Depuis 80 ans, nos connaissances bâtissent de nouveaux mondes

# CNRS LE JOURNAL

Trimestriel **n° 298** DÉCEMBRE 2019

## 80 ans du CNRS, **une année de célébrations**

## **SCIENCE OUVERTE,** la révolution nécessaire

## La renaissance des grandes **expéditions scientifiques**

## LE BLOB, **nouvelle star du zoo de Paris**

Prix
Bettencourt

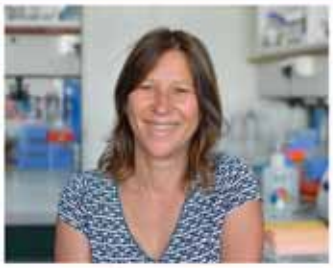
*Coups d'élan pour la recherche française*

**LAURÉATS 2019**

**LUC DUPUIS**
Directeur de recherche à l'Inserm

CENTRE DE RECHERCHE EN BIOMÉDECINE, STRASBOURG

Projet : Altérations de la connectivité neuronale dans la sclérose latérale amyotrophique



**GAËLLE LEGUBE**
Directrice de recherche au CNRS

CENTRE DE BIOLOGIE INTÉGRATIVE, TOULOUSE

Projet : Fonction de la chromatine dans la réparation des cassures double-brin de l'ADN

**PAMELA SCHNUPF**
Chargée de recherche à l'Inserm

INSTITUT NECKER-ENFANTS MALADES, PARIS

Projet : Propriétés d'une bactérie commensale de l'intestin impliquées dans le maintien de la santé et le développement de pathologies

© Art in Research / A. Darmon

**YVES GAUDIN**
Directeur de recherche au CNRS

INSTITUT DE BIOLOGIE INTÉGRATIVE DE LA CELLULE, GIF-SUR-YVETTE

Projet : Morphogenèse, structure et fonctions des usines liquides formées par le virus de la rage

**DONNONS DES AILES AUX TALENTS**

La Fondation Bettencourt Schueller soutient les chercheurs, les équipes et les instituts de recherche publics en sciences de la vie.
Elle investit pour le rayonnement de la recherche française et l'amélioration de la santé humaine.

Fondation Bettencourt Schueller



**Pour construire le monde de demain, nous avons besoin de vous.**

Jusqu'au 7 janvier 2020,
le CNRS recrute
250 chercheurs et chercheuses.

**carrieres.cnrs.fr**

&cnrs

Depuis 80 ans, nos connaissances bâtissent de nouveaux mondes

CNRS
LE JOURNAL

**Rédaction :**
3, rue Michel-Ange – 75794 Paris Cedex 16
**Téléphone :** 01 44 96 40 00
**E-mail :** lejournal@cnrs.fr
**Le site Internet :** https://lejournal.cnrs.fr
**Anciens numéros :**
https://lejournal.cnrs.fr/numeros-papiers

**Directeur de la publication :**
Antoine Petit
**Directrice de la rédaction :**
Brigitte Perucca
**Directeur adjoint de la rédaction :**
Fabrice Impériali
**Rédacteur en chef :**
Matthieu Ravaud
**Rédactrice en chef adjointe :**
Charline Zeitoun
**Rédacteurs :**
Laure Cailloce, Yaroslav Pigenet, Laurence Stenvot
**Assistante de la rédaction et fabrication :**
Laurence Winter
**Ont participé à ce numéro :**
Kheira Bettayeb, Anaïs Culot, Muriel Florin, Denis Guthleben, Romain Hecquet, Pierre Mira, Saman Musacchio, Louise Mussat, Jean-Baptiste Veyrieras
**Secrétaire de rédaction :**
Émilie Silvoz
**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 ; 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 :**
Chaîne humaine formée par les personnels CNRS en Alsace le 17 octobre à Strasbourg pour fêter les 80 ans de l'organisme.

PHOTO : M. FLECK/UNISTRA/CNRS

**Vous travaillez au CNRS et souhaitez recevoir CNRS LE JOURNAL dans votre boîte aux lettres ?**

Abonnez-vous gratuitement sur :
» **lejournal.cnrs.fr/abojournal**

**Suivez l'actualité de la recherche avec le CNRS**

Le 26 novembre restera comme le point d'orgue des célébrations du 80e anniversaire du CNRS. Après une discussion aussi riche que franche avec des scientifiques, le président de la République, Emmanuel Macron, a remis la médaille d'or à Thomas Ebbesen, entouré des précédents lauréats et devant de très nombreux Talents 2019 de notre maison. Auparavant, plus de 300 personnalités de la recherche française et mondiale s'étaient retrouvées à l'Institut de France pour partager leur vision des grandes problématiques de la science, dont la science ouverte, à l'heure même où le CNRS vient de dévoiler sa feuille de route pour les années à venir.

De la convention des directeurs d'unité en février, en présence du Premier ministre Édouard Philippe, à la remise de la médaille de l'innovation le 12 décembre, ce sont plus de 450 événements qui auront porté le sceau des 80 ans, dans toute la France et à travers le monde. J'adresse un immense merci à toutes celles et ceux qui se sont investis pour donner un si bel écho à cet anniversaire. Je pense en tout premier lieu aux agents du CNRS mais aussi plus largement à l'ensemble des personnels de l'enseignement supérieur et de la recherche qui font la richesse de nos laboratoires communs, et à tous nos partenaires.

*« Les forces du CNRS : la qualité de ses personnels, son implication dans l'ensemble des disciplines et son incomparable réseau de partenaires. »*

Car les rencontres, expositions, ateliers… et même un marathon auront permis de rappeler au grand public, aux décideurs politiques et au monde socioéconomique combien le CNRS est un fleuron de la France, et pas seulement de la recherche française. Ses forces ? La qualité de ses personnels, car la science est avant tout le travail des femmes et des hommes, mais aussi son implication dans l'ensemble des disciplines et son incomparable réseau de partenaires. Sans oublier l'avantage exceptionnel qu'il offre à ses scientifiques pour une recherche de qualité : le temps.

Nous voici à l'aube d'une nouvelle décennie. Elle s'annonce riche de défis pour notre organisme, notamment à l'échelle internationale où la concurrence ne cesse de s'intensifier. L'enjeu est aujourd'hui de préserver et même de renforcer l'attractivité du CNRS pour lutter à armes égales avec les grands acteurs de la science mondiale. La future loi de programmation pluriannuelle de la recherche doit permettre à l'État de réaffirmer l'importance qu'il accorde à la recherche, et sa conviction que nous devons rester un grand pays scientifique. À nous de poursuivre l'œuvre initiée par nos pères fondateurs Jean Perrin et Jean Zay pour gagner les combats d'aujourd'hui et de demain, de la transition énergétique à la numérisation de la société au service de tous. Pour que nos connaissances continuent encore longtemps à bâtir de nouveaux mondes.

