INDIENNE POUR L'INFORMATIQUE

Après quinze ans de collaboration entre des équipes de recherche françaises et indiennes en informatique, le CNRS, l'université de Bordeaux et l'ENS Paris-Saclay se sont associés fin 2017 à deux partenaires indiens, le CMI (Chennai Mathematical Institute) et l'IMSC (Institute of Mathematical Sciences), pour la création de RelaX, une unité mixte internationale. Ce laboratoire de recherche sera axé sur l'informatique théorique, comme l'algorithmique ou la logique, et à ses applications directes, comme la science des données ou les systèmes distribués. (*Lire aussi page 46.*)

### UNE CHAIRE POUR LES MATÉRIAUX SEMI-CONDUCTEURS

Le 1<sup>er</sup> février 2018, l'Agence nationale de la recherche, le CNRS, l'École polytechnique et Total ont annoncé la création d'une chaire industrielle, Pistol, dans le domaine des semi-conducteurs. L'objectif de cette équipe de recherche commune, menée par Erik Johnson, chercheur au LPICM : la mise en œuvre de nouveaux procédés de traitement par plasma pour les composants électroniques. En vue, de nouvelles applications pour la filière photovoltaïque, la microélectronique et de nouvelles générations de capteurs et d'écrans.

### PARTENARIAT RENFORCÉ À STRASBOURG

En décembre 2017, le CNRS et l'université de Strasbourg ont signé un accord de partenariat renforcé. L'enjeu : soutenir la dynamique du site strasbourgeois en améliorant la qualité du soutien aux laboratoires et en simplifiant le quotidien des scientifiques dans des domaines comme les ressources humaines, l'hygiène et la sécurité ou les systèmes d'information.

### QUALITÉ DE VIE AU TRAVAIL : LE CNRS RÉCOMPENSÉ

En novembre 2017, le groupe RH & M a attribué le trophée « Mieux vivre en entreprise » au CNRS pour l'ensemble de sa démarche sur la qualité de vie au travail. Récemment, l'organisme a ainsi ouvert un blog dédié à cette problématique, publié le « Cahier de recettes pour mieux travailler ensemble » et lancé un appel à projets concernant l'aménagement d'espaces de convivialité, d'organisations d'événements de cohésion ou d'ateliers extraprofessionnels.

» <http://blog-rh.cnrs.fr>

### UNE PREMIÈRE UMI EN ANGLETERRE

Le 15 janvier 2018, le CNRS et l'Imperial College de Londres ont inauguré le laboratoire Abraham de Moivre, officialisant ainsi la création de la toute première unité mixte internationale (UMI) entre le CNRS et une institution britannique. Basée sur le campus de l'Imperial College, cette UMI en mathématiques a pour objectif de faire progresser la connaissance dans des domaines tels que la théorie des nombres, l'analyse mathématique, les biomathématiques et les mathématiques financières.

# La cartographie au service des secours

PAR FUI LEE LUK

SOCIÉTÉS



NUMÉRIQUE



**Imagerie.** En cas de catastrophe naturelle, les services d'urgence s'engagent dans une course contre la montre pour porter assistance aux victimes. Parmi les premiers sur le pont, les cartographes de crise, dont le rôle consiste à suivre l'impact de la catastrophe pour guider les secours.

**T**remblements de terre, éruptions volcaniques, feux de forêt, inondations, tsunamis... Régulièrement, la Terre rappelle aux humains leur vulnérabilité face aux phénomènes naturels – sans compter les crises humanitaires et les désastres causés par l'homme. Pour fédérer rapidement et efficacement les secours, il faut des informations fiables sur la nature et le lieu des dommages causés. Un défi qui amène le service de cartographie rapide du Sertit<sup>1</sup> à produire, à partir d'images spatiales, des cartes de plus en plus précises, dans des délais toujours plus courts.

## Dans le sillage d'Irma

Dès l'arrivée de l'ouragan Irma en septembre 2017, on a demandé aux ingénieurs du Sertit de cartographier le terrain pour que des mesures appropriées de gestion de crise puissent être prises dans les territoires ultramarins de Saint-Martin et de Saint-Barthélemy. Illustrant le passage d'Irma et son intensité, les informations dérivées des images acquises avant et après l'événement ont guidé les services de la sécurité civile, les services environnementaux, les organisations humanitaires et les compagnies d'assurance. « *Les données que nous utilisons pour créer nos cartes viennent essentiellement de satellites d'observation de la Terre, mais aussi de capteurs aériens, comme des drones* », explique Mathilde Caspard, ingénieure projet au Sertit.

La cartographie de crise établie à partir de données spatiales est un champ d'expertise relativement récent, qui remonte à la fin des années 1990. « *Auparavant, les services de la sécurité civile dépendaient d'informations recueillies sur place et de modélisations*, rappelle Stéphanie Battiston, responsable adjointe du service de cartographie rapide du Sertit, *mais il fallait des semaines pour évaluer l'ampleur d'une catastrophe. Aujourd'hui, on peut obtenir en quelques heures des*



*informations fiables concernant de vastes zones – même les plus inaccessibles. »*

## Rendre lisibles des flots d'informations

Dans le cas d'Irma, le Sertit a utilisé des images spatiales de très haute résolution, acquises par la constellation de satellites français lancés par le Centre national d'études spatiales (Cnes), auxquelles se sont ajoutées les informations satellitaires fournies par d'autres pays. La cartographie rapide « *nécessite une collaboration et des interactions avec un grand nombre de partenaires internationaux* », explique Stéphanie Battiston. Pour réagir à Irma, le Sertit a donc été mandaté par les services de la sécurité civile, dans le cadre de deux grands programmes de collaboration : la charte internationale « Espace et catastrophes majeures » et le service de gestion des urgences du programme européen Copernicus, qui facilitent le partage des informations géospaciales entre pays

▼ Carte de la baie de Saint-Jean, à Saint-Barthélemy, le 8 septembre 2017. Les bâtiments peu ou très touchés par le cyclone Irma ont un point orange ou rouge.

1. Service régional de traitement d'image et de télédétection (ICube/Université de Strasbourg). 2. Laboratoire des sciences de l'ingénieur, de l'informatique et de l'imagerie (CNRS/Université de Strasbourg/ENGEES/INSA/Hôpitaux universitaires de Strasbourg/Inria).



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

lors d'une catastrophe majeure. Réciproquement et dès que nécessaire, le Sertit propose régulièrement son aide « *en cas de catastrophe affectant un pays ou une région du monde* ».

Si l'accès aux données n'est plus un problème, la vraie difficulté qui se pose pour le Sertit réside dans le traitement des images : rendre lisibles les flots d'informations en provenance des satellites, en particulier sur la lumière réfléchie par les objets. « *Les traitements des données sont basés sur des logiciels spécialisés et des algorithmes spécifiques développés en interne pour améliorer qualité et vitesse* », indique Mathilde Caspard.

Quand les images brutes de la catastrophe sont livrées, il faut d'abord les traiter : corriger, par exemple, les effets de l'atmosphère ou les défauts des capteurs. Ensuite, selon les besoins de l'utilisateur, il faut parfois extraire certaines informations. Si les premières cartes donnent le lieu et l'extension de la catastrophe, les suivantes, plus élaborées, montrent « *l'impact de l'événement sur les infrastructures urbaines, les voies de communication, les zones agricoles et l'environnement* », explique Stéphanie Battiston.

### Des requêtes en temps réel

Le Sertit intervient également dans la gestion des demandes. Stéphanie Battiston qualifie le service de « *point de contact entre toutes les parties prenantes* » de la chaîne de production des cartes : « *Il aide à définir les besoins des utilisateurs finaux, demande aux fournisseurs d'images de programmer les satellites, organise la production des produits et les valide avant de les livrer aux utilisateurs.* »

Une tâche compliquée par des délais très courts – parce qu'au final, la valeur d'une image dépend de son actualité. « *Les services de secours doivent agir immédiatement, former des équipes, cibler des zones prioritaires, savoir si les zones touchées sont accessibles* », détaille Stéphanie Battiston. C'est pourquoi le Sertit fournit un service certifié à la norme ISO 9001, quelques heures seulement après avoir reçu les images satellites – le délai dépend du niveau de complexité de la demande. Un système d'astreinte permet à l'équipe de quinze personnes d'être opérationnelle 24 heures sur 24.

Pionnier de la cartographie rapide, partenaire d'agences gouvernementales et non gouvernementales,

le Sertit fêtait ses trente ans en 2017. À l'époque de sa création, « *les PC à écran couleurs n'existaient pas...* », se souvient Paul de Fraipont, son fondateur et directeur scientifique. L'arrivée d'Internet a en outre largement accéléré la communication entre les intervenants, tandis que le nombre et les performances des satellites et des outils d'information se sont accrus.

L'évolution structurelle du Sertit a suivi ces changements technologiques. En 2015, il a rejoint le laboratoire ICube<sup>2</sup>, institut de recherche de plus de 650 personnes réparties en 16 équipes de recherche et 6 plateformes technologiques, qui combine ingénierie et savoir-faire informatique, essentiellement dans l'amélioration des applications d'images. Une collaboration qui permet de développer les activités de recherche du laboratoire, comme en témoigne Michel de Mathelin, directeur d'ICube et désormais du Sertit : « *Les ingénieurs du Sertit participent aux projets d'ICube et alertent en permanence le laboratoire sur des problèmes d'application, dont la résolution peut nécessiter des travaux de recherche.* »

Mais son rôle de plateforme au sein d'ICube permet aussi au Sertit de s'adapter aux constantes évolutions du secteur. « *La télédétection, comme d'autres domaines, est entrée dans l'ère du big data* », poursuit Michel de Mathelin. La difficulté désormais est de ne pas se laisser déborder par cette inflation de données.

Une des stratégies étudiées conjointement par le Sertit et ICube est l'automatisation des processus. « *Nous essayons de développer des algorithmes et des outils capables d'extraire automatiquement des informations utiles parmi une masse considérable de données – toujours dans le souci d'améliorer la qualité et la rapidité des informations que nous fournissons* », indique Paul de Fraipont.

### Un cercle vertueux

Les améliorations peuvent aussi venir de requêtes inattendues. Par exemple, pendant le tremblement de terre de 2010 en Haïti (d'une magnitude de 7,0), alors que l'aéroport de Port-au-Prince était bloqué, les services de secours ont demandé au Sertit de localiser un aéroport de remplacement pour permettre à un 747 français d'atterrir et de livrer une aide d'urgence. « *Nous avons trouvé un aéroport à Jacmel, mais l'analyse des images montrait que des gens s'étaient réfugiés sur le tarmac...* » Il fallait donc organiser une opération d'évacuation, mais ce n'était pas tout. Une fois l'avion posé, on leur a demandé de trouver une route pour acheminer les vivres à Port-au-Prince, puis de localiser des sources d'eau pour que les équipements de purification tout juste livrés puissent être installés. « *Chaque nouvelle requête menait à un nouveau processus qu'il fallait définir, c'est le genre de cercle vertueux que nous voulons encourager* », conclut Paul de Fraipont. ||



© SERTIT/ONIS PHOTO/THIQUE



# La recherche au carrefour de l'Asie

PAR SAMAN MUSACCHIO

**Événement.** Plus d'une centaine d'acteurs de la recherche en Asie se sont retrouvés à Shanghai les 27 et 28 novembre 2017 lors du symposium Aur@sia 2017. Retour sur cet événement qui témoigne du déploiement du CNRS dans cette région du monde.

C'est à Shanghai, l'une des plus grandes mégapoles mondiales, que le CNRS a choisi de réunir fin novembre ses unités internationales en Asie, un continent qui compte près de la moitié de ces structures dans le monde. Le choix du pays n'est pas non plus anodin. « *Il y a des liens historiques très forts entre le CNRS et la Chine depuis plus de 40 ans* », rappelle Antoine Mynard, directeur du bureau du CNRS en Chine, alors que l'événement est accueilli au sein même de l'Académie chinoise des sciences (CAS).

Pendant deux jours, se sont côtoyés une centaine de directeurs d'UMI et d'UMIFRE<sup>1</sup>, de représentants d'entreprises (Arkema, Saint-Gobain, Solvay, Thales, Air Liquide ou Axa), mais aussi d'universités, d'organismes de recherche ou d'agences de financement venus d'une quinzaine de pays – sous la houlette d'un important contingent du CNRS.

## Présence et ouverture au monde

« *Le premier objectif de ces réunions est de montrer la puissance de frappe du CNRS à l'étranger, que ce soit à nos partenaires académiques*

*et industriels ou aux agences de financement – qui ont quasiment tous accepté notre invitation, se félicite Patrick Nédellec, à la tête de la Direction Europe de la recherche et coopération internationale du CNRS (Derci), qui supervise ces événements bisannuels en Asie et en Amérique du Nord. À Shanghai, nous avons pu réunir le président de la National Research Foundation de Singapour, les représentants de la National Natural Science Foundation of China et de la CAS pour la Chine, ou encore du Centre franco-indien pour la promotion de la recherche*

▶ À Shanghai, l'unité mixte E2P2L est spécialisée dans la chimie verte.

*avancée pour l'Inde. Nous voulons montrer à ces partenaires la force du réseau international du CNRS, qui est aujourd'hui indissociable des universités et des entreprises. »*

Car, avec un coût global de 25 millions d'euros, ces UMI, véritables « morceaux de France » à l'étranger et instruments uniques dans le paysage de la recherche mondiale, constituent un enjeu de taille pour le CNRS. D'une durée de cinq ans renouvelables, elles sont la suite logique de collaborations entre chercheurs et enseignants-chercheurs d'établissements français et d'universités à l'étranger autour de thématiques qui ont atteint une masse critique. « *C'est toujours du "bottom-up"*, confirme Antoine Mynard. *Elles sont souvent précédées d'un laboratoire international associé<sup>2</sup>, par exemple.* » Et pour leur stabilité et leur succès, il est essentiel de réunir les meilleures conditions financières, car « *nos chercheurs partent pour plusieurs années, et souvent avec leurs familles* », ajoute-t-il.

Cela représente des budgets conséquents pour les partenaires à l'étranger qui hébergent le laboratoire et fournissent l'infrastructure et les équipements, « *mais aussi pour les agences de financement, qui se retrouvent – grâce à ces structures – à investir dans de nouvelles régions du monde* », note Patrick Nédellec. Plusieurs projets de recherche de ces



1. L'unité mixte internationale (UMI) est un laboratoire associant le CNRS et une institution partenaire étrangère. L'unité mixte d'institut français à l'étranger (UMIFRE) est un partenariat similaire entre le CNRS et le ministère français des Affaires étrangères et européennes. 2. Le LIA est un « laboratoire sans mur » qui associe un laboratoire du CNRS et un laboratoire d'un autre pays autour d'un projet défini conjointement. Les équipes conservent leur autonomie, leurs statuts, leur responsable en France et à l'étranger ainsi que leur localisation séparée. 3. Research Lab in Computer Science. 4. Indo-French Center in applied mathematics.

► Vue de  
Shanghai (Chine).

Lire l'intégralité de l'article  
sur <http://cnrsinfo.cnrs.fr>

UMI bénéficient de fonds du programme-cadre européen Horizon 2020, rappelle Laurent Bocheureau, conseiller à la science de la délégation de l'Union européenne en Chine : « La majeure partie de la production de connaissance se fait hors d'Europe. Nous devons nous ouvrir et ne pas travailler seuls, surtout lorsqu'il s'agit de défis globaux. »

### Réunir les chercheurs

Le deuxième objectif d'Aur@sia 2017 est de mettre en réseau les activités de recherche du CNRS dans cette région du monde – soit 14 UMI (sur 36 à l'échelle mondiale) et 5 UMIFRE (sur 25), et partager leurs expériences et stratégies.

« Plusieurs directeurs d'UMI peuvent se concerter pour répondre ensemble à des appels à projets, explique Jean-Yves Marzin, directeur de l'Institut des sciences de l'ingénierie et des systèmes du CNRS. Mais avant tout, il est intéressant de voir la complémentarité que des UMI pourraient avoir sur certaines thématiques de recherche. »

Car en Asie, la palette d'activités scientifiques est vaste. À commencer par le Japon, qui compte actuellement le plus grand nombre d'unités mixtes sur le continent, brassant des secteurs qui vont des nanotechnologies à la biologie, en passant par les sciences de l'information ou les sciences humaines. C'est d'ailleurs dans ce pays que se tiendra le prochain symposium Aur@sia, en 2019.

Autre pays phare de la collaboration du CNRS dans la région : Singapour, qui totalise 4 UMI, dont le BioMechanics of cellular contacts (BMC2), à l'interface entre la physique et la biologie.

À côté d'eux, les deux géants indien et chinois ne sont pas en reste. Le CNRS est très présent en Inde, où se côtoient sciences de l'information à Chennai (RELAX)<sup>3</sup>, mathématiques à Bangalore (IFCAM)<sup>4</sup> et deux UMIFRE, à Pondichéry et à Delhi. « La Chine et

l'Inde vont vivre plusieurs bouleversements d'une rapidité et d'une ampleur inédites », précise Nicolas Gravel, directeur du Centre de sciences humaines de New Delhi, qui s'intéresse notamment aux changements démographiques en Asie. « Dans dix ans, l'Inde sera le pays le plus peuplé du monde, devant la Chine. Elle restera majoritairement rurale. Les enjeux en matière de sécurité alimentaire,

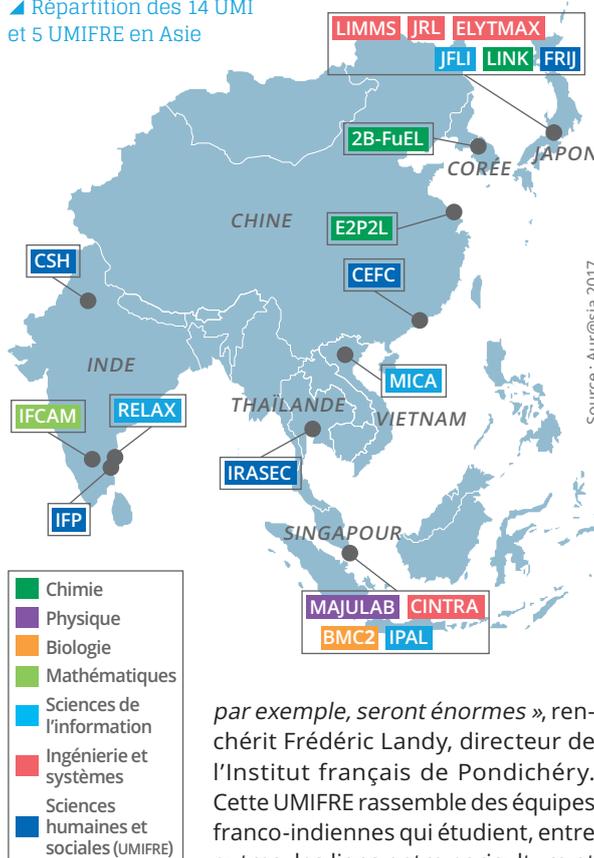
collaboration est établie entre académiques et chercheurs en entreprise, il y a une motivation durable pour créer ensemble quelque chose qui peut aboutir à des innovations de rupture », ajoute-t-il.

À cet égard, Solvay, partenaire incontournable du CNRS en France et aux États-Unis, l'est aussi à Shanghai, avec E2P2L, une UMI spécialisée en chimie verte qui accueille une vingtaine de chercheurs internationaux, dont trois du CNRS. « D'un côté il y a Solvay, de l'autre le consortium des partenaires de recherche, il faut donc trouver des projets qui conviennent aux deux », explique son directeur Stéphane Streiff. Les résultats en attestent : « En sept ans, nous avons été à l'origine de 50 publications et de 40 brevets, dont 20 en collaboration avec le CNRS ou d'autres institutions partenaires. En 2016, nous avons obtenu plus d'un million d'euros de financement à travers Horizon 2020 ou l'ANR. »

« L'industrie doit faire face à des problèmes fondamentaux, qui insufflent une motivation supplémentaire, observe Abderrahmane Kheddar, codirecteur de l'UMI Joint Robotics Laboratory, à la pointe de la recherche franco-japonaise en robotique. Nous aidons nos partenaires industriels, tels Airbus, Michelin ou Mitsubishi, à créer des robots qui peuvent interagir dans un monde fait pour les humains »

Mais « un des avantages des UMI, c'est de pouvoir trouver des fonds auprès des deux institutions partenaires. Mes collègues japonais peuvent donc obtenir des financements européens ou de l'ANR, tandis que nous pouvons en recevoir de nos tutelles japonaises », explique le spécialiste, précisant que le JRL a ainsi bénéficié d'un projet Horizon 2020 avec Airbus. Preuve, s'il en est, que le réseau du CNRS à l'international est devenu bien plus « que la somme de toutes ses parties », conclut Patrick Nédellec. ■

### ► Répartition des 14 UMI et 5 UMIFRE en Asie



par exemple, seront énormes », renchérit Frédéric Landy, directeur de l'Institut français de Pondichéry. Cette UMIFRE rassemble des équipes franco-indiennes qui étudient, entre autres, les liens entre agriculture et environnement.

### Au plus près de l'industrie

Cette quête de complémentarités entre chercheurs implique également de dresser des ponts stratégiques avec les industriels. C'est le cas notamment pour la chimie, qui est « à la fois une discipline scientifique et une industrie », note Jacques Maddaluno, directeur de l'Institut de chimie du CNRS. « Lorsqu'une bonne

# Les lettres de Proust bientôt en ligne

SOCIÉTÉS



NUMÉRIQUE



**Littérature.** La correspondance de Marcel Proust, riche de milliers de lettres dispersées dans le monde entier, fait l'objet d'un vaste programme de numérisation. Le projet « Corr-Proust », dont la mise en ligne débutera en novembre 2018, permettra d'apporter un nouvel éclairage sur l'œuvre monumentale de l'écrivain et sur son époque.

PAR FRANCIS LECOMPTE



© CSU ARCHIVES/EVERETT COLLECTION/BRIDGEMAN IMAGES

▼ Marcel Proust autour de 1900.



*Je passe depuis quelque temps des heures mauvaises, d'un mal nouveau. Une lettre, ce m'est déjà difficile.* » Dans cette lettre à Lucien Daudet de 1909<sup>1</sup> comme dans beaucoup d'autres, Marcel Proust se plaint de ses difficultés à écrire, ne serait-ce que quelques lignes. L'ensemble de sa correspondance est pourtant estimé à quelque vingt mille lettres, si l'on tient compte des télégrammes, des dédicaces, des messages de condoléances... De cette immense masse de documents, pas loin de six mille ont été retrouvés et font l'objet de diverses publications, dont la fameuse *Correspondance* éditée par Philippe Kolb<sup>2</sup>. Un fonds exceptionnel, mais qui évolue en permanence au fur et à mesure que de nouveaux textes refont surface, au point que la *Correspondance* est devenue presque illisible sur papier, à force de mises à jour renvoyées en notes et en annexes.

## Une collaboration franco-américaine

Le projet « Corr-Proust » veut effacer ces inconvénients et donner du même coup une ampleur sans précédent à ce fonds d'archives en le rendant bientôt accessible sur une plateforme Internet. Celle-ci sera le résultat du vaste travail de numérisation entrepris par le consortium « Proust 21 », associant l'université américaine de l'Illinois à Urbana-Champaign – qui possède environ 1 200 lettres –, l'Institut des textes et manuscrits modernes (Item)<sup>3</sup> et le laboratoire Litt & Arts<sup>4</sup>. Une première mise en ligne est prévue en fin d'année, à l'occasion du centenaire de l'armistice du 11 novembre 1918, avec un corpus de 200 lettres liées à la Première Guerre mondiale.

Si d'autres projets ont déjà défriché ce terrain transdisciplinaire, le projet Corr-Proust veut aller beaucoup plus loin. « *Nous avons attendu que les outils s'améliorent, afin de créer des données enrichies, avec différents types de*

*balisage, permettant plusieurs angles de recherche possibles* », explique Françoise Leriche, professeure à l'université Grenoble Alpes (UGA) et responsable scientifique du projet. Ancienne assistante de Philip Kolb – le chercheur américain d'Urbana-Champaign qui, à partir des années 1970, a édité en 21 volumes tout ce qu'il a pu retrouver de la correspondance de l'écrivain –, Françoise Leriche se félicite aujourd'hui des ressources offertes par le XML (Extensible Markup Language). Ce langage informatique permet de restituer non seulement les différentes couches de texte, avec ses corrections, ses ajouts ou ses suppressions successifs, mais aussi de reproduire les lettres en respectant la stricte mise en page du document, y compris des phrases écrites en oblique, par exemple.

## Un vaste corpus de données

Tout cela ne s'est pas fait d'un claquement de doigts. « *Au début des années 2000, ce n'était pas gagné d'avance de convaincre des informaticiens de venir travailler sur ce type de projets d'édition littéraire* », se souvient Françoise Leriche. À force de persuasion, elle a pourtant fini par obtenir le concours de Thomas Lebarbé, enseignant-chercheur en informatique à l'UGA, qui avait déjà travaillé sur le projet d'édition numérique des manuscrits de Stendhal. Commence alors un long travail pour arriver à partager, entre littéraires et informaticiens, le même... langage.

Car le texte ne représente qu'une partie des multiples données à décrire et à encoder. Il y a également la qualité du papier, qui permet souvent de préciser la période à laquelle a été rédigée la lettre, – car Proust ne datait généralement pas ses courriers –, ou encore le moyen d'écriture (crayon à papier, plume à encre, machine à écrire), le lieu où l'écrivain l'a rédigée... « *Cet encodage permettra*

1. Lettre de mars ou avril 1909, conservée à la Rare Book & Manuscript Library de l'université de l'Illinois. 2. Marcel Proust, *Correspondance*, éditée par Philip Kolb, Plon, 1970-1993, 21 tomes. Fait également partie de ce fonds la *Correspondance générale*, publiée par Robert Proust et Paul Brach, Plon, 1930-1936, 6 tomes. 3. Unité CNRS/ENS/Université de Poitiers. 4. Unité CNRS/Université Grenoble Alpes. 5. Pyra Wise, ingénieure à l'Item, participe aussi au projet.



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

de rechercher par exemple toutes les lettres que Proust a écrites à l'hôtel des Roches noires, à Trouville, ou, sur un autre registre, toutes les citations qu'il a faites ou toutes les mentions d'institutions diverses. Bref, nous voulons donner accès au plus grand champ d'explorations possible », précise la chercheuse.

Le système permet aussi de reproduire les photos, coupures de presse et autres documents que le romancier joignait quelquefois à ses courriers. Car si, au fil de ses lettres, on retrouve le Proust observateur incomparable des relations implicites entre les êtres humains d'À l'ombre des jeunes filles en fleurs, on y découvre aussi un homme totalement engagé dans son époque.

### Le narrateur et l'écrivain

Et c'est d'ailleurs tout l'intérêt de cette correspondance d'éclairer d'un jour inédit la Recherche. Le vrai Proust apparaît très éloigné de l'écrivain souffreteux et reclus dans son lit : il se révèle au contraire grand lecteur de la presse, très au fait de l'actualité – il suit de très près l'affaire Dreyfus et les tensions internationales, puis l'évolution de la Grande Guerre –, curieux de littérature comme d'automobiles et attentif aux progrès technologiques comme aux cours de la Bourse.