*Antoine Petit,*
président-directeur général du CNRS

© J. VERSACI

© P. VERSACI/IDEACOM

# GRAND FORMAT 13

Science ouverte : la révolution nécessaire ..... 14
Bon anniversaire le CNRS ! ..... 26
La renaissance des grandes expéditions ..... 34

© F. PLAS/CNRS PHOTOTHÈQUE

6
Raphaël Granier de Cassagnac allie la science au jeu vidéo

## EN PERSONNE 5

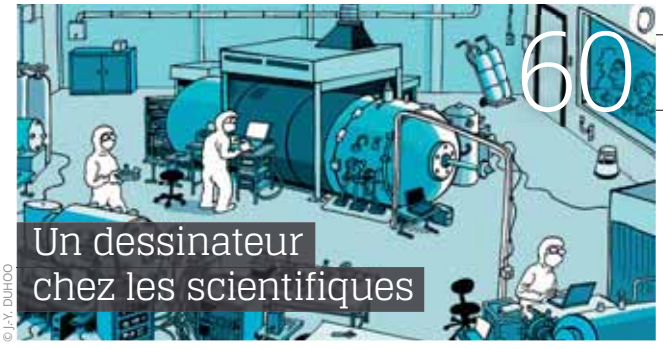
Vingt ans de coups d'élan pour la biologie française ..... 8
Audrey Dussutour, celle qui a fait entrer le blob au zoo ..... 10
Lamine Gueye : « *Grâce à ce laboratoire, nous renforçons le partenariat Nord-Sud* » ..... 12

© J. NACKSTRAND/AFP

« *Il faut respecter de toute urgence l'Accord de Paris* »
42

## EN ACTION 41

La preuve par l'image ..... 44
Qu'est-ce qui fait danser les continents ? ..... 46
Peut-on concevoir des plastiques écoresponsables ? ..... 48
Des solutions pour une eau plus propre ..... 50
Supercalculateurs : les enjeux d'une course planétaire ..... 52
À quoi ressemblait l'ancêtre d'*Homo sapiens* ? ..... 54



© J.-Y. DUHOO

60
Un dessinateur chez les scientifiques

## LES IDÉES 55

Le CNRS, 80 ans d'histoire (4/4) ..... 56
Hésitation vaccinale : la France, championne du monde ? ..... 59
Comment lutter contre le déboisement en Amazonie ? ..... 62

## CARNET DE BORD

Thierry Aubin nous raconte un souvenir de recherche ..... 64

## IL ÉTAIT UNE FOIS LE CNRS

On se valorise ? ..... 66

# EN PERSONNE

*Un physicien des particules accro aux jeux vidéo, des biologistes honorés et une éthologiste passionnée par un étrange micro-organisme.*

ILLUSTRATION : JUANJO GASULL/COLAGENE.COM POUR CNRS LE JOURNAL

# Raphaël Granier de Cassagnac allie la science au jeu vidéo

**PAR** LOUISE MUSSAT

SOCIÉTÉS NUMÉRIQUE

**Informatique.** Physicien des particules, auteur à succès, Raphaël Granier de Cassagnac est aussi un joueur invétéré ! Il vient de créer au sein de l'École polytechnique la chaire Science et jeu vidéo, en partenariat avec l'entreprise française Ubisoft.

*J'avais dix ans quand mes parents m'ont offert mon premier ZX81, un ordinateur avec 1 kilo-octet de mémoire vive. J'y recopiais religieusement des codes de jeux vidéo que je trouvais dans des magazines spécialisés, j'étais déjà accro* », se souvient Raphaël Granier de Cassagnac, directeur de recherche CNRS au Laboratoire Leprince-Ringuet[1] (LLR) de l'École polytechnique. C'est surtout pour ses romans et nouvelles de science-fiction (SF), plusieurs fois primés, que le grand public le connaît. Mais en plus d'être un auteur à succès et un physicien des particules reconnu, il est aussi un gameur invétéré !

## La recherche joue le jeu

La preuve : il vient de créer une chaire de jeu vidéo au sein de l'École polytechnique. C'est la première fois en France (et une des premières fois dans le monde) que ce loisir ultra-populaire gagne ainsi ses quartiers de noblesse académique.

*« Le jeu vidéo représente l'industrie du divertissement la plus importante, devant celles du cinéma et de la musique, c'est donc un formidable média pour diffuser de la science !,* plaide le chercheur. *Cette chaire de mécénat, signée avec le concepteur de jeux Ubisoft, a justement pour ambition d'incorporer davantage de sciences dans les jeux. »* Pour ce faire, quatre professionnels du jeu vidéo – un développeur, un game designer, un graphiste et une cheffe de projet, ont été embauchés.

Et leur programme est chargé : une première conférence sur la science dans le jeu vidéo avec Ubisoft, le 26 novembre, avec l'objectif de rendre cet événement pérenne et international, des cours à des étudiants qui auront pour mission de créer un jeu scientifique, et un projet de master spécialisé. *« Pour tous ces projets, nous tenons absolument à ce que la science soit très présente »,* assure Raphaël Granier de Cassagnac.

## Des particules à la science-fiction

C'est que le cœur de métier de ce gameur, c'est la recherche scientifique. La physique des particules, plus exactement. Sa carrière, il l'entame avec cette question existentielle : pourquoi y a-t-il quelque chose plutôt que rien ? Si le Big Bang avait créé autant de matière que d'antimatière, ces deux « versions » se seraient annihilées l'une l'autre, faisant disparaître en un éclair notre embryon d'Univers. Mais pour une raison encore obscure, la matière a triomphé de l'antimatière. C'est sur cette mystérieuse asymétrie matière/antimatière que porte sa thèse, qu'il soutient en 2000 au Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives.

Doctorat en poche, il intègre le CNRS au LLR de Polytechnique, notamment pour travailler sur l'expérience PHENIX au laboratoire national de Brookhaven, dans l'État de New York (États-Unis). *« Nous utilisions l'accélérateur pour collisionner des ions lourds et ainsi générer un plasma de quarks et de gluons, semblable à celui qui composait l'Univers quelques microsecondes après le Big Bang »,* explique le chercheur. En 2009, il poursuit sa quête des origines, cette fois avec le détecteur CMS (Compact Muon Solenoid) du Large Hadron Collider (LHC) au Cern, fraîchement mis en service. Il obtient pour ce faire le prestigieux financement du Conseil européen de la recherche (ERC).

### Ses dates clés

| | |
|---|---|
| **1973** | Naissance à Paris |
| **2000** | Thèse de physique au CEA. Recruté au CNRS au Laboratoire Leprince-Ringuet (LLR) de l'École polytechnique |
| **2009** | Lauréat d'une ERC. Rejoint l'expérience CMS du Cern |
| **2014** | Prix du lundi pour son deuxième roman, *Thinking Eternity* |
| **2019** | Création de la chaire Science et jeu vidéo au LLR de l'École polytechnique |

© F. PLAS/CNRS PHOTOTHÈQUE

Les particules élémentaires sont une source d'inspiration pour les jeux de Raphaël Granier de Cassagnac, ici devant une photo de l'expérience CMS du Cern.