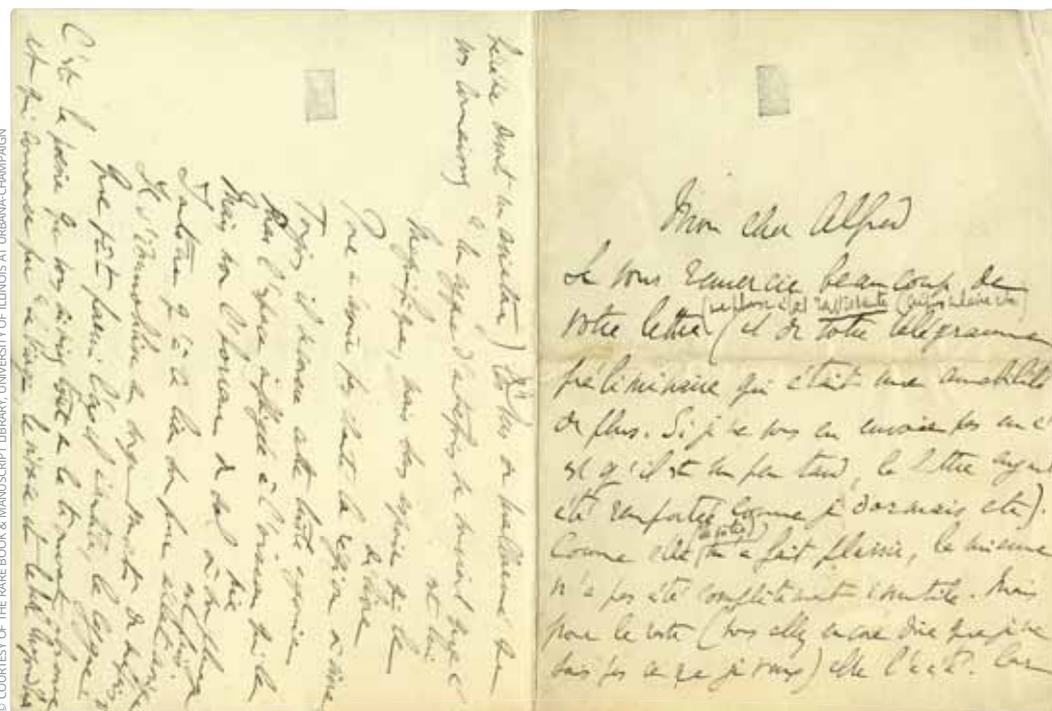
« On voit bien à travers la correspondance que le narrateur de la Recherche, ce n'est pas Marcel Proust ! s'écrit Nathalie Mauriac Dyer, responsable de l'équipe Proust de l'Item<sup>5</sup>. Ce narrateur, c'est un personnage imaginé par Proust, celui de l'écrivain idéal, qui peut se consacrer entièrement à son œuvre. » Les lettres permettent aussi de lire entre les lignes de l'œuvre romanesque, truffée de private jokes, selon la chercheuse, par lesquelles Proust multiplie les clins d'œil amicaux ou, au contraire, règle discrètement ses comptes.

Sa correspondance révèle par ailleurs un homme soucieux de conserver des relations dans tous les milieux sociaux – il écrit aux concierges, fait parler des domestiques –, loin du snob qu'on imagine souvent, enfermé dans son cercle de relations mondaines du faubourg Saint-Germain. Elle révèle aussi un écrivain plus mesuré que son narrateur, échappant à certains préjugés de son époque comme, par exemple, les réflexes anti-germaniques. Un auteur scrupuleux, aussi, quand il écrit à tel

scientifique de ses relations pour vérifier si l'on peut dire que les œufs « coagulent » à une certaine température.

### Une histoire culturelle

De quoi donner du grain à moudre aux chercheurs qui continuent de se pencher sur l'œuvre de Proust. Les universités du monde entier, et en particulier au Japon, poursuivent l'analyse purement génétique de l'œuvre – celle qui reconstitue et étudie les différentes phases d'écriture du roman. Quant aux thématiques de recherche liées à l'œuvre elle-même, elles restent inépuisables. Après le Proust des rapports psychologiques et des relations humaines, puis celui de la « nouvelle critique » littéraire des années 1960, centrée sur l'approche psychanalytique et les questions de narration, « la recherche s'intéresse beaucoup désormais à l'histoire culturelle sous-jacente dans le roman, observe Nathalie



Mauriac Dyer : l'œuvre constitue, en effet, un immense trésor de sources littéraires, mais aussi musicales, théâtrales ou politiques de la Troisième République. »

Sont concernées aussi dans cette approche toutes les questions de moralité. « Avec la manière dont il présentait son homosexualité et sa judéité, qui étaient pour lui toujours liées, Proust trouve un écho dans les débats actuels sur la théorie du genre ou sur les minorités politiques, poursuit la chercheuse. Omniprésentes dans son œuvre, ces questions y sont aussi abordées de manière plus ou moins allusive ou masquée. Il s'agit de les mettre en lumière. » II

► Lettre du 30 mai 1914 à son chauffeur-secrétaire Alfred Agostinelli, qui inspirera à Proust un des personnages de la Recherche.

# Fist SA devient CNRS Innovation

PAR LAURENCE STENVOT

**Valorisation.** Pour ses 25 ans, la filiale nationale de valorisation du CNRS, Fist SA, est rebaptisée CNRS Innovation. Ce faisant, une nouvelle stratégie est mise en œuvre, resserrant les liens avec la maison mère.

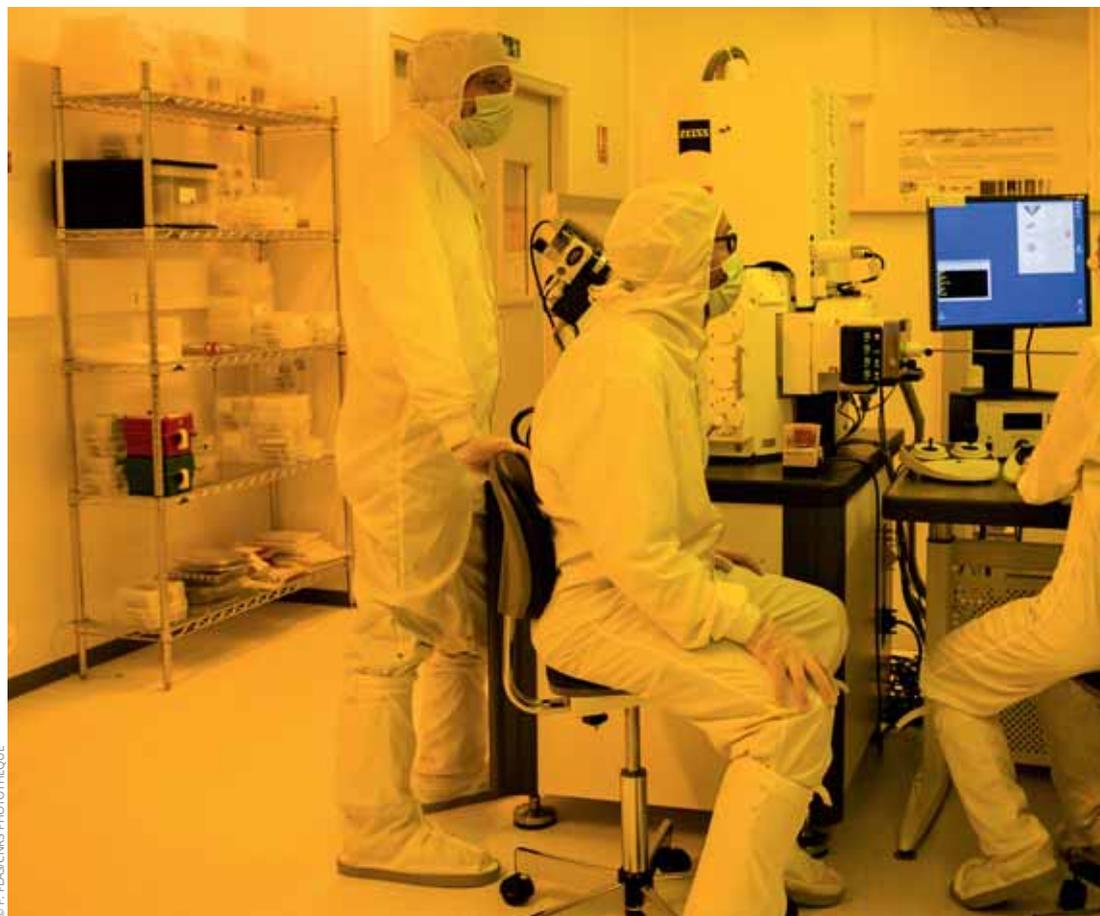
**F**rance Innovation Scientifique et Transfert SA (Fist SA) évolue à l'occasion de son 25<sup>e</sup> anniversaire. Créée en 1992, cette filiale du CNRS a pour mission de transférer vers l'industrie des technologies innovantes pour l'organisme. Elle est ainsi chargée, entre autres, de la concession de contrats d'exploitation, de la recherche de partenaires industriels et de la gestion de portefeuilles de brevets. Avec sa nouvelle appellation, CNRS Innovation, elle met aujourd'hui en avant son appartenance au CNRS.

« Du point de vue institutionnel, Fist SA n'évoquait pas grand-chose. Ce nom était hérité d'une époque où la filiale était partagée entre différentes institutions. Aujourd'hui, c'est avant tout la filiale du CNRS et nous souhaitons l'affirmer en proposant une identification claire de la filiale à l'organisme », explique Michel Mortier, délégué général à la valorisation du CNRS.

Le choix de la nouvelle appellation – effective en février 2018 –, est concomitant de la signature d'une convention, en août 2017, entre l'organisme et sa filiale nationale, offrant à cette dernière une plus grande responsabilisation et une définition forte de ses missions au service du CNRS et de ses laboratoires.

## Des missions clarifiées

« La signature de cette nouvelle convention va dans le sens d'un rapprochement de la filiale vers sa maison mère. La stratégie insufflée par cette convention et mise en œuvre avec le CNRS donne une plus grande autonomie à CNRS Innovation dans



© F. BLASONS PHOTOTHÈQUE

la prise de décision sur des dépôts de brevets ainsi que dans ses missions de transfert», détaille Johanna Michelin, nouvelle directrice générale de CNRS Innovation, nommée en août 2017.

« La signature des accords de licence est aujourd'hui transférée à CNRS Innovation qui, jusque-là, menait uniquement les négociations. C'est vraiment une marque de confiance vis-à-vis de notre filiale », ajoute Michel Mortier.

La réécriture des missions de CNRS Innovation par la nouvelle convention permet également une clarification du partage des rôles entre cette dernière et la Direction de l'innovation et de la relation avec les entreprises (Dire), précisant leurs deux missions, à la fois distinctes et complémentaires : le partenariat de l'innovation pour la Dire et le transfert de technologie pour CNRS Innovation.

« La Dire est positionnée sur le partenariat avec les grands groupes

Les recherches de Jean-Pierre Nozières au laboratoire Spintec ont abouti à la création de 4 start-up, dont Crocus Technology, soutenue par CNRS Innovation...

**2200**  
familles  
de brevets  
gérés

**80 à 100**  
contrats  
d'exploitation  
négociés par an

**20**  
Focus  
transferts  
(domaines de recherche  
stratégiques pour  
la valorisation)

*industriels, les accords-cadres, la création de structures communes de recherche avec les entreprises (laboratoires communs, unités mixtes...). CNRS Innovation est axée sur l'évaluation des technologies, la stratégie de protection de la propriété intellectuelle, la gestion du portefeuille de brevets, l'exploitation et le transfert vers les entreprises. Ce sont deux types de valorisation complémentaires, mais aujourd'hui on clarifie davantage les rôles », rapporte Michel Mortier.*

#### Une présence renforcée

Le nom CNRS Innovation, outre son aspect symbolique, marque également une dimension politique : il souligne la volonté de la filiale d'affirmer encore plus fortement son rôle national dans l'écosystème de la valorisation, et ce en tant qu'acteur de la valorisation des technologies du CNRS. Pour ce faire, l'image de la société a été repensée avec une modernisation du site internet et du logo.

« En matière de stratégie, le défi est d'affirmer le positionnement de CNRS Innovation dans le paysage de la valorisation et ainsi d'assurer sa

Depuis  
sa création,  
**29**  
prises de participation  
dans des  
start-up

avec  
**4,5**  
millions  
d'euros  
investis

*place forte, importante et claire pour l'ensemble des acteurs, mais également pour les bénéficiaires que sont les laboratoires », affirme Johanna Michielin. CNRS Innovation commence par exemple à développer de nouveaux services aux laboratoires en les accompagnant dans la rédaction et la réalisation d'appel à projets ERC « Proof of concept ».*

La prise de participation de CNRS Innovation au sein de start-up tend également à se développer. Depuis sa création, 29 prises de participation ont été effectuées, avec 4,5 millions d'euros investis. Aujourd'hui, CNRS Innovation est de plus en plus sollicité par des start-up se créant sur la base d'une technologie du CNRS et à qui la filiale concède une licence.

« Pour des raisons économiques mais également d'image, ces start-up souhaitent avoir CNRS Innovation au capital de leur entreprise. Pour elles, cela reflète un fort soutien du CNRS vis-à-vis de leur entreprise. La prise de participation est perçue comme une sécurité au moment des levées de fonds », note Michel Mortier.

#### Une expertise internationale

La stratégie future de CNRS Innovation se portera également vers l'international en proposant son expertise aux unités mixtes internationales du CNRS.

« En tant que filiale du CNRS, CNRS Innovation doit axer son action sur les grands atouts du CNRS que sont le partenariat de l'innovation, les relations fortes avec les grands groupes industriels français, la structuration de la recherche en réseaux nationaux et sa dimension internationale », rapporte Johanna Michielin.

La stratégie de CNRS Innovation permettra également à sa nouvelle direction de mettre en place de puissants leviers d'action pour la valorisation, notamment en plaçant son expertise au service d'autres organismes et entreprises, de nature à offrir à la filiale une plus grande visibilité.

Au cours de ses 25 premières années d'existence, CNRS innovation a développé plusieurs expertises telles que la veille scientifique et technologique, la cartographie, l'identification de partenaires et de technologies. Dans tous les domaines, la filiale sait délimiter le positionnement technologique d'un brevet. Une telle analyse apporte des signaux qui prédisent des orientations stratégiques des acteurs, des concurrents ou des partenaires potentiels. ||

**CNRS  
INNOVATION**

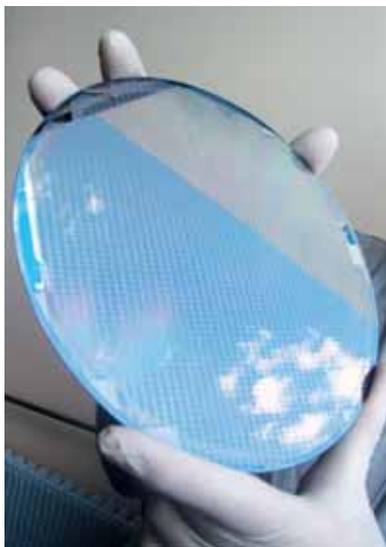


Le site de CNRS Innovation

>> [www.cnrsinnovation.com](http://www.cnrsinnovation.com)



... Ses travaux portent notamment sur les mémoires magnétiques. Ici, une tranche de silicium sur laquelle elles sont fabriquées.



© J.P. INOZIERES

# Les prouesses de la compression vidéo



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

NUMÉRIQUE

**Informatique.** Les vidéos sont aujourd'hui diffusées en très haute définition, y compris *via* des smartphones. Pour cela, des scientifiques mettent au point des méthodes de compression d'image ultra-sophistiquées, comme celles issues d'un laboratoire nantais qui collabore avec le géant américain Netflix.

PAR DENIS DELBECQ

Tous les trois ans en moyenne, la performance est multipliée par deux. » C'est ainsi que Patrick Le Callet, chercheur au Laboratoire des sciences du numérique de Nantes (LS2N)<sup>1</sup>, résume l'évolution des technologies de production des flux vidéo. Une performance doublée permet de multiplier par deux – voire par quatre – le nombre de points d'une image à débit égal, ou de diviser le débit par deux à qualité égale. On peut désormais visionner des vidéos sur un smartphone avec une qualité qui n'a rien à envier à celle de nos anciens DVD vidéo.

## Des Nantais sollicités par Netflix

Les équipes françaises ont acquis un savoir-faire de réputation mondiale dans ce domaine. Netflix, géant mondial de la diffusion vidéo à la demande, s'est ainsi rapproché il y a deux ans du LS2N. Le laboratoire s'est forgé une triple compétence, plutôt rare : la mise au point de méthodes (ou algorithmes) de compression, la prédiction automatique de la qualité perçue par l'audience et enfin la conception et la standardisation de protocoles d'évaluation subjective de qualité perçue, qui pourrait s'appliquer à toutes les technologies de compression d'image. En février 2017, Netflix a présenté un nouvel outil de codage vidéo réalisé en collaboration avec le LS2N, qui offre une haute qualité d'image avec un débit de 100 kilobits par seconde – 40 fois plus faible

▲ Fin février 2017 Netflix présentait à Barcelone un nouvel outil de codage vidéo conçu avec le LS2N.

que celui de la télévision en haute définition (HD) – compatible avec les réseaux de téléphonie mobile.

## D'innombrables façons de coder

La compression est une nécessité : les images brutes d'une caméra HD représentent un flux de plusieurs centaines de mégabits par seconde, incompatible avec la capacité des supports de stockage et le débit des réseaux de télécommunications fixes ou mobiles. La compression consiste à supprimer un maximum de données peu utiles ou redondantes, tout en limitant la distorsion des images. Une opération qui demande de lourds calculs et, bien sûr, de respec-



▼ La HDR (image 3) offre plus de détails et de contraste, que les images 1 (surexposée) et 2 (sous-exposée).

ter les standards de l'industrie, pour que les appareils puissent décoder les vidéos. Depuis vingt ans, les algorithmes de codage ont permis une envolée de la taille des images : aujourd'hui, les producteurs de contenus commencent à diffuser du « 4K » – environ 4 000 pixels de large, soit 8 millions de points (ou pixels) par image. On est loin des 400 000 pixels du MPEG-2 de nos DVD, même si les débits sont très proches, de l'ordre de 5 mégabits par seconde !

« La norme HEVC, la plus récente, est une boîte à outils », explique Patrick Le Callet. Ingénieurs et chercheurs ont toute liberté pour le codage, pourvu que, *in fine*, leurs flux vidéo respectent la norme. « Pour chaque image ou fragment d'image, il existe des millions de manières de procéder. » De plus, on doit différencier le traitement selon qu'une scène est statique ou en mouvement : « Quand la caméra est fixe, la pelouse d'un stade laisse apparaître la

1. Unité CNRS/École centrale de Nantes/Université de Nantes/Institut Mines-Télécom Atlantique/Inria. 2. Unité CNRS/CentraleSupélec/Université Paris-Sud. 3. Coauteur, avec Patrick Le Callet, du livre *High Dynamic Range Vidéo. From Acquisition to Display and Applications*, Academic Press/Elsevier, avril 2016, 630 pages.

texture de l'herbe, précise-t-il. Si l'on n'y prend pas garde quand la caméra bouge, la pelouse ressemblera à un tapis de billard sans relief! » La méthode d'encodage doit donc constamment s'adapter au fil des images qu'elle traite, tout en prédisant l'impact qu'aura un choix de codage sur la perception des images suivantes. « L'optimisation est un art qui nécessite à chaque instant de trouver le bon compromis entre la distorsion



© JECHOUARD/IZUMI/ARXA

perçue de l'image et le débit d'informations », affirme Patrick Le Callet.

### La qualité de l'expérience visuelle

Pour modéliser la perception des images, le LS2N s'appuie sur des panels d'utilisateurs. Ces tests nourrissent des banques de données, qui permettent de valider les algorithmes. « Nous étudions aussi des aspects en lien avec l'intention artistique, précise l'informaticien. Par exemple, pour éviter que la compression trahisse l'émotion voulue par le créateur des images. On utilise notamment l'oculomètre, un instrument qui suit en permanence le regard du spectateur. Ceci s'inscrit dans une meilleure appréciation de la qualité d'expérience, un champ de recherche en plein développement. » Le laboratoire se penche notamment sur une technique de renforcement

du contraste des images baptisée HDR (haute gamme dynamique). La HDR est, avec la compression, l'une des spécialités du Laboratoire des signaux et systèmes (L2S)<sup>2</sup>, où travaille Frédéric Dufaux<sup>3</sup>. Cette technique consiste à utiliser plus de bits pour coder chaque pixel, afin de percevoir davantage de détails dans les zones sombres ou très lumineuses d'une image. « L'enjeu, pour la télévision et la vidéo à la demande, est de coupler cette amélioration avec la diffusion d'images 4K sans peser sur le débit, explique le chercheur. On s'appuie sur les caractéristiques de la vision humaine : ainsi, on consacra plus d'informations à ce que l'œil perçoit mieux, et moins à ce qu'il voit moins. On tient compte aussi des situations, puisque les conditions de lumière peuvent évoluer rapidement, par exemple quand une caméra quitte un bâtiment pour se retrouver face à un ciel lumineux. » Le L2S a ainsi mis au point un algorithme associant HDR et HEVC. Il se penche en outre sur le codage des images en 3D.

### De la défense à la médecine

La compression ne se limite pas à la diffusion des flux de télévision et de vidéo à la demande : « Elle est très employée en vidéosurveillance, pour la défense, et aussi en médecine, note Frédéric Dufaux. De même, elle joue un rôle grandissant dans l'automobile avec les caméras de recul, d'alerte anti-collision, de franchissement de ligne continue ou de détection des panneaux routiers. » Avec des spécificités pour chaque application : alors qu'un téléspectateur ne supportera pas les distorsions, un militaire qui analyse l'image d'un drone de surveillance s'en accommodera, pourvu qu'elle lui permette de prendre la bonne décision. « En imagerie médicale, les médecins ne voulaient pas entendre parler de compression d'images, par peur de perdre des détails importants pour le diagnostic. À force de progrès, la compression est entrée dans les mœurs ! »

## Des nanosatellites dans l'espace

Lancé le 12 janvier 2018, PicSat est le premier nanosatellite du CNRS.

PROPOS RECUEILLIS PAR MARTIN KOPPE

### Qu'est-ce que la mission PicSat ?

**Sylvestre Lacour** : Le nanosatellite PicSat est destiné à observer l'exoplanète Beta Pictoris b lorsqu'elle passera devant son étoile. Ce phénomène, nommé transit, devrait nous en dire plus sur cette planète extrasolaire, trop peu lumineuse pour être observée directement. PicSat se compose de trois cubes de dix centimètres ou « Cubesats », et embarque un télescope miniaturisé, une fibre optique et un détecteur de photons.

### Quel intérêt un nanosatellite présente-t-il pour un astrophysicien ?

**S. L.** : Une mission spatiale classique s'étale sur trente ans. Grâce à la miniaturisation des instruments, les nanosatellites offrent une alternative nettement plus rapide et économique. Le projet PicSat a démarré il y a trois ans pour un budget de 1,5 million d'euros – le centième du coût d'une mission classique.

### Les nanosatellites intéressent-ils d'autres disciplines ?

**S. L.** : Les sciences de l'environnement aussi s'en sont emparées. En 2017, le projet international QB 50 a lancé 36 Cubesats pour étudier les concentrations de gaz dans la haute atmosphère, dont deux français. Nous ne sommes donc pas les premiers scientifiques hexagonaux à lancer un nanosatellite, mais les premiers au CNRS, sans conteste !



© THE PICSAT TEAM/LESIA/OBSPM



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

Voir le site du projet PicSat :  
 >> <https://picsat.obspm.fr>

<sup>1</sup>. Astrophysicien au Laboratoire d'études spatiales et d'instrumentation en astrophysique, et responsable de la mission PicSat.

# Un trésor exceptionnel retrouvé à Cluny

PAR MARTIN KOPPE

SOCIÉTÉS

**Archéologie.** Centre culturel et religieux majeur de l'Europe médiévale, l'abbaye de Cluny n'a pas encore révélé tous ses secrets. Des archéologues y ont en effet découvert un trésor dissimulé dans l'ancienne infirmerie, constitué de pièces d'or et d'argent ainsi que d'autres objets précieux.

Un formidable trésor a été mis au jour en septembre 2017 à l'abbaye de Cluny, en Saône-et-Loire. Quelques mois plus tard, son examen permet aux chercheurs d'avancer leurs premiers résultats.

## Une découverte fortuite

Lorsqu'elles ont lancé cette campagne de fouilles en 2015, Anne Baud, maître de conférences à l'université Lumière Lyon 2, et Anne Flammin, ingénieure au CNRS, du laboratoire Arar<sup>1</sup>, étudiaient pourtant tout autre chose. « *Nous nous intéressions à l'infirmerie, relate Anne Flammin, un espace essentiel qui fonctionne comme un petit monastère au sein d'un plus grand monastère.* » L'infirmerie abrite en effet une

► Outre des dinars d'or et une feuille d'or pliée, cette bague sigillaire d'une grande valeur fait partie du trésor.

partie de la communauté (moines malades ou âgés, enfants...) et constitue, autour de la chapelle mariale, un rôle liturgique essentiel dans le monde clunisien. L'étude, par l'archéozoologue Benoît Clavel, du laboratoire AASPE<sup>2</sup>, des restes d'os et d'arêtes enfouis permettra d'établir le menu des clunisiens souffrants.

Au cours du décapage (opération d'enlèvement des premières couches), la pelle mécanique n'a fait que frôler le butin sans l'abîmer. « *On a tout arrêté pour fouiller à la main* », poursuit Anne Flammin.

Le trésor tenait dans un sac en tissu rempli de plus de 2 116 deniers et 143 oboles d'argent, pour la plupart émis par l'abbaye dans la première moitié du XII<sup>e</sup> siècle. Au milieu de ces pièces, une bourse en peau tannée contenait les éléments les plus précieux : 21 dinars musulmans en or, un anneau sigillaire<sup>3</sup> en or, une feuille d'or pliée de 24 grammes et un petit objet en or en forme de bouton.

## Un butin chargé de mystère

Quel montant pouvait bien représenter un tel trésor ? Vincent Borrel, doctorant à l'Aoroc<sup>4</sup> chargé d'étudier les monnaies, estime que « *le trésor devait permettre de se payer entre deux et seize chevaux, l'équivalent d'autant de voitures aujourd'hui. La somme est donc assez élevée pour un individu, mais loin d'être énorme à l'échelle de l'abbaye, puisqu'elle représenterait seulement une semaine d'approvisionnement des moines en vin et en grains.* »

L'ordre de Cluny essayait alors des prierés dans tout le monde occidental, lesquels faisaient remonter leurs revenus jusqu'à la maison

mère, autorisée à frapper sa propre monnaie depuis le X<sup>e</sup> siècle.

Si cela explique la présence des deniers d'argent, les pièces d'or étaient beaucoup plus rares à l'époque. « *Il n'y a pas de très grandes émissions de monnaies d'or chrétiennes avant que Florence ne batte ses florins, à partir de 1252* », observe Vincent Borrel.

Les 21 dinars en or ont été frappés entre 1121 et 1131 en Espagne et au Maroc sous le règne d'Ali Ben Youssef (1106-1143) de la dynastie berbère des Almoravides.

Mais l'objet le plus précieux du trésor demeure l'anneau sigillaire, avec l'inscription « AVETE » (salutation latine). Si la bague date du XII<sup>e</sup> siècle, la pierre de cornaline dans laquelle est gravé en creux le buste du héros Hercule avec sa massue remonte à l'Antiquité. Un tel bijou valait plus que tout le reste du butin réuni.

De nombreuses questions demeurent : qui a bien pu cacher ce butin, et pourquoi ? « *Un dignitaire religieux ou un ecclésiastique de haut rang a peut-être voulu enfouir son pécule* », suggère Anne Flammin.