Dans sa carrière, 2011 est une année charnière. En mai, ses premiers résultats avec CMS sont présentés lors de la conférence Quark Matter. *« Avec les équipes que je coordonnais, nous avons été les premiers à observer notamment les bosons Z et les quarks b (certains types de particules élémentaires) lors de collisions de noyaux ultra-énergétiques, ce qui nous a donné des informations clefs sur les propriétés du plasma de quarks et de gluons, et donc sur les premiers instants de l'Univers. »* En juin, il publie son premier roman (après avoir déjà publié trois nouvelles), *Eternity Incorporated*, aux éditions Mnemos.

**Joueur de sciences**

Entre succès de labo et succès de librairie, Raphaël Granier de Cassagnac continue de jouer, et crée aussi ses propres mondes imaginaires. Il développe un jeu (dont le nom de travail est REVEAL), qui raconte la physique des particules, *via* des paysages fantasmagoriques où le joueur peut voir tous nos objets de science invisibles : rayons cosmiques et autres particules élémentaires. *« J'ai commencé à travailler sur ce concept en répondant à un appel à projet, "le proof of concept" lancé lui aussi par l'ERC. Je n'ai pas obtenu le financement, mais l'idée était lancée, et je ne l'ai plus jamais lâchée. »*

Pour la financer, il prend son bâton de pèlerin et frappe à plusieurs portes. Nous sommes en 2017. Les premiers soutiens obtenus sont ceux du Labex P2iO, le laboratoire d'excellence[2] pour la physique des deux infinis et des origines, puis ceux de l'Université Paris-Saclay et du LLR. Ainsi sponsorisé, il avance dans le développement de son jeu, mais n'a pas oublié d'écrire. En 2014, son deuxième roman chez Mnemos, *Thinking Eternity*, est lauréat du prix du Lundi, un des grands prix de la SF française. Et entre 2014 et 2017, cinq autres nouvelles ont suivi.

*« Quand je suis arrivé au bout de ces premiers euros, il me fallait trouver d'autres sources de financements,* raconte le physicien. *J'ai alors eu la chance de rencontrer les bonnes personnes au bon moment, comme Olivier Dauba, VP Editorial d'Ubisoft et David Louapre* (fondateur de la chaîne YouTube Science étonnante[3], NDLR) *qui venait d'être embauché en 2018 comme directeur scientifique. J'ai senti chez eux un appétit très fort pour la science. »*

> *« Avec cette chaire, je réunis toutes mes passions : faire de la science, jouer, raconter des histoires… »*

Ce qui l'encourage à leur soumettre le projet plus ambitieux qui lui trottait alors dans la tête : *« créer une chaire de jeu vidéo au Laboratoire Leprince-Ringuet, au sein de Polytechnique. Chez Ubisoft comme à l'X, tout le monde a accueilli l'idée très chaleureusement, et tout s'est fait très vite. Nous avons signé officiellement les accords pour la création de la chaire début 2019. Avec cette chaire, je réunis toutes mes passions : faire de la science, jouer, raconter des histoires… »,* conclut le chercheur. II

Lire l'intégralité de l'entretien sur **lejournal.cnrs.fr**

1. Unité CNRS/École polytechnique. 2. L'un des cent laboratoires d'excellence (Labex) approuvés par le gouvernement en mars 2011 dans le cadre des Investissements d'avenir financés par le grand emprunt de 2010. 3. https://sciencetonnante.wordpress.com

# Vingt ans de coups d'élan pour la biologie française

PAR LAURENCE STENVOT

**Distinctions.** Les prix Coups d'élan pour la recherche française de la Fondation Bettencourt Schueller, qui soutiennent depuis vingt ans les chercheurs du CNRS et de l'Inserm en sciences de la vie, ont été remis le 20 novembre. Une aide importante pour des équipes scientifiques en devenir.

Le 20 novembre, les deux chercheurs du CNRS Gaëlle Legube et Yves Gaudin recevaient les prix Coups d'élan pour la recherche française 2019 de la Fondation Bettencourt Schueller, aux côtés de deux lauréats de l'Inserm. À hauteur de 250 000 euros, ce prix représente une véritable impulsion financière pour des équipes de recherche, mais également une large reconnaissance scientifique.

Créée en 1987, la Fondation Bettencourt Schueller *« croit en l'Homme et pense que ce sont les hommes et les femmes qui font la différence*, explique Olivier Brault, directeur général de la fondation. *Nous sélectionnons des personnalités porteuses d'avenir. Notre objectif est de leur permettre d'aller encore plus loin. »* La fondation soutient trois domaines d'action : les arts, la solidarité et la recherche, plus particulièrement les sciences du vivant.

## Booster la recherche fondamentale

En ce qui concerne les sciences du vivant, la fondation apporte plus particulièrement son soutien à la recherche fondamentale. *« Les dotations de la Fondation Bettencourt Schueller sont très importantes pour la recherche fondamentale française, elles démontrent une vraie compréhension de l'importance de la connaissance. Aujourd'hui, il existe une tendance à privilégier le court terme et les applications alors que le long terme est essentiel… »*, affirme Pierre Netter, professeur émérite et chargé de mission au sein de l'Institut des sciences biologiques du CNRS.

La fondation soutient des personnalités talentueuses par le biais de nombreux prix dont quatre dédiés à la science. Parmi ces derniers figurent les prix Coups d'élan pour la recherche française, imaginés en partenariat avec le CNRS et l'Inserm et par lesquels la fondation récompense chaque année quatre chercheurs, deux par organisme. Ces prix s'adressent à des scientifiques en milieu de carrière afin d'aider à améliorer les conditions de travail de leur équipe de recherche. *« L'intuition du prix se retrouve dans son titre : Coups d'élan. L'objectif est de donner des ailes aux talents »*, rapporte Olivier Brault. Depuis vingt ans, la Fondation Bettencourt Schueller a distribué soixante-dix

© ART IN RESEARCH/A. DARMON POUR LA FONDATION BETTENCOURT SCHUELLER

◢ Gaëlle Legube, une des lauréates 2019, dans son laboratoire au Centre de biologie intégrative à Toulouse.

1. Unité CNRS/Sorbonne Université. 2. Unité Inserm/Aix-Marseille Université. 3. Unité CNRS/Université de Toulouse Paul-Sabatier. 4. *idem*. 5. *idem*.
6. Aujourd'hui intégré à l'Institut de biologie intégrative de la cellule (unité CNRS/CEA/Université Paris-Sud).

© SAY WHO?/J. PICON POUR LA FONDATION BETTENCOURT SCHUELLER

◢ Le 20 novembre, Yves Gaudin, Gaëlle Legube, Luc Dupuis et Pamela Schnupf (de gauche à droite) ont reçu les prix Coups d'élan pour la recherche française 2019.

prix Coups d'élan qui ont aidé autant de laboratoires français à s'équiper.