Les chercheurs ont eu beaucoup de chance : « *Le trésor a été trouvé sous un sol médiéval et dans un bâtiment qui a été démoli au XVIII<sup>e</sup> siècle afin de construire la nouvelle abbaye, détaille-t-elle. Les fouilles montrent que les ouvriers avaient arrêté de creuser à seulement dix centimètres de la cache.* » II

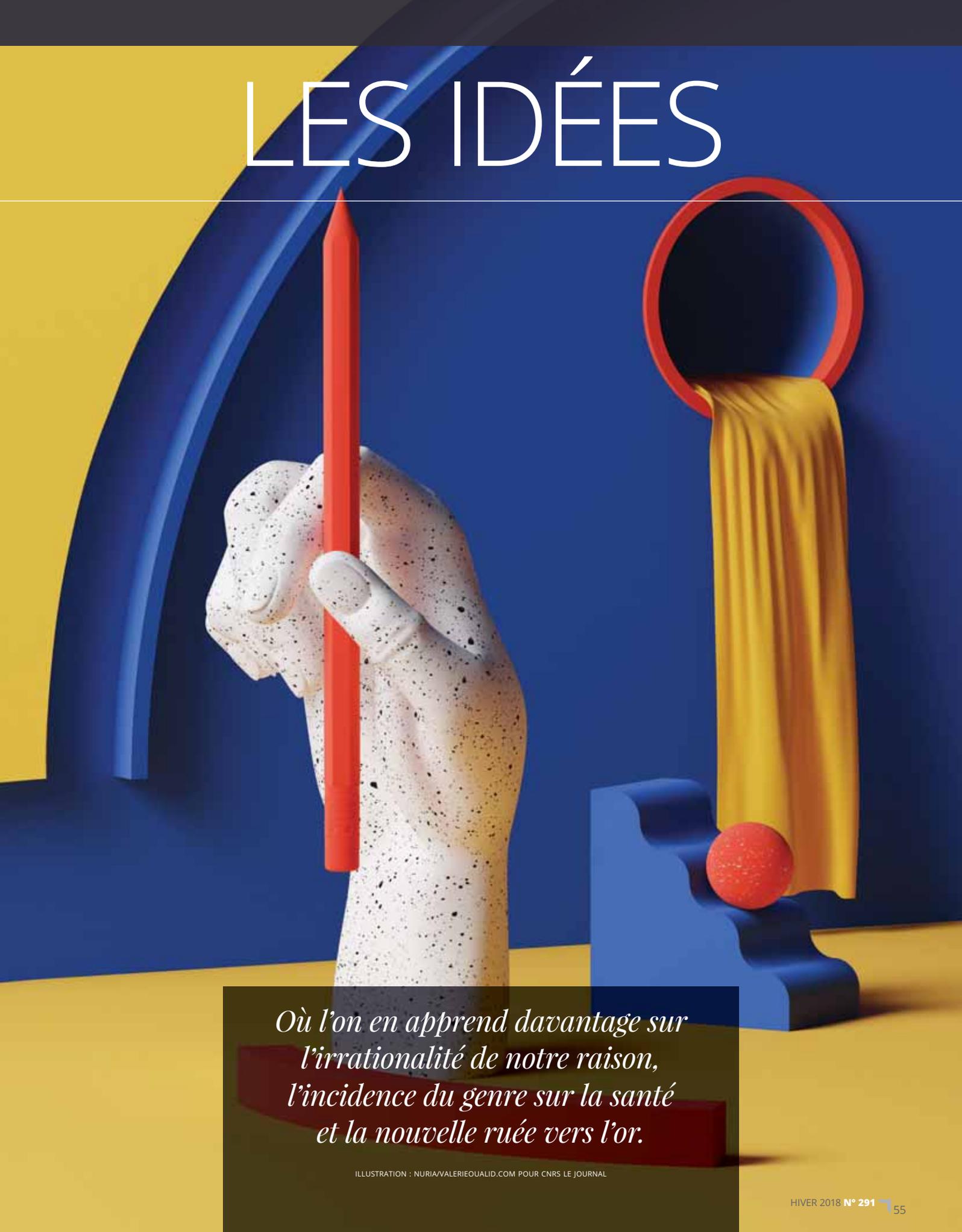


© PHOTOS : UNIVERSITÉ LUMIÈRE LYON 2

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

1. Archéologie et archéométrie (CNRS/Univ. Claude-Bernard Lyon 1/Univ. Lumière Lyon 2/Min. de la Culture/Inrap). 2. Archéozoologie, archéobotanique : sociétés, pratiques et environnements (CNRS/MNHN/Inrap). 3. Un anneau sigillaire est une bague destinée à servir de sceau (sigillum). 4. Laboratoire Archéologie et philologie d'Orient et d'Occident (CNRS/ENS Paris/EPHE).

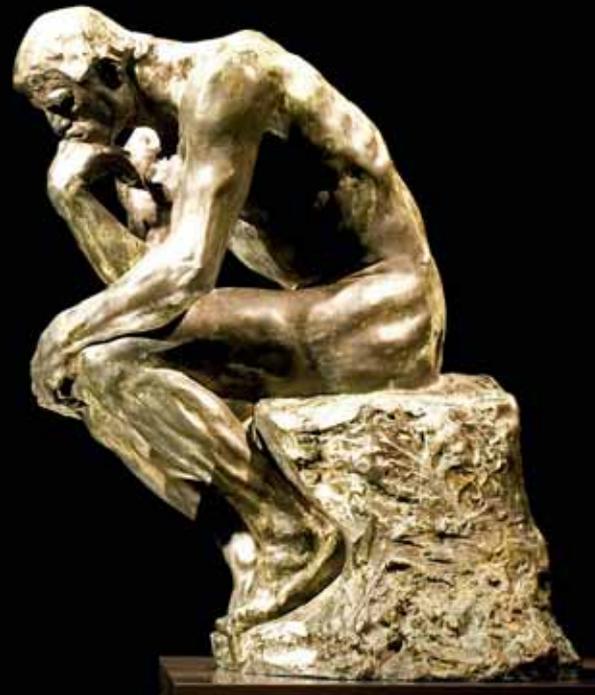
# LES IDÉES



*Où l'on en apprend davantage sur  
l'irrationalité de notre raison,  
l'incidence du genre sur la santé  
et la nouvelle ruée vers l'or.*

ILLUSTRATION : NURIA/VALERIEOUALID.COM POUR CNRS LE JOURNAL

# Notre raison est-elle rationnelle ?



Faites entrer l'accusé ! Un tribunal scientifique, présidé par des chercheurs en sciences cognitives, ouvre un procès inédit : celui de notre raison. D'un côté, la défense se veut sereine. Les preuves sont là : des centaines voire des milliers d'écrits de philosophes ou encore de longues listes de prix distinguant les plus grands savants

qui ont éclairé au fil des siècles la connaissance humaine. La démonstration est irréfutable, triomphante : notre raison célèbre la logique, seule à même d'éclairer nos choix.

De l'autre, l'accusation n'est pas en reste : sur sa table, des piles d'articles scientifiques, des résultats d'imagerie cérébrale, autant d'expériences de psychologie et de neurosciences.

« La relation entre la logique et notre raison est loin d'être aussi simple et évidente », plaide le chercheur Hugo Mercier, de l'Institut des sciences cognitives<sup>1</sup> de Lyon, en compagnie de son ancien directeur de thèse, Dan Sperber.

Leur ouvrage, *L'Énigme de la raison*<sup>2</sup>, s'oppose avec force aux tenants de la raison dite intellectualiste : « La fonction première de la raison est sociale », avance Hugo Mercier.

## Logique ou conformisme ?

Allons là où se tranche le débat : dans la tête d'un juré au moment de livrer son verdict. Sa décision finale est-elle le fruit d'un raisonnement personnel, logique et rigoureux, ou le résultat d'un processus plus intuitif et social ? Pour y répondre, le neuroscientifique lyonnais Jean-Claude Dreher<sup>3</sup> a réalisé une étude originale publiée en juin 2017 dans la revue *Plos Biology*<sup>4</sup>.

Voici comment. Plongez un juré dans un appareil d'imagerie cérébrale fonctionnelle et demandez-lui de statuer sur plusieurs affaires criminelles. Pour chaque cas, une fois son verdict établi, proposez-lui de réviser, le cas échéant, son jugement en fonction des avis des autres jurés.

« Nous avons observé que plus la confiance d'un juré en son propre verdict est faible, plus il aura tendance à réviser son jugement et à suivre la décision collective. L'avis du jury pèse d'autant plus sur la décision individuelle que le nombre de jurés est élevé », indique Jean-Claude Dreher. Notre raison serait-elle donc plus conformiste que prompt à affirmer sa propre logique ? « Le biais de conformisme a souvent été invoqué pour expliquer ce comportement. Ici, c'est un mécanisme plus subtil qui est à l'œuvre », nuance le chercheur.

La prise de décision du juré est en effet plus inférentielle que moutonnaire. En sciences cognitives, on parle de processus d'inférence lorsqu'un mécanisme permet de tirer des conclusions générales, ou des représentations mentales globales, à partir d'un certain nombre d'informations parcellaires. Par exemple, lorsque le

VIVANT  SOCIÉTÉS 

**Neurosciences.** L'adage dit qu'on a toujours deux raisons pour faire quelque chose : une bonne raison et la vraie raison. Des travaux en neurosciences et en psychologie tendent aujourd'hui à montrer que la vraie raison est rarement rationnelle.

PAR JEAN-BAPTISTE VEYRIERAS



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

matin, en ouvrant les volets, nous découvrons un ciel gris et menaçant, nous inférons, sur la base de ce constat et de nos expériences passées, qu'il risque de pleuvoir dans la journée.

Dans le cas de notre juré, Jean-Claude Dreher et ses confrères sont parvenus à localiser précisément les deux régions du cerveau qui réalisent cette inférence.

Comment ? Considérons le cortex frontopolaire, dénommé FPC (*frontopolar cortex* en anglais), situé juste derrière nos yeux. « Cette région évalue la crédibilité des informations que nous recevons des autres, explique Jean-Claude Dreher. Lorsque le juré prend connaissance du verdict des autres jurés, le FPC en évalue la pertinence. Cette donnée sociale est alors intégrée au sein d'une deuxième région, dans la partie dorsale du cortex cingulaire antérieur, qui joue ici le rôle de centre de décision. Celle-ci résulte alors de l'intégration de l'information sociale en provenance du FPC et de l'information individuelle, tout en pondérant chacune des deux sources par son degré de confiance. »

### Des intuitions justifiées par la raison

À l'image de la décision du juré, notre raison serait-elle davantage la combinaison d'intuitions et de jugements sociaux que de raisonnements explicites et de logique ? « Les intuitions jouent un rôle clé dans l'expérience que nous avons du monde, confirme Hugo Mercier. La raison sert avant tout à les expliquer et à les justifier. » La raison produirait donc après coup ses raisons ?

Reprenons l'expérience de pensée dans laquelle un individu prend son parapluie un matin où le ciel est nuageux. Même s'il n'y a pas explicitement réfléchi au moment où il l'a prise, sa décision d'emporter le parapluie découle d'une vague intuition : la présence de nuages est généralement annonciatrice de pluie. Supposons maintenant qu'il ait finalement fait grand soleil toute la journée et que, rentrant le soir, l'individu croise un ami qui l'interroge, surpris, sur la présence du parapluie. C'est seulement là, pour justifier la présence désormais incongrue de cet objet, qu'il va fournir une raison explicite (et rationnelle) à sa décision matinale.

À bien y réfléchir, chacune de nos journées est ainsi rythmée par ces situations où nous devons justifier nos propres décisions aux yeux des autres (famille, amis, collègues, etc.). Face à leur jugement, nous nous faisons constamment l'avocat de nous-même. Et notre raison nous aide à étayer nos plaidoiries.

« Les raisons produites par notre raison sont destinées en premier lieu à l'usage social, gage Hugo Mercier. Sa finalité est argumentative afin de nous justifier et de

convaincre les autres. » Les raisons objectives relèveraient donc bien davantage de la morale que de la réalité de notre cerveau.

### La raison : une adaptation à la vie sociale

Mais, rassurons-nous, la « raison interactionnelle », comme la qualifient Hugo Mercier et Dan Sperber, n'aboutit pas forcément à la manipulation ou à la tromperie. « Plusieurs études en sciences cognitives soulignent à quel point le dialogue au sein d'un groupe conduit à de meilleures solutions », souligne Hugo Mercier.

Cependant, si la société bénéficie des lumières de nos raisons individuelles lorsque celles-ci s'accordent, ces dernières visent bien en premier lieu à promouvoir notre propre intérêt.

« La raison est une adaptation à la vie sociale où la confiance doit être gagnée et demeure limitée et fragile, observe Hugo Mercier. C'est pourquoi nous sommes plus prompts à pointer les erreurs de raisonnement chez les autres qu'à démasquer les nôtres. » En science cognitive, cette mauvaise foi s'illustre au travers de biais cognitifs largement documentés sous les noms de biais de confirmation, effet retour de flamme, dissonance cognitive, etc. « Si la raison, poursuit-il, était avant tout une faculté visant à la construction rigoureuse d'un savoir objectif, comment l'évolution aurait-elle pu sélectionner autant d'imperfections ? » Hugo Mercier cite le cas du prix Nobel de chimie Linus Pauling : « La qualité de ses travaux scientifiques est incontestable. En revanche, son entêtement à défendre les croyances sur les pouvoirs miraculeux de la vitamine C, censée guérir rhumes et cancers, était totalement irrationnel. »

Il n'y a bien que sous l'hypothèse d'une raison interactionnelle que « ces biais et cette paresse de raisonnement ne sont plus des défauts au regard de l'évolution, affirme le chercheur, mais bien des caractéristiques au service de la véritable fonction de la raison. Nous sommes biaisés vers des raisons qui soutiennent notre point de vue car c'est ainsi que nous pouvons justifier nos actions aux yeux des autres et les convaincre d'embrasser nos idées ».

Dès lors, toute démarche rationnelle nécessite la pleine conscience de notre raison « égoïste » afin de pouvoir en déjouer les biais et les erreurs. C'est dans ce sens que la démarche scientifique s'est instituée : chaque argument y est passé au crible de l'évaluation par la communauté de chercheurs. Au sein de nos multiples interactions sociales, concilier au mieux les intérêts individuel et collectif demeure encore, sur ce point, un vrai défi pour la raison. ■

► Le Penseur de Rodin (exposition du musée Singer Laren, aux Pays-Bas).

1. Unité CNRS/Université Claude-Bernard. 2. *The Enigma of Reason. A New Theory of Human Understanding*, Allen Lane, mars 2017, 416 pages. 3. Directeur de recherche à l'Institut des sciences cognitives Marc-Jeanerod (CNRS/Université Claude-Bernard). 4. « Integration of individual and social information for decision-making in groups of different sizes », S. A. Park, S. Goïame, D. A. O'Connor et J.-C. Dreher, *Plos Biology*, publié en ligne le 28 juin 2017.



PHOTOS : DR

# La ruée vers l'or nanométrique

**Hazar Guesmi**, physico-chimiste à l'Institut Charles-Gerhardt Montpellier<sup>1</sup>.

**Olivier Pluchery**, physicien à l'Institut des nanosciences de Paris<sup>2</sup>; directeur du groupement de recherche du CNRS Or-Nano.

**L'or a toujours fasciné l'homme : sa couleur, sa rareté ou encore son caractère inaltérable lui ont donné à nos yeux une valeur inégalée.** Mais depuis quelques années, il est aussi sous la loupe des scientifiques qui explorent ses propriétés nanométriques.

En effet, les petits grains d'or sous forme de nanoparticules, de taille allant de 1 à 100 nanomètres (nm), possèdent des propriétés qui diffèrent considérablement du comportement de l'or massif. Ainsi, l'or nanométrique change de couleur et de comportement et acquiert des propriétés physiques et chimiques inattendues.

Les apparences colorées de l'or ont intéressé les scientifiques, et avant eux les alchimistes du Moyen Âge. Mais c'est à Michael Faraday que l'on doit d'avoir établi en 1857 le lien entre la taille des particules et la couleur de l'or colloïdal<sup>3</sup>. Par la suite, l'or a été quelque peu négligé par les scientifiques, avant de refaire parler de lui dans les années 1980, quand on lui découvrit des propriétés catalytiques.

Aujourd'hui, l'engouement pour les nanoparticules d'or est favorisé par notre meilleure compréhension de ces matériaux et de leur potentiel applicatif en catalyse, en détection chimique et biologique, dans le traitement du cancer, en tant que marqueurs pour la microscopie électronique à transmission ou à effet tunnel, sans oublier la photonique et l'électronique.

## Lumière, formes et couleurs

L'interaction très particulière de la lumière avec les nanoparticules d'or leur confère une apparence colorée bien différente de la couleur d'un lingot d'or pur. Les nanoparticules d'or sphériques de 20 nm de diamètre sont rouge rubis car

elles piègent les longueurs d'onde vertes (et ne laissent passer que les longueurs d'onde du rouge, couleur complémentaire du vert). Si, au lieu de nanosphères, on fabrique des nano-bâtonnets de taille semblable, leur couleur prend une teinte bleutée ou violette. C'est une conséquence d'un effet de confinement de l'onde électromagnétique dans ces nano-objets métalliques.

Ce domaine de la nano-optique est passionnant car il permet de « sculpter » les ondes lumineuses sur des distances bien plus petites que la longueur d'onde de la lumière, ce qui semblait une gageure il y a quelques années. Les chercheurs ont appris à jouer avec les formes de nano-objets pour contrôler ainsi les ondes électromagnétiques à des échelles sub-longueur d'onde : ce sont des sphères, des triangles, des nano-étoiles, des nano-oursins et chacune de ces formes a une couleur différente. Ce domaine nouveau appelé la plasmonique trouve des ramifications non seulement en optique, mais aussi en réactivité chimique et, surtout, dans le domaine médical.

## Des réservoirs à électrons

Les nanoparticules intéressent aussi le domaine de l'électronique, qui est le premier débouché industriel pour les producteurs d'or. Les technologies de la microélectronique ont développé l'art de contrôler les courants électriques pour transmettre des signaux binaires et donc de l'information. C'est le cœur du fonctionnement de nos ordinateurs et de nos smartphones. La clé des évolutions futures réside dans notre capacité à miniaturiser toutes ces fonctions de traitement de l'information.

Dans cette course technologique, les nanoparticules apparaissent comme des

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

conducteurs ultimes pour ce qui est de la taille. Et, plus passionnant encore, les nano-courants électriques qu'ils véhiculent adoptent de nouveaux comportements, dits quantiques, où les particules sont des « nano-réservoirs » à électrons, si petits qu'ils permettent de contrôler un courant électrique, électron par électron. Ainsi, il peut être envisagé une électronique avec les plus faibles courants imaginables, comme une miniaturisation ultime.

## Une surprenante réactivité

D'une manière générale, la réactivité des nanoparticules vis-à-vis de réactions chimiques provient de leur très grande surface utile par rapport à leur volume. Cette hausse du rapport surface-volume, résultat de la baisse de la taille des particules, s'accompagne de changements structuraux significatifs qui affectent directement la réactivité. Par exemple, la distance entre les atomes d'or dans la nanoparticule peut diminuer jusqu'à 15 % par rapport à l'or massif.

De même, plus les nanoparticules sont petites, plus on y trouve des atomes « sous-coordinés » instables. Les études théoriques indiquent que ces atomes, situés sur les sommets et les bords des nanoparticules, sont le siège de la réactivité chimique accrue et sont donc les sites préférentiels pour l'adsorption des molécules réactives telles que le monoxyde de carbone (CO), le dihydrogène (H<sub>2</sub>), le dioxygène (O<sub>2</sub>), etc. À la différence d'autres métaux, la nature noble de l'or empêche une forte adhésion de ces molécules sur la surface et leur permet d'interagir et de se transformer. C'est le caractère modéré de cette liaison qui est à la base de la réactivité surprenante des catalyseurs à base d'or dans l'oxydation de CO à basse température, entre 25 et 70 °C. Une réaction qu'aucun autre métal n'est capable de catalyser à de telles températures. Une raison de plus de penser que la ruée vers l'or est encore loin d'être terminée dans les laboratoires. **II**

Ce texte a fait l'objet d'une publication commune avec *The Conversation*, partenaire du Forum du CNRS 2017.

1. Unité CNRS/Université de Montpellier/ENSC Montpellier. 2. Unité CNRS/UPMC. 3. L'or colloïdal est une suspension de nanoparticules d'or dans un milieu fluide qui peut être l'eau ou un gel.



## La santé n'est pas étrangère au genre

**Mathieu Arbogast**

Sociologue, chargé de projet à la Mission pour la place des femmes au CNRS.

**Il y a quelques années, les autorités américaines se sont aperçues que 80 % des médicaments retirés du marché l'avaient été en raison d'effets secondaires sur les femmes.** Rien de surprenant à cela si l'on sait que les phases d'essais portent en très grande majorité sur des sujets mâles.

S'intéresser au genre dans les recherches sur la santé passe par la prise en compte du sexe des échantillons durant les tests, mais cela va bien au-delà. Cela permet de découvrir que ce qu'on croyait « naturel » ne l'est pas. Ainsi, l'anthropologue Priscille Touraille a montré comment les femmes sont devenues plus petites que les hommes. En se réservant longtemps la nourriture la plus riche, en privilégiant les unions avec des femmes plus petites, les hommes ont profité de leur domination sociale et peu à peu construit ces différences de stature et de morphologie.

Une autre évidence battue en brèche par la recherche est la séparation de l'espèce humaine en deux sexes parfaitement définis. Or, il existe plusieurs manières de définir le sexe (sexe gonadique, hormonal, chromosomique...) <sup>1</sup> et pour chacune d'elles, on sait désormais qu'il y a plus de deux sexes. Comme l'expliquait l'anthropologue Françoise Héritier, la bipartition sexuelle structure la société. De sorte que les personnes dites « intersexes » (entre 1 et 2 % de la population) sont généralement opérées au plus jeune âge ou subissent des traitements hormonaux pour les « assigner » à l'un des deux sexes classiques <sup>2</sup>.

### Cancer féminin, autisme masculin

Une deuxième question concerne les diagnostics et les traitements. Ilana Löwy, historienne des sciences, raconte

comment la lutte contre le cancer s'est d'abord focalisée sur les tumeurs des organes sexuels féminins. Les cancers des hommes ont donc longtemps été négligés et peu soignés. Mais le genre entre en jeu dans bien d'autres maladies, au détriment des hommes (l'ostéoporose masculine est moins recherchée chez les patients âgés) ou des femmes (leurs symptômes de crise cardiaque sont bien moins connus que ceux des hommes).

Le cas de l'autisme est représentatif. Il est étudié en se calquant sur ce que l'on sait des hommes autistes, ce qui contribue à une moindre détection chez les femmes. En raison des différences d'éducation, les filles acquièrent plus que les garçons des codes sociaux et développent des stratégies pour surmonter leurs difficultés de communication. L'un des effets est que de nombreuses femmes autistes dites « de haut niveau » se sont elles-mêmes diagnostiquées, à défaut de l'être par les professionnels. Fabienne Cazalis, chercheuse en sciences cognitives, montre qu'il faut parfois beaucoup de temps avant que cet autodiagnostic soit confirmé par ces derniers.

### Un rapport genré à la santé

Les rapports de genre ont aussi des effets sur la connaissance que les femmes et les hommes ont des maladies, notamment le sida. Des travaux en Afrique subsaharienne montrent en effet que les femmes sont plus informées sur le virus et sur les tests. Ici, le genre est doublement en cause. D'abord, la répartition traditionnelle des rôles fait que les femmes vont plus souvent au centre de soin, notamment parce qu'elles suivent la santé des enfants. Cela leur fait acquérir des connaissances supérieures à celles de leur partenaire. Or, elles partagent peu ces

informations avec lui. C'est le deuxième aspect : il est mal vu qu'une femme parle de sexualité à son partenaire, qui risquerait de la soupçonner de mœurs légères.

Les inégalités de genre sont fortement liées aux questions de santé. En raison de la préférence familiale souvent constatée pour les garçons, ceux-ci bénéficient de plus de soins que les filles dans de nombreux pays. À l'autre bout du spectre, chez les personnes âgées, on constate que les « aidants » familiaux sont le plus souvent... des aidantes. La santé des aîné.e.s pèse donc plus sur celle des filles. On sait que les femmes vivent plus longtemps que les hommes, mais si l'on ne tient compte, grâce à un nouvel indicateur, que des années « en bonne santé », l'écart se réduit : à 65 ans, l'espérance de vie en bonne santé des Françaises ne dépasse celle des Français que d'un an (contre quatre ans pour leur espérance de vie tout court, selon des chiffres de 2015).

### Santé et violences

Les violences sexuelles sont elles aussi fortement genrées, comme le montre l'enquête Virage de l'Ined : 14,5 % des femmes de 20 à 69 ans en ont été victimes au cours de leur vie, contre 4 % des hommes. Beaucoup plus de femmes sont victimes de violences au sein du couple, avec des retombées sur leur santé : dépression, douleurs pelviennes, infections génitales et urinaires, etc.

Ce ne sont là que quelques exemples des nombreux liens entre genre et santé. Fin 2017, le CNRS a participé à six vidéos <sup>3</sup> de l'Inserm, courtes et impertinentes, attirant l'attention sur ces interactions. Elles témoignent de l'indispensable prise de conscience, actuellement à l'œuvre au sein de la communauté scientifique, de l'importance du paramètre « genre ». **II**

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

1. Voir l'histoire des « tests de féminité » retracée par la socio-historienne Anaïs Bohuon. 2. L'Allemagne, après le Népal et l'Australie, reconnaît depuis peu un troisième sexe à l'état civil. 3. Ces vidéos, intitulées « Genre et santé, attention aux clichés ! », sont visibles sur YouTube.



# La tragédie des communs était un mythe

**Fabien Locher**

historien au Centre de recherches historiques<sup>1</sup>

**Décembre 1968 : le biologiste américain Garrett Hardin (1915-2003) publie l'un des articles les plus influents de l'histoire de la pensée environnementale<sup>2</sup>.** Il décrit, dans la revue *Science*, un mécanisme social et écologique qu'il nomme la « tragédie des communs ». Le concept va rapidement faire florès, tant au sein des cercles académiques que des médias, des milieux écologistes, des administrations, du personnel politique. Les uns et les autres y trouvent une justification scientifique à une gestion étatique ou (surtout) à une privatisation des ressources et des écosystèmes. Or, le recul historique et l'avancée des connaissances nous montrent aujourd'hui ce raisonnement pour ce qu'il est : une vue de l'esprit, déconnectée des réalités concrètes et biaisée par une vision très idéologique du monde social.

## L'expérience du pâturage

Le raisonnement du biologiste se fonde sur une expérience de pensée. Considérons, dit Hardin, un pâturage possédé en commun par des éleveurs. Chacun y fait paître ses vaches. Que se passe-t-il lorsqu'un éleveur achète une nouvelle bête au marché, et la rajoute sur le pâturage commun ? Une fois engraisée, il peut la vendre et récolter une certaine somme. Il s'enrichit de +1.

Toutefois, ce n'est pas tout : en ajoutant une vache au pâturage, il exploite un peu plus ses ressources en herbe. Donc chaque vache a un peu moins de nourriture et maigrit un peu. Mais – et c'est le point crucial – cet effet négatif est partagé entre toutes les vaches, alors que la vente de la vache supplémentaire ne profite qu'à son propriétaire. Ce dernier gagne +1 mais perd seulement une fraction de -1. Son bénéfice est toujours supérieur à sa perte. Il a donc toujours intérêt à rajouter une bête.

Mais d'ajout en ajout, le pâturage est surexploité et finalement détruit. Même s'ils sont conscients de la catastrophe à venir, explique Hardin, les éleveurs sont pris dans une logique inexorable, qui les conduit à détruire la ressource qui les fait vivre. Jusqu'au bord de l'abîme, ils ont intérêt à tirer profit de l'ajout d'une nouvelle bête. Si le biologiste a choisi le terme de « tragédie », c'est pour insister sur cette idée d'enchaînement inéluctable, comme dans la tragédie grecque.