**Des chercheurs et des projets d'excellence**

Ces prix permettent d'accompagner des parcours scientifiques, de faciliter l'acquisition de matériels d'expérimentation ou encore de rénover des laboratoires de recherche : *« des financements très difficiles à obtenir »*, indique Angela Falciatore, lauréate du prix en 2018 et soutenue par la fondation pour l'installation de son unité de recherche Biologie du chloroplaste et perception de la lumière chez les micro-algues[1], à l'Institut de biologie physico-chimique. *« Ce prix est un soutien important pour la structuration de notre projet qui vise à renforcer, au cœur de Paris, la recherche sur les micro-algues et leurs capacités d'adaptation. Un savoir fondamental pour appréhender les conséquences des changements environnementaux sur les écosystèmes aquatiques »*, explique la chercheuse.

Depuis sa création, la liste des lauréats des prix Coups d'élan fait honneur à la recherche française. *« Devenus, pour la plupart, directeurs d'institut, d'unité, ou animateurs d'équipes reconnues, leurs thématiques illustrent bien la diversité des candidats retenus par le jury. De la biologie structurale aux neurosciences cognitives, des mégavirus à l'homme en passant par le nématode, la drosophile ou la souris, la liste est longue des domaines de recherche ainsi soutenus par la fondation »*, rapporte Pierre Netter.

Autant de chercheurs d'excellence qui ont eu l'occasion de se retrouver le 20 novembre pour célébrer les vingt ans du prix Coups d'élan, au cours de la cérémonie annuelle de remise des prix de la fondation, qui s'est déroulée en présence d'Antoine Petit, président-directeur général du CNRS. II

## *Le palmarès 2019 en sciences du vivant*

La Fondation Bettencourt Schueller a récompensé cette année 20 chercheurs en sciences du vivant. Parmi eux, **Rosa Cossart**, directrice de recherche CNRS à l'Institut de neurobiologie de la Méditerranée[2], a reçu le prix Bettencourt pour les sciences du vivant. **Filipe Pinto Teixeira** est quant à lui lauréat du programme Atip-Avenir et va créer sa propre équipe de recherche au Centre de biologie du développement à Toulouse[3].

Les prix Coups délan pour la recherche française ont récompensé **Luc Dupuis** et **Pamela Schnupf,** chercheurs à l'Inserm, et **Gaëlle Legube** et **Yves Gaudin,** chercheurs au CNRS.

C'est en 2003 que **Gaëlle Legube** a obtenu son doctorat en biologie moléculaire, au Laboratoire de biologie moléculaire eucaryote[4] à Toulouse. Aujourd'hui, la voici directrice de recherche CNRS au Laboratoire de biologie cellulaire et moléculaire du contrôle de la prolifération[5]. Elle s'intéresse, avec l'équipe qu'elle dirige depuis 2011, aux mécanismes de la réparation des cassures double-brin de l'ADN, cassures qui peuvent conduire à des réarrangements dramatiques du génome et à l'apparition de cancers. *« C'est une belle reconnaissance dans notre domaine car le prix est très compétitif ! Il permettra d'asseoir notre équipe et de mettre un beau coup de projecteur sur nos recherches »*, se réjouit la lauréate.

Titulaire d'un doctorat en biochimie obtenu en 1992 au Laboratoire de génétique des virus[6], **Yves Gaudin** est directeur de recherche CNRS à l'Institut de biologie intégrative de la cellule où il est responsable du département de virologie. Le chercheur se voit récompensé pour ses travaux sur les virus, et plus précisément « l'usine virale » formée au sein de la cellule infectée. *« C'est un sujet très nouveau qui va révolutionner la biologie des dix prochaines années »*, s'enthousiasme le lauréat. Le prix de la Fondation Bettencourt Schueller lui permettra notamment de s'équiper en microscopie pour faire de l'imagerie sur des cellules vivantes.

Pour en savoir plus
» **www.fondationbs.org**

# Audrey Dussutour
## Celle qui a fait entrer le blob au zoo

VIVANT

**Biologie.** Spécialiste mondiale du blob – cellule géante, ni plante, ni animal, ni champignon, entré en octobre au Parc zoologique de Paris – Audrey Dussutour nous parle de cet étrange organisme qu'elle a nommé d'après… un film d'horreur !

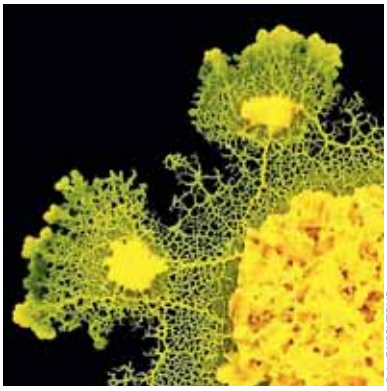
**PAR** MURIEL FLORIN

Audrey Dussutour tenant une boîte de Petri devenue jaune car entièrement colonisée par un blob.

Les visiteurs du Parc zoologique de Paris peuvent admirer le blob dans son vivarium depuis le 19 octobre.

**Un organisme unicellulaire dans un parc zoologique, c'est une première ! Quel est l'intérêt ?**
**Audrey Dussutour**[1] **:** C'est une bonne façon d'éveiller les gens à la biodiversité sans se focaliser sur les animaux, les plantes ou les champignons. On a tendance à oublier les micro-organismes.

***Physarum polycephalum* est connu depuis 1822, mais en l'étudiant il y a dix ans vous le surnommez « le blob », comme le film où un extraterrestre gluant grossit dès qu'il avale quelqu'un…**
**A.D. :** Il y a une référence à son aspect, oui ! Mais notre blob grandit moins vite et quand il est sous forme de plasmode, de masse molle, la lumière peut dénaturer son ADN et le tuer. Privé d'eau ou de nourriture, il est aussi capable d'entrer en dormance, devient très sec comme du lichen, mais peut se régénérer : il suffit de verser un peu d'eau dessus.



© A. DUSSUTOUR

**Il se déplace en formant des petites excroissances et mange par phagocytose, comme les amibes, elles aussi organismes unicellulaires. Mais il atteint des tailles bien supérieures à celles-ci…**
**A.D. :** En effet. Au début de sa vie, il mesure 50 micromètres puis sa taille peut doubler tous les jours. Un blob de 10 mètres carrés est d'ailleurs enregistré au livre des records ! C'est lié à son mode de reproduction : ce n'est pas la cellule qui se divise, mais uniquement le noyau, jusqu'à atteindre plusieurs milliards de noyaux et une taille record. Côté vitesse, il peut atteindre des pointes de 4 centimètres par heure. Au fait, il n'y a pas un mâle ou une femelle, mais plus de 720 types sexuels chez le blob.

**Comment peut-il être « intelligent » sans disposer de cerveau ni de système nerveux ?**
**A.D. :** Il sait résoudre des problèmes dans son environnement, prendre les bonnes décisions, il se souvient de ses expériences et sait même transférer ce qu'il a appris à ses congénères. Nous avons testé ses capacités en élevant des spécimens dans des milieux où la quantité de sucres et de protéines varie. Au final, il choisit la nourriture qui lui profite au maximum. Nous avons aussi observé qu'il pouvait apprendre à ignorer des aversions innées. Ce procédé d'apprentissage, l'habituation, n'avait jamais été observé chez un organisme unicellulaire.

**Vous étudiez aussi les fourmis. Quel rapport avec le blob ?**
**A.D. :** Comme pour l'intelligence collective des fourmis, la résolution de problème chez le blob repose sur un système distribué. Chez la fourmi, la solution n'est pas codée au niveau de l'individu mais émerge du collectif. On pense que de manière similaire, le comportement du

**PHAGOCYTOSE**
Processus d'ingestion de particules étrangères solides d'échelle micrométrique. Elle permet au blob d'engouffrer sa nourriture dans sa membrane.

**AMIBE**
Micro-organisme unicellulaire des eaux douces ou salées, des sols humides, et dont certaines espèces parasitent l'intestin humain.

1. Chargée de recherche CNRS au Centre de recherches sur la cognition animale (CNRS/Université Toulouse III Paul-Sabatier).

***Tout ce que vous avez toujours voulu savoir sur le blob sans jamais oser le demander,*** *Audrey Dussutour, Éditions des Équateurs, 2017, 179 p., 17 €.*

© C. GARRIC/ZEPPELIN/SIPA

blob repose sur la coordination de sous-entités au sein de la cellule.

**Le blob change-t-il notre vision du vivant ?**

**A.D. :** Son étrangeté étonne de prime abord, mais il remet peu de choses en question, à part cette capacité d'apprentissage qu'on croyait réservée aux organismes dotés de systèmes nerveux. Surtout, le blob intéresse aussi les physiciens, qui se passionnent pour son réseau veineux, les éthologues qui observent son comportement et décryptent ses stratégies, des mathématiciens, qui modélisent son comportement. Il faut encourager ces regards croisés ainsi que la recherche fondamentale. II

Lire l'intégralité de l'entretien sur **lejournal.cnrs.fr**

Voir la vidéo « Qu'est-ce que le blob ? » sur **youtube.com/watch?v=Cl8wmM1XNwA**

# *En bref*

## CAROLE CHRÉTIEN À LA TÊTE DE LA DRE

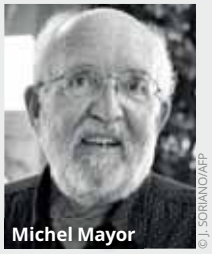
DR

Le 12 novembre, Carole Chrétien a été nommée directrice des relations avec les entreprises du CNRS, avec pour mission de développer les relations de l'organisme avec le monde économique et les entreprises françaises et internationales. Elle a d'abord acquis son expertise de l'accompagnement des entreprises au sein du groupe Arthur Andersen, ensuite sur le terrain en Picardie, puis en tant que conseillère technique de deux ministres, avant de prendre la tête du Commissariat général à l'internationalisation des PME et ETI à Bercy. Secrétaire générale et directrice générale déléguée du Medef entre 2014 et 2018, elle a également assuré la vice-présidence de la start-up Smart Global Privacy.

## LES BOURSES DE L'ERC

Le Conseil européen de la recherche a récemment dévoilé les lauréats 2019 de deux de ses appels phare. Avec 25 projets retenus, le CNRS conserve sa place de premier organisme d'accueil européen des bourses ERC Starting Grants en 2019. Quant à l'appel à projets Synergy Grant – attribués à plusieurs scientifiques réunis autour d'un grand sujet –, l'organisme compte trois lauréats sur les 37 projets sélectionnés par l'ERC.

## LES PRIX NOBEL 2019



Michel Mayor

© J. SORIANO/AFP

Didier Queloz

© I. INFANTES/AFP

Esther Duflo

© C. FRESILLON/CNRS PHOTOTHÈQUE

Les Suisses Michel Mayor et Didier Queloz ont reçu le prix Nobel de physique 2019 – aux côtés de James Peebles – pour leur découverte en 1995 de la première exoplanète orbitant autour d'une étoile similaire au Soleil. Celle-ci avait eu lieu à l'Observatoire de Haute-Provence, alors uniquement CNRS. Au palmarès 2019, Esther Duflo a reçu de son côté le prix de la Banque de Suède en sciences économiques en mémoire d'Alfred Nobel pour ses travaux sur le développement et la lutte contre la pauvreté, qui lui avaient valu en 2005 la médaille de bronze et en 2011 la médaille de l'innovation du CNRS.

© J. PUSCEDDU/CNRS

## UNE DÉLÉGUÉE POUR LA CÔTE D'AZUR

Jusqu'ici adjointe au délégué régional Inserm Provence-Alpes-Côte d'Azur et Corse, Aurélie Philippe a été nommée à la tête de la délégation régionale Côte d'Azur du CNRS à partir du 1er octobre 2019.

© F. IMPÉRIALI

# Lamine Gueye :

## *« Grâce à ce laboratoire, nous renforçons le partenariat Nord-Sud »*

**PAR** FABRICE IMPERIALI

Rencontre avec le directeur du laboratoire de recherche international Environnement, Santé, Sociétés. Cette unité, à ce jour la seule du CNRS en Afrique de l'Ouest, a été reconduite fin septembre lors d'une signature à Dakar, au Sénégal, en présence d'Antoine Petit.

**Quel est votre bilan des dix premières années de l'unité ?**

**Lamine Gueye :** Notre objectif principal était de mettre en place une recherche d'excellence très orientée sur des questions de société, avec une approche interdisciplinaire de terrain autour du triptyque Environnement, Santé, Sociétés. Il y a eu un effort très important pour constituer un réseau entre les équipes du CNRS et celles des trois pays africains impliquées dans ces grandes thématiques. Un autre résultat important a été que les équipes pluridisciplinaires puissent étudier sur le terrain les zones urbaines et rurales. Pour l'étude, par exemple, des maladies chroniques non transmissibles, des médecins et des pharmaciens ont collaboré avec des sociologues, des anthropologues et des géographes. Nous avons obtenu les premiers résultats épidémiologiques fiables dans la population sénégalaise sur l'hypertension artérielle et le diabète, qui ont révélé un problème important de santé publique. Par la suite, le ministère de la Santé du Sénégal a mis en place une étude sur le plan national. Les équipes de l'UMI ont aussi étudié les modifications des écosystèmes dans la partie sénégalaise de la grande muraille verte et émis des recommandations sur les stratégies de reboisement les plus adaptées à ce projet panafricain.

**Quels sont les nouveaux objectifs ?**

**L. G. :** Nous souhaitons renforcer les relations entre les équipes et accroître la mobilité des chercheurs du CNRS spécialistes de nos thématiques. Nous aimerions aussi que des chercheurs seniors viennent sur le terrain, même s'ils ne sont pas titulaires du laboratoire, pour consolider le partenariat Nord-Sud. Nous souhaiterions enfin renforcer notre travail de terrain et accélérer le reboisement de la grande muraille verte. C'est un défi continental. Nous avons réussi au Sénégal à positionner le laboratoire comme structure de recherche de ce grand projet ; nous souhaitons le faire aussi au Mali et au Burkina Faso.

**L'étude des maladies chroniques non transmissibles constitue un autre défi de santé publique…**

**L. G. :** En effet. Il apparaît que les sociétés africaines voient s'installer progressivement dans les populations l'hypertension artérielle, le diabète et l'obésité. Nous devons approfondir les recherches pour en identifier les déterminants. Nos équipes sont en train de montrer que l'Afrique est, comme les pays du Nord, aujourd'hui exposée à une alimentation beaucoup trop sucrée et salée, en raison de la mondialisation et de l'harmonisation des pratiques alimentaires. Nous allons étudier sur le terrain et dans les familles ces nouvelles habitudes alimentaires. La signature de renouvellement du laboratoire, devant la direction du CNRS et des partenaires africains[1], a été l'occasion de faire le bilan de ces dix années de résultats scientifiques et de nous projeter vers le futur. II

1. Le Centre national de la recherche scientifique et technologique (CNRST) du Burkina Faso, l'Université des sciences, des techniques et des technologies (USTTB) du Mali, l'Université Gaston Berger (Saint-Louis, Sénégal) et l'Université Cheikh Anta Diop (UCAD) de Dakar. Le Centre national de la recherche scientifique et technologique (CNRST) du Mali était également présent.

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

Dernière minute : Françoise Lamnabhi-Lagarrigue, directrice de recherche au CNRS, spécialiste d'automatique, a reçu le prix Irène Joliot-Curie 2019 de « Femme scientifique de l'année ». | Le 15 octobre dernier, 21 scientifiques du CNRS ont reçu un des prix de l'Académie des sciences. | Quatre directeurs ont été nommés à la tête de bureaux du CNRS à l'étranger : Olga Anokhina à Rio de Janeiro, Philippe Arnaud à Pékin, Sylvette Tourmente à Washington et Jean-Paul Toutain à Singapour. | 24 chercheuses issues de laboratoires CNRS (sur 35 lauréates) ont reçu le prix Jeunes Talents France 2019 remis par la Fondation L'Oréal et l'Unesco. | À Dakar, le 26 septembre, Natacha Delrez de l'Université de Liège (Belgique) a remporté la finale internationale de Ma thèse en 180 secondes.

# GRAND FORMAT

*Célébrer en images les 80 ans du CNRS, comprendre la révolution de la science ouverte et partir en expédition avec les chercheurs.*

ILLUSTRATION : JUANJO GASULL/COLAGENE.COM POUR CNRS LE JOURNAL

© ILLUSTRATION : COLCANOPA

# Science ouverte
## La révolution nécessaire

NUMÉRIQUE SOCIÉTÉS

Face à un modèle économique qui enferme les savoirs et engendre des milliards de dollars, les acteurs de la recherche publique se mobilisent pour libérer l'accès aux publications et aux données. Alors que le CNRS vient de présenter sa feuille de route pour la science ouverte, enquête sur les enjeux de ce mouvement incontournable.

**PAR** JEAN-BAPTISTE VEYRIERAS

# Un modèle à réinventer

**133 000 articles** publiés par la recherche française en 2017

dont **41 %** en libre accès

dont **48 000** par les unités sous tutelle du CNRS (hors SHS)

Accéder à la connaissance peut coûter cher… même lorsque celle-ci est produite grâce à des financements publics. Afin de contrer le monopole imposé par certains éditeurs spécialisés, acteurs de la recherche et pouvoirs publics travaillent ensemble pour rendre accessible à tous, gratuitement, l'intégralité des publications scientifiques.

Payer pour accéder à la connaissance, au savoir universel constitué au fil des ans par la recherche publique. Ce n'est pas une dystopie. C'est ce que scientifiques et citoyens doivent massivement concéder : au moins quatre articles scientifiques sur cinq sont publiés dans des revues payantes selon le dernier rapport[1] du syndicat professionnel des éditeurs scientifiques, la STM (Association of Scientific, Technical and Medical Publishers). Les idées et les résultats obtenus dans les laboratoires du monde entier, financés en grande partie par l'argent public, se retrouvent ainsi confinés derrière une imposante barrière de péage. Pire encore : les éditeurs s'accaparant les droits d'auteur, les scientifiques ne peuvent même pas diffuser librement leurs propres productions !

Mais la barrière se fissure. En octobre dernier, le ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation se félicitait que 41 % des 133 000 publications scientifiques françaises publiées en 2017 soient désormais en libre accès : scientifiques comme citoyens peuvent en lire le contenu sans avoir à débourser un centime. *« Le libre accès au savoir scientifique est un enjeu primordial »*, réaffirme Marin Dacos, en charge de coordonner les efforts dans cette voie entre les différents acteurs de la recherche publique en France. *« C'est même un enjeu démocratique fondamental »*, insiste-t-il.

« Ouvrir la science », c'est en effet le souhait du Plan national pour la science ouverte, lancé à l'été 2018 par le gouvernement français. *« La France s'engage pour que les résultats de la recherche scientifique soient ouverts à tous, chercheurs, entreprises et citoyens, sans entrave, sans délai, sans paiement »*, peut-on lire en préambule[2]. Cette volonté des pouvoirs publics français s'inscrit plus largement dans une dynamique internationale, initiée au tournant des années 2000. *« De nouveaux modes de diffusion de la connaissance, non seulement sous des formes classiques, mais aussi, et de plus en plus, en s'appuyant sur le paradigme du libre accès* via *l'internet, doivent être mis en place »*, affirmait dès 2003 la Déclaration de Berlin sur le libre accès à la connaissance[3], signée depuis par plus de 360 organismes internationaux de recherche. Mais tous les pays n'ont pas avancé au même rythme. En 2016, l'Appel d'Amsterdam de l'Union européenne demandait à chaque pays de se doter d'un plan national pour la science ouverte. Les Pays-Bas, suivis

## La science ouverte en 5 dates

### 1991

Lancement de l'archive ouverte **ArXiv** aux États-Unis.

### 2001

**Déclaration de Budapest :** projet qui vise à faciliter l'échange et la valorisation d'archives numériques.

Création de l'archive ouverte **HAL** par le CNRS.

### 2003

**Déclaration de Berlin :** demande de la mise à disposition en libre accès de la littérature scientifique mondiale et de l'ensemble des données et logiciels ayant permis de produire cette connaissance.

### 2016

**Amsterdam call for action :** pour un accès ouvert des publications issues de la recherche financée pour plus de 50 % par des fonds publics.

En octobre, promulguation de la **loi pour une République numérique en France :** l'exception du droit d'auteur favorise le libre accès aux résultats des travaux de recherche publique (financée à plus de 50 % par des fonds publics) et l'autorisation de la fouille de textes et de données issues de cette même recherche.

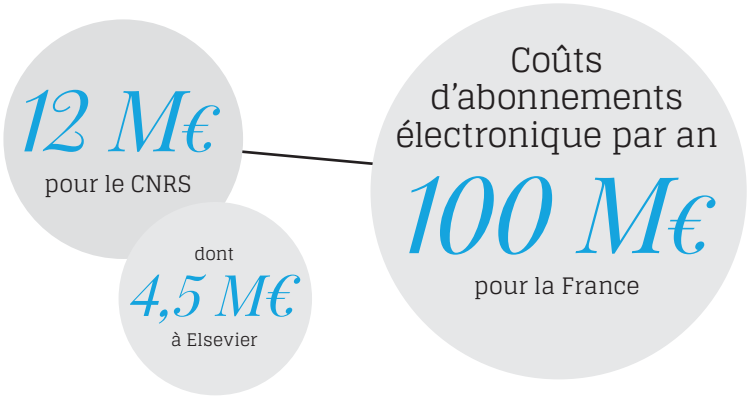
### 2018

Signature du **Plan S** par 11 agences européennes de financement dont l'ANR.

En juillet, **le Plan national pour la science ouverte** est annoncé par la ministre de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'innovation, Frédérique Vidal.

Le CNRS est signataire de la **Déclaration de San Francisco** (Dora) qui vise à améliorer l'évaluation de la recherche. Ce texte remet en cause l'utilisation abusive de l'indicateur de notoriété Journal Impact Factor.

1. « The STM Report: An overview of scientific and scholarly publishing » : https://www.stm-assoc.org/2018_10_04_STM_Report_2018.pdf
2. https://www.ouvrirlascience.fr/plan-national-pour-la-science-ouverte 3. « Déclaration de Berlin sur le libre accès à la connaissance en sciences exactes, sciences de la vie, sciences humaines et sociales » : https://openaccess.mpg.de/Berlin-Declaration

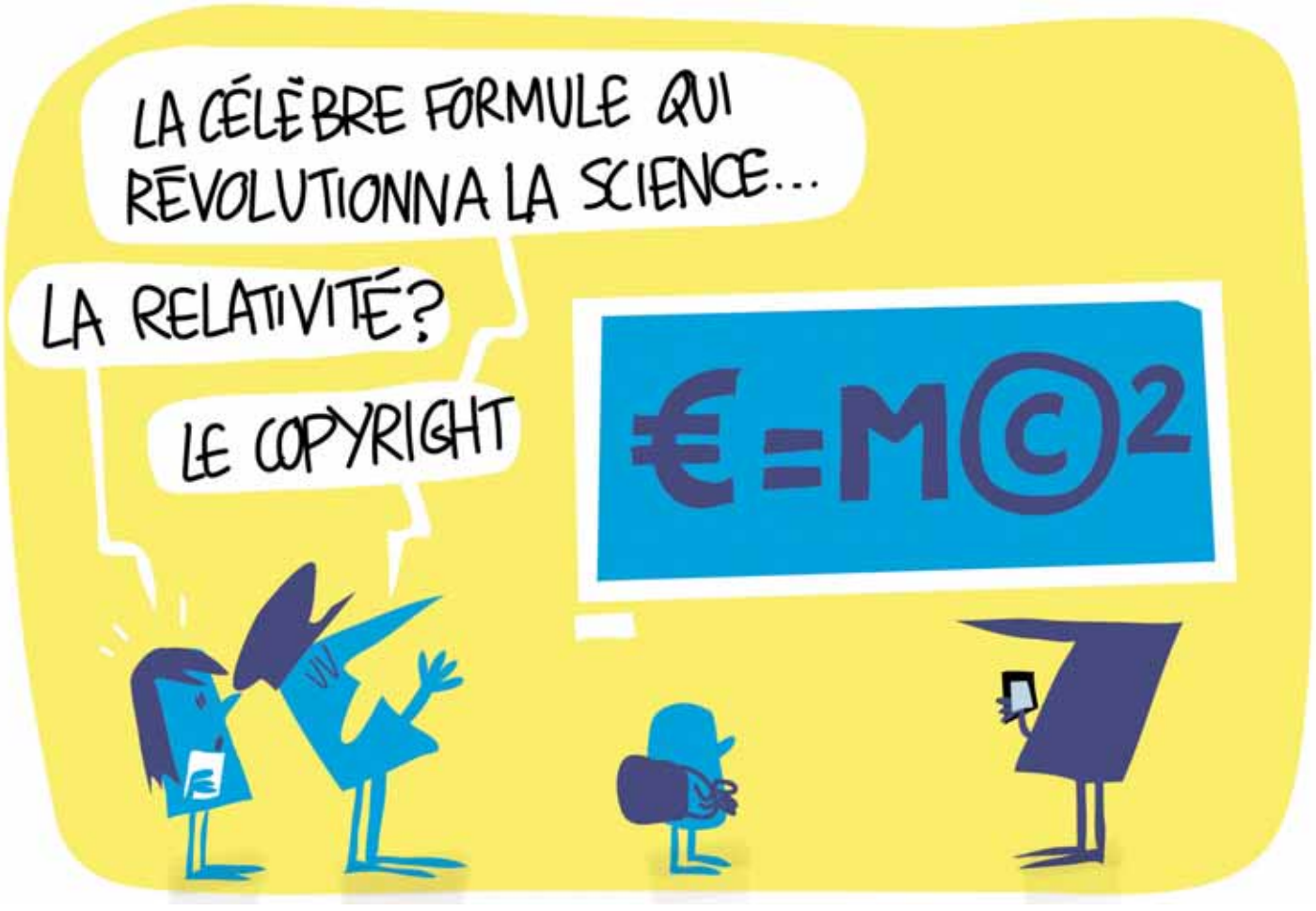



de la Finlande, de l'Irlande et de la France sont à ce jour les seuls à s'être dotés d'un tel plan, montrant la dynamique engagée par l'Europe, même si l'Allemagne, par exemple, choisit de se concentrer sur les négociations avec les éditeurs. L'approche européenne se distingue par sa globalité de pays tels que les États-Unis, qui ont commencé dès 2008, mais uniquement sur l'accès ouvert dans le domaine de la santé.

Si le principe d'une science ouverte à tous peut sembler presque une évidence, sa mise en œuvre relève de la gageure. C'est tout un système séculaire d'édition et de diffusion des savoirs scientifiques qu'il faut modifier en profondeur. *« C'est une révolution »*, atteste le président-directeur général du CNRS, Antoine Petit. Et il souhaite que le CNRS s'emploie pleinement dans cette voie. *« Toutes les publications scientifiques auxquelles contribuent les membres du CNRS devront être à très court terme en libre accès »*, s'engage pour sa part Alain Schuhl, directeur général délégué à la science du CNRS, en charge de mener la première institution scientifique française vers ce nouvel horizon.

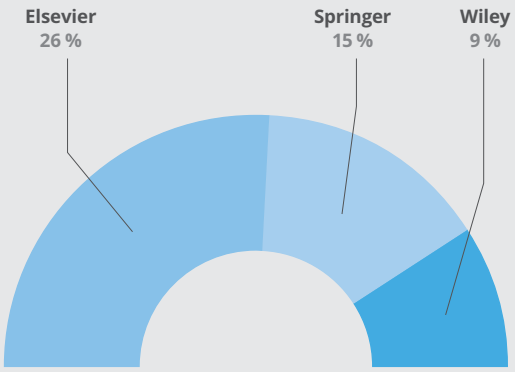
**Un oligopole détient 40 % du marché**

Ce n'est pas qu'une question de principe. C'est aussi un enjeu économique de taille. Car le système d'édition scientifique est devenu de surcroît « ubuesque ». En confisquant le droit d'auteur aux chercheurs, les éditeurs scientifiques ont alors toute latitude pour dicter leur loi économique. Pour avoir accès aux savoirs scientifiques, chaque institution de recherche ou bibliothèque universitaire doit en effet débourser des sommes considérables sous la forme d'abonnements annuels. Les universités européennes ont dû régler en 2018 une facture avoisinant le milliard d'euros ! *« Les plus grands éditeurs sont en position de force et de monopole sur des revues considérées comme incontournables »*, explique Marin Dacos. Et même d'oligopole. En face de la multitude de ...




© ILLUSTRATION : COLCANOPA

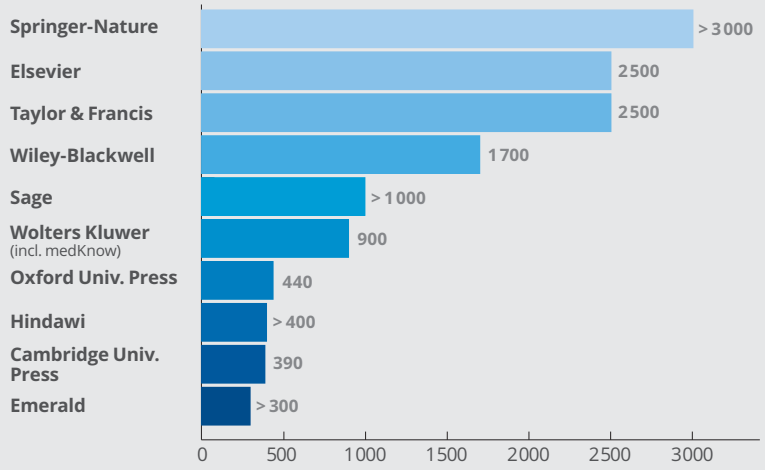
## Répartition partielle des publications du CNRS en 2017




Sur 48 000 publications du CNRS en 2017, 50 % sont publiées chez trois éditeurs seulement.

Source : CNRS - INIST 2018

## Les 10 plus grands éditeurs scientifiques anglophones, par nombre de titres publiés




Source : rapport STM, 5e édition, octobre 2018.

… demandes mondiales pour accéder aux savoirs, trônent quatre grands groupes d'éditeurs : RELX Group (à qui appartient Elsevier), Springer-Nature, Taylor & Francis et Wiley-Blackwell. À eux seuls, ils détiennent 40 % du marché de l'édition scientifique ! Ces mastodontes sont de fait incontournables : *« Si un institut de recherche ou une bibliothèque universitaire ne parvient pas à s'abonner à l'un de ces quatre groupes, c'est tout un pan du savoir scientifique qui disparaît »*, déplore Marin Dacos.

Le chantage à l'abonnement permet à ces groupes de multiplier leurs profits. Le coût cumulé des abonnements de tous les acteurs de la recherche publique en France atteint désormais 100 millions d'euros par an. Au point

> *« Les plus grands éditeurs sont en position de force et de monopole sur des revues considérées comme incontournables. »*

que cet oligopole est devenu l'un des plus rentables au monde, avec un taux de profit supérieur à 30 % pour un chiffre d'affaires en milliards d'euros – avec un marché mondial de l'édition scientifique évalué à près de 26 milliards de dollars par la STM ! Ce taux de profit exorbitant place même ces groupes devant des entreprises comme Google ou Apple : *« Ce n'est pas normal de financer de telles marges avec de l'argent public »*, s'insurge Olivier Fruchart, chercheur au laboratoire Spintronique et technologie des composants[4]. En plus d'accaparer une partie des financements de la recherche publique, ce système a favorisé l'accroissement des inégalités d'accès au savoir. Chaque institution doit en effet négocier sous le sceau du secret le montant de ses abonnements. En conséquence, seuls les organismes les plus riches parviennent à peser dans les négociations. Les inégalités économiques renforcent de fait les inégalités épistémologiques. À titre d'exemple, la plus fortunée des institutions académiques indiennes n'avait accès en 2008 qu'à 12 % des revues auxquelles l'université américaine de Harvard était abonnée[5]. En réponse, une jeune scientifique kazakhe, Alexandra Elbakyan, crée en 2011 un site pirate, Sci-Hub, permettant de lever illégalement la barrière de péage et d'accéder aux publications scientifiques. Le site a connu un rapide succès dans le monde. Mais les procès intentés par les grands éditeurs se sont succédé. Début mars 2019, en France, le tribunal de grande instance de Paris a ordonné aux fournisseurs d'accès à Internet de bloquer l'accès à Sci-Hub.

### Du modèle historique au « *publish or perish* »

L'illégalité et la clandestinité ne sont heureusement pas la seule réponse possible. Plusieurs initiatives, à l'image du Plan national français pour la science ouverte, ont vu le jour un peu partout dans le monde afin de sortir de cette situation intenable. Pour mieux comprendre les leviers dont les chercheurs et les pouvoirs publics disposent pour y parvenir, il convient dès lors de remonter à l'origine de cette dérive. Ces géants de la presse scientifique ont su capter le désir des communautés scientifiques de disposer d'une ressource partagée au sein de laquelle ils puissent consulter les connaissances et les

4. Unité CNRS/Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives/Université Grenoble-Alpes/INP Grenoble. 5. Selon une étude de Peter Suber, *Qu'est-ce que l'accès ouvert ?*, préface de Marin Dacos, traduit par Marie Lebert, OpenEdition Press, coll. « Encyclopédie numérique », 2016 (MIT Press, 2012), 194 p.

avancées dans leur domaine. Et bien sûr, sous le contrôle de leurs pairs, y déposer leurs propres contributions. Ce « pot commun » a pris historiquement la forme de revues scientifiques – la plus