La conclusion est sans appel : il y a incompatibilité entre la propriété commune d'une ressource et sa durabilité. Pour éviter la destruction, assène Hardin, il n'y a que deux solutions : soit la diviser en parcelles possédées par des acteurs individuels, soit la faire gérer par une administration supérieure. C'est la propriété privée ou l'État.

## État contre propriété privée

L'impact de ce raisonnement a été immense. La pensée économique a renforcé cette influence en associant l'expression « tragédie des communs » et l'image du pâturage à des raisonnements analogues, mais plus sophistiqués, relevant de la microéconomie ou de l'économie des « externalités ».

**Avec l'essor du néolibéralisme, la « tragédie des communs » va être simplifiée sous la forme d'un plaidoyer pour la seule propriété privée.**



▼ La possession en commun d'un pâturage exploité individuellement par des éleveurs finit par épuiser ce bien commun, selon Hardin.

L'une des raisons de ce succès tient, au moins au départ, à la conclusion binaire de Hardin. Elle peut en effet être invoquée à la fois par les partisans de l'intervention étatique et par ceux prônant un recours privilégié au marché. Néanmoins, avec l'essor du néolibéralisme comme école de pensée et force sociopolitique, la « tragédie des communs » va être rapidement simplifiée sous la forme d'un plaidoyer pour la seule propriété privée.

Dans les années 1980 et 1990, le récit du pâturage hardinien est populaire au sein des administrations américaines, des institutions internationales et des firmes promouvant les privatisations et le « *free-market environmentalism* ». Le raisonnement est appliqué aux ressources forestières, aux bassins hydriques, aux terres agricoles, mais aussi à l'atmosphère ou aux ressources marines, auxquels il s'agit d'étendre des logiques d'appropriation passant par la privatisation ou la création de marchés de droits d'usage.

Pourtant, ces décennies sont aussi celles d'une profonde remise en cause du raisonnement – qui fut critiqué dès l'origine. D'abord, parce qu'il se fonde sur une

1. Unité CNRS/EHESS. 2. « The tragedy of the commons », G. Hardin, *Science*, 13 décembre 1968, vol. 162 : 1243-1248.



© J. GUNDLACH/PHH-REA

modélisation très peu crédible des acteurs. En effet, le raisonnement ne tient que si l'on suppose qu'on a affaire à des éleveurs n'agissant qu'en fonction d'un intérêt individuel étroit, réduit au gain financier. Ces mêmes éleveurs, on les dirait aussi privés de langage, car ils sont incapables de communiquer pour créer des formes d'organisation régulant l'exploitation du pâturage.

### Le sens du « commun »

Cela renvoie à une erreur historique et conceptuelle grossière de Hardin. Il confond en effet ce qu'il appelle des « communs » (*commons*) avec des situations de libre accès où tout le monde peut se servir à sa guise. Or, le terme de « communs » recouvre tout autre chose : il désigne des institutions grâce auxquelles des communautés ont géré, et gèrent encore aujourd'hui, des ressources communes partout dans le monde, et souvent de façon très durable. Il peut s'agir de pâtures, mais aussi de forêts, de champs, de tourbières, de zones humides... souvent indispensables à leur survie.

La « tragédie des communs » ne par avance l'efficacité de ces organisations, en assimilant la bonne gestion avec l'État ou la privatisation. Or, depuis les années 1970, les sciences sociales ont documenté empiriquement des centaines de cas de communautés présentes ou passées gérant durablement leurs ressources sous le régime de la propriété commune. La politiste Elinor Ostrom (1933-2012) obtiendra le prix Nobel d'économie, en 2009, pour son étude des systèmes de règles organisant ces communs.

Le raisonnement de Hardin appartient aujourd'hui au passé. Ce qui n'empêche pas sa rémanence dans certains discours médiatiques, militants ou politiques.

### Une pensée néomalthusienne

Ce qui a aussi été perdu de vue en route, c'est le but que visait Hardin dans son article de 1968. L'auteur est un biologiste, mais avant tout un militant fervent de la cause néomalthusienne. Son article vise surtout à dénoncer le mécanisme irrépressible qui pousserait les individus à se reproduire sans frein, jusqu'à détruire les ressources naturelles. Dans sa métaphore, les bêtes que les éleveurs rajoutent sans cesse au pâturage, ce sont aussi... les enfants de ces mêmes éleveurs, qui ponctionnent toujours plus les richesses communes. Et c'est pourquoi il recommandait, là aussi, deux solutions : soit un contrôle de l'État sur la reproduction humaine, soit la création de « droits à enfanter » monétisables et échangeables. Un mélange d'État coercitif et d'idéologie de marché caractéristique de cette pensée de guerre froide que fut la (soi-disant) tragédie des communs. II

Une fois par mois, retrouvez sur [lejournald.cnrs.fr](http://lejournald.cnrs.fr) les Inédits du CNRS, des analyses scientifiques originales publiées en partenariat avec Libération.

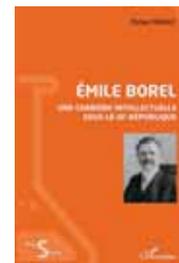
À lire

### BIOGRAPHIE

**Du grand mathématicien Émile Borel (1871-1956), on ne retient souvent que l'œuvre scientifique. Et il est vrai qu'elle est magistrale : théories des fonctions et des ensembles, probabilités, statistiques...**

Autant de domaines, parmi bien d'autres, où il a produit des travaux exceptionnels. Mais la vie de cet universitaire, récipiendaire de la première médaille d'or du CNRS en 1954, dépasse de loin son activité savante : de l'affaire Dreyfus aux débuts de la construction européenne, il a contribué à la plupart des débats et des grandes réflexions qui ont marqué son temps. En signant cette biographie, la première étude globale dédiée à Émile Borel, Michel Pinault dévoile toutes les facettes de son parcours et de ses engagements.

*Émile Borel. Une carrière intellectuelle sous la III<sup>e</sup> République, Michel Pinault, L'Harmattan, novembre 2017, 638 p., 39 €*



### NATURE

De la coccinelle au tigre à dents de sabre, en passant par l'oursin, le tyrannosaure ou le plancton, deux scientifiques nous présentent une sélection de



**101 merveilles de l'évolution** « parmi un nombre de possibilités incalculable ». Dans ce livre composé à parts égales de textes et de photos, ils proposent un aperçu, accessible à tous, de l'incroyable adaptation de la vie, quels que soient les périodes et les milieux colonisés.

*101 merveilles de l'évolution qu'il faut avoir vues dans sa vie, Jean-François Buoncristiani et Pascal Neige, Dunod, novembre 2017, 240 p., 22 €*

### GUERRE DE 1914-1918

La Grande Guerre, qualifiée également par certains de guerre civile européenne, n'a pas été qu'une affaire de front et de batailles, elle s'est également déroulée « à l'arrière ». En rassemblant les lettres écrites du début de la guerre jusqu'au traité de Versailles par Étienne de Nalèche, alors directeur du *Journal des Débats*, à un ami et mécène industriel engagé sur le front, l'historienne Odile Gaultier-Voituriez nous permet de découvrir une chronique inédite de la Première Guerre mondiale, vue de Paris par un homme situé au cœur des réseaux de pouvoir.

*Chronique cachée de la Grande Guerre. Lettres d'Étienne de Nalèche à Pierre Lebaudy (1914-1919), Odile Gaultier-Voituriez, CNRS Éditions, novembre 2017, 472 p., 27 €*



## À lire

**COMÈTES**

En 2016, au terme d'un voyage de sept milliards de kilomètres, le succès de la mission Rosetta, de l'ESA, a constitué un point d'orgue de l'exploration des comètes. Mais l'astronomie cométaire n'est pas

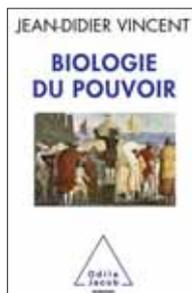
née au XXI<sup>e</sup> siècle : il y a plus de 2000 ans, les Anciens, au Moyen-Orient, en Asie, puis dans le monde gréco-romain, ont été fascinés par ces phénomènes célestes. Les propositions et les spéculations parfois les plus étonnantes se sont succédé au fil des siècles. Le développement des moyens d'observation et, plus récemment, d'exploration a ensuite permis à la recherche de faire un bond de géant dans la compréhension de ces objets primordiaux du système solaire. Anny-Chantal Levasseur-Regourd et Janet Borg relatent cette formidable aventure scientifique et humaine, et dressent le bilan des toutes dernières connaissances.

*L'exploration cométaire. De l'Antiquité à Rosetta, Anny-Chantal Levasseur-Regourd, Janet Borg, Nouveau Monde Éditions, janvier 2018, 232 p., 19,90 €*

**NEUROSCIENCES**

Trente ans après avoir initié le grand public aux avancées que commençaient à permettre les neurosciences dans la compréhension et l'explication des comportements et des passions humaines, avec sa *Biologie des passions*, Jean-Didier Vincent récidive avec un nouvel opus intitulé *Biologie du pouvoir*. Convoquant la neurobiologie, la génétique, l'anthropologie et l'histoire, il tente cette fois d'expliquer l'origine du pouvoir et de ses corollaires – capacité de persuasion, empathie, domination, violence, etc. – dans les sociétés humaines et animales.

*Biologie du pouvoir, Jean-Didier Vincent, Odile Jacob sciences, janvier 2018, 276 p., 23 €*

**IGNORANCE**

L'ignorance ne se limite pas à une absence de connaissance, elle peut aussi être produite de manière intentionnelle. Tel est l'un des enseignements de ce précieux manuel, bouffée d'air frais dans notre époque polluée par les *fake news*, post-vérités et autres théories du complot. Dans cet essai d'agnotologie (étude de la production culturelle de l'ignorance), le philosophe Mathias Girel aborde ainsi « *l'ignorance stratégique* », mise en œuvre de manière méthodique via des moyens puissants. Il revient sur les techniques que les cigarettiers ont maniées en virtuoses pour semer le doute durant des décennies sur les dangers du tabac, en finançant des études scientifiques aux résultats contradictoires ou simplement destinés à attirer l'attention ailleurs que sur les sujets qui fâchent... Dans ce livre, on apprendra donc beaucoup sur la fabrique de l'ignorance, mais aussi sur la façon dont se construit la connaissance, loin d'être simple, elle aussi... Un livre d'utilité publique !

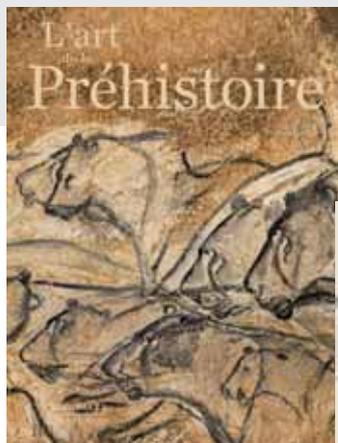
*Science et territoires de l'ignorance, Mathias Girel, éditions Quæ, coll. Sciences en questions, novembre 2017, 156 p., 18 €*



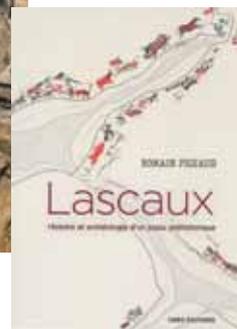
## L'art rupestre en lumière

De très nombreux sites d'art préhistorique ont été mis au jour à travers le monde au cours des dernières décennies. Véritable bible dans sa discipline, *L'Art de la préhistoire*, avec ses 586 pages et ses 650 illustrations en couleurs, recense l'ensemble des œuvres gravées ou peintes découvertes partout sur la planète, dans ces « centres mondiaux de l'art rupestre » qui vont de la péninsule Ibérique à la Roumanie, de l'Asie des steppes à l'Australie, en passant par les Amériques et l'Afrique. Tout autant livre d'art qu'ouvrage de science, il opère une vaste synthèse

des connaissances actuelles sur l'art rupestre mondial. Chefs-d'œuvre de l'art pariétal, les somptueuses peintures et gravures de la grotte de Lascaux, découverte par des adolescents en pleine Seconde Guerre mondiale, font l'objet d'un ouvrage aussi riche que concis. L'archéologue Romain Pigeaud retrace le « conte de fées » de sa découverte puis les tourments de sa conservation, avant de procéder à l'analyse des œuvres, des techniques et des matières utilisées, jusqu'aux conflits d'interprétation que Lascaux n'a pas manqué de susciter.



*L'Art de la préhistoire, Carole Fritz (dir.), Citadelles & Mazenod, septembre 2017, 594 p., 205 €*



*Lascaux, histoire et archéologie d'un joyau préhistorique, Romain Pigeaud, CNRS Éditions, octobre 2017, 190 p., 22 €*



# Énergie: les promesses de l'hydrogène

**Daniel Hissel**

directeur de la fédération de recherche FCLAB<sup>1</sup> du CNRS

**L'énergie, son utilisation et son accessibilité constituent l'un des enjeux majeurs pour l'avenir de notre civilisation. La population mondiale augmente et nos besoins énergétiques ne vont pas décliner dans un avenir proche.** Dans ce contexte, quelle serait la solution pour une bonne fourniture énergétique dans le futur ? Celle-ci doit d'abord être abondante et durable, s'appuyant sur des ressources renouvelables. Elle doit être propre, respectueuse de l'environnement et ne doit pas générer de gaz à effet de serre. En outre, elle doit être accessible à tous, en tout point de la planète. Et enfin, pouvoir être déclinée dans un grand nombre de contextes applicatifs. Peut-on considérer l'hydrogène comme une bonne solution ?

En préambule, rappelons que l'hydrogène est l'élément le plus abondant dans l'Univers : 75 % en masse et 92 % en nombre d'atomes. Un bon point pour lui, même s'il n'est que rarement présent naturellement sur Terre. Il faut donc le produire (on parle de « vecteur énergétique »), ce qui pose la question de sa durabilité.

Est-il possible de produire de l'hydrogène à partir de ressources renouvelables ? Oui, et même très facilement, à partir de l'électrolyse de l'eau. Or, le procédé peut être propre si l'électricité nécessaire à sa production est d'origine renouvelable. On peut d'ailleurs imaginer d'utiliser l'hydrogène-énergie pour lisser la production électrique intermittente, d'origine renouvelable. Mais le procédé peut aussi être néfaste pour l'environnement si cette production est basée sur des ressources fossiles... Ce qui est le cas aujourd'hui. C'est pourquoi nous sommes nombreux à penser que la production d'hydrogène à partir d'énergies renouvelables est LA solution.

Les détracteurs évoquent souvent le mauvais rendement de cette filière.

Certes, le rendement de l'électrolyse se situe autour de 70 %, ce qui peut sembler faible par rapport aux sources énergétiques fossiles immédiatement disponibles. Mais ce résultat est à nuancer par l'excellent rendement électrique des systèmes de piles à hydrogène, qui peut dépasser les 50 %, soit bien plus que celui des machines thermiques. Et surtout, la source primaire (vent, soleil, etc.) est gratuite...

## De l'automobile au spatial

S'agissant du critère de l'accessibilité en tout point de la planète, là encore, la réponse est positive sur le plan technique. Le soleil et le vent sont des ressources très bien distribuées sur la planète. Il est même possible de produire son propre hydrogène chez soi, avec des panneaux photovoltaïques placés sur le toit ou la façade de son habitation. Le coût des électrolyseurs et des piles à hydrogène doit cependant encore être réduit, pour être accessibles au plus grand nombre. Cela passe par une structuration industrielle de la filière.

Les applications potentielles de l'hydrogène-énergie sont-elles suffisamment larges et diversifiées ? La réponse est oui, mille fois oui ! Car l'hydrogène est un vecteur énergétique, qui plus est « dual » à l'électricité : il est très aisé de passer de l'hydrogène à l'électricité grâce à une pile à hydrogène, et de l'électricité à l'hydrogène grâce à un électrolyseur d'eau, sans émission d'aucun polluant. Il constitue donc une solution de stockage d'électricité et peut être utilisé dans toutes les applications actuelles ou potentielles : groupes électrogènes stationnaires, propres et silencieux<sup>2</sup>, petites alimentations nomades pour le tourisme, dispositifs de production d'électricité, d'eau chaude sanitaire et de froid pour des bâtiments, stockage à long terme de

l'électricité sur des réseaux ou microréseaux électriques...

Prenons le cas des véhicules électriques. Le « plus » de l'hydrogène par rapport aux véhicules à batterie réside dans l'augmentation drastique de l'autonomie (un véhicule familial peut parcourir environ 100 kilomètres avec un seul kilogramme d'hydrogène) et la réduction tout aussi drastique du temps de recharge (le plein peut être fait en quelques minutes). Et l'hydrogène peut alimenter tout ou partie de bien d'autres véhicules : chariots élévateurs, drones de livraison et de surveillance, engins agricoles, etc. Sans oublier les applications spatiales...

## Un enjeu interdisciplinaire

Pour concrétiser ce potentiel, de nombreuses recherches ont lieu dans les laboratoires. Pour ma part, j'ai adopté depuis près de vingt ans une approche *top-down*. Il s'agit d'identifier, en lien avec les acteurs industriels, les verrous technologiques à relever. Cette approche est très complémentaire de celle, plus *bottom-up*, du matériau à l'objet, développée au sein des laboratoires de chimie ou d'électrochimie du CNRS. En prenant le sujet par les deux bouts, nous gagnons en efficacité.

Mes principaux travaux portent sur l'augmentation de l'efficacité énergétique et de la durabilité des systèmes hydrogène-énergie. En travaillant à la fois sur l'identification de l'état de santé de la pile à hydrogène, le temps restant de bon fonctionnement (eu égard à un cycle d'usage donné ou estimé) et l'optimisation du pilotage du système grâce à ces informations, nous avons pu faire progresser la maturité technologique de l'hydrogène-énergie, accompagner les industriels au niveau international et lancer nos propres start-up. Ces recherches, menées avec les équipes de la FCLAB du CNRS, requièrent des compétences en génies électrique, mécanique, thermique, électrochimie ou des matériaux, mais aussi en économie. C'est ce travail interdisciplinaire qui permettra à l'hydrogène de jouer le rôle qu'il mérite dans le paysage énergétique de demain. **II**

+

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

1. Fuel Cell Lab. Membre de l'institut Femto-ST, Daniel Hissel a reçu la médaille Blondel en 2017. 2. Par exemple, avec la start-up H2SYS, issue de la recherche du CNRS.

*Emmanuel de Langre*, biomécanicien au Laboratoire d'hydrodynamique<sup>1</sup>

# *“Je me souviens...”*

PROPOS RECUEILLIS PAR CHARLINE ZEITOUN



*... de la journée épique passée en soufflerie au printemps 2014 pour mesurer l'action du vent sur un arbre. Le Centre scientifique et technique du bâtiment, à Nantes, nous avait loué exceptionnellement, pour une somme modique, l'immense couloir courbe d'une centaine de mètres de long dans lequel nous nous trouvons sur cette photo. Avec nos collègues de l'Inra<sup>2</sup>, nous avons mesuré le mouvement des feuilles, la force sur l'arbre et la lumière transmise à travers le feuillage à l'aide de caméras à haute vitesse permettant d'acquérir des images au ralenti. Ce type d'expérience est commun en conditions réelles, à l'extérieur, mais pour une fois nous pouvions contrôler exactement la vitesse du vent ! Ces mesures nous permettent de modéliser les conséquences du vent sur la croissance ou la santé des arbres (par exemple, la stagnation de l'eau sur les feuilles, liée aux mouvements de celles-ci, provoque des champignons). L'heure tournait rapidement, mais nous avons réussi à boucler nos mesures. Travailler en soufflerie est un luxe que nous ne pourrons pas rééditer de sitôt avec un arbre de cette taille !*

PHOTO : PASCAL HEMON/LADHYX/CNRS PHOTOTHÈQUE



▶ Visionner la vidéo « Le chêne et le roseau, la simulation » sur [lejournel.cnrs.fr](http://lejournel.cnrs.fr)

1. Unité CNRS/École polytechnique. 2. Institut national de la recherche agronomique.



de Denis Guthleben,  
historien au CNRS

# Sous les pavés, la science...

Mai 1968 dans les universités, les usines, les rues... On connaît ! Bien que le sujet soit loin d'être épuisé, témoignages et études abondent pour retracer le déroulement et les conséquences des mouvements étudiants et ouvriers. Pour les établissements scientifiques, en revanche, c'est une autre affaire : on en viendrait presque à croire que les « événements » ont glissé de ce côté-là comme l'eau sur les plumes d'un canard. Eh bien, non ! La recherche a été animée du même élan que l'enseignement supérieur, et les transformations n'y ont pas été moindres.

## De l'anecdote à l'histoire

Que reste-t-il de cette période dans nos organismes ? Des anecdotes que les ex-jeunes rebelles, souvent devenus à leur tour satrapes, ressassent devant des cadets accusés d'apathie ? Et quelques réformes aussi vite entreprises qu'annulées ? Peut-être : le physicien Pierre Jacquinet, directeur général du CNRS lors des événements, établit auprès de lui un comité central consultatif provisoire composé de représentants du personnel,

mais le « CCCP » – l'expression n'est pas fortuite – dont il salue, chemin faisant, « les bonnes conditions de sérénité et de participation de la représentation additionnelle » (sic !), est dissous par ses propres soins au bout de quelques mois.

Mais ce n'est pas tout, loin de là : Mai 68 a amorcé des évolutions majeures dans le fonctionnement de la recherche. Et elles se manifestent à tous les étages, comme au Comité national de la recherche scientifique, où le nombre d'élus dépasse celui des membres nommés par le ministre – c'est plus démocratique ainsi... –, et dans les unités elles-mêmes. Au sein de ces dernières, se réunissent en effet pour la première fois des assemblées générales et des conseils de laboratoires permettant au personnel et à ses représentants de faire entendre leurs voix. Pas étonnant que certains directeurs n'y aient pas retrouvé leurs billes ! D'autres, en revanche, s'en sont vite accommodés, tel le botaniste Pierre Chouard à Gif-sur-Yvette, qui voit dès la rentrée 1968 dans ces institutions nouvelles une étape vers « une cohésion de plus en plus délibérée » et « une prise de conscience

commune de la finalité de l'entreprise scientifique à laquelle nous sommes tous associés »...

Loin de provoquer la « pagaille », la parole tout à coup libérée apporte en effet une garantie nouvelle d'équilibre au sein des équipes : elle « a joué le rôle de révélateur de problèmes latents que le climat de dialogue permet ensuite de résoudre », note Pierre Chouard... Jusqu'à sonder le rôle de la science elle-même au sein de la société : la parole scientifique se libère ainsi dans la presse et, battant en brèche le scientisme ambiant, en vient à interroger sa propre légitimité...

## La recherche, entre ordre et mouvement

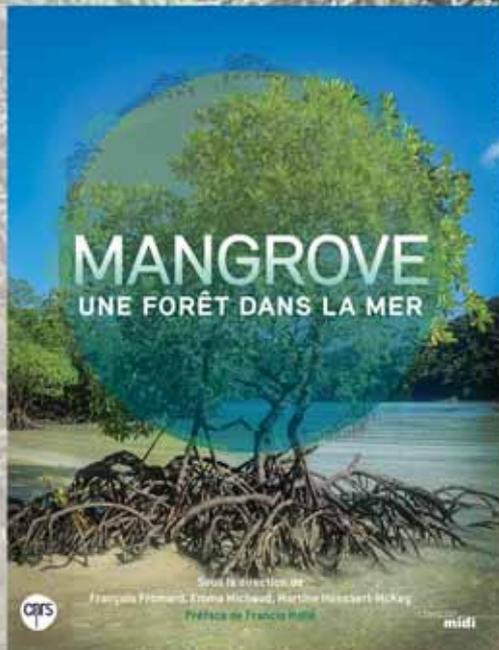
Mais cette évolution ne s'est pas faite sans heurts ni fracas. Car le joli mois de mai a vu naître des positions tranchées, à l'image de cette motion adoptée à l'unanimité par l'assemblée générale des travailleurs de la recherche, réunie à Paris le 17 mai 1968 : constatant une « crise profonde de la recherche scientifique et notamment du CNRS, crise de fonctionnement et de structure, mais plus profondément crise du rôle de la science et de la recherche dans la société », lesdits travailleurs décident : « 1. de refuser toute légitimité aux institutions actuelles de gouvernement de la recherche, au CNRS et ailleurs ; 2. d'utiliser tous les moyens possibles pour bloquer le fonctionnement de ce système récusé »... Une rhétorique qui reflète à merveille les positions des révoltés ou, dit autrement, d'un célèbre mot élyséen, de « la chienlit ».

De l'autre côté, celui de l'ordre et du képi, justement, figurent les témoignages des « patrons » de laboratoires – l'expression n'est pas fortuite non plus – dépassés par cette situation inédite. L'un d'entre eux, Louis Néel, grand manitou de la recherche grenobloise, revient ainsi dans ses mémoires sur une période honnie : « D'innombrables meetings confus, aux participants hétérogènes et versatiles, instaurèrent l'anarchie pendant quelques semaines, au bout desquelles les meneurs s'aperçurent que le CNRS existait encore et qu'il fallait, après avoir tout détruit, reconstruire quelque chose, dans un climat devenu détestable. »

Deux positions, en somme, qui en disent long sur les fractures traversant la communauté, et révèlent que Mai 68 a été, au sein des établissements de recherche comme partout ailleurs, bien plus que cette « révolution aux cheveux longs et aux idées courtes » dénigrée par certains. ▀

Mai 68 a amorcé  
des évolutions  
majeures qui se  
manifestent à  
tous les étages  
de la recherche.

# DÉCOUVREZ LE MONDE DE LA MANGROVE



## EN LIBRAIRIE

Sous la direction de François Fromard,  
Emma Michaud, Martine Hossaert-McKey

Préface de Francis Hallé

168 p. - 24,90 €



cherche  
**midi**

# L'INTRANET DU CNRS ÉVOLUE



<https://intranet.cnrs.fr>

Connectez-vous via votre code Janus



### TROUVEZ

les documents et outils  
dont vous avez besoin



### PARTAGEZ

plus facilement  
avec vos collègues



### RESTEZ INFORMÉS

sur la vie de votre  
organisme

Vos contacts

Instances  
représentatives

Liens utiles

Pour les agents

Pour les labos

La délégation  
et ses services

Actualités



## NOUVEAU

accédez désormais à  
l'espace dédié de votre  
délégation !



# CARNETS DE SCIENCE

La revue du CNRS #3

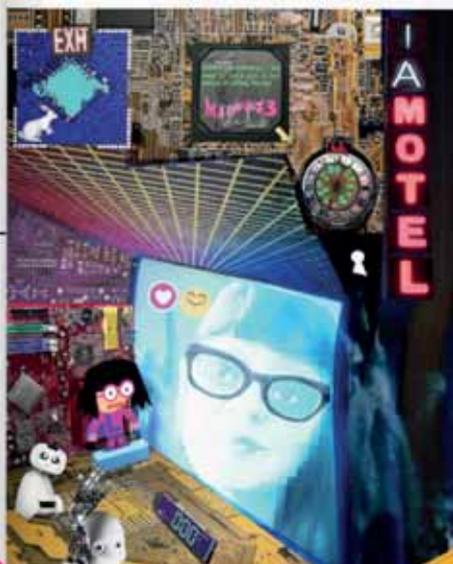


Entrez dans les coulisses  
de la recherche



200 pages / 12,50 €

**CARNETS**  
**DE SCIENCE**  
La revue du CNRS #3



Carnet de mission  
**La forteresse sans porte**  
Reportage  
**Dans les coulisses du Cern avec Fabiola Gianotti**  
Dossier  
**Comment l'intelligence artificielle va changer nos vies**

Entretien  
**Jean Jouzel, le justicier climatique**  
Biologie  
**Quoi de neuf sur les origines de la vie?**  
Astronomie  
**Un ballon pour la Voie lactée**  
...



**#3**  
En vente  
en librairie  
et Relay



Parution du #4 le 3 mai 2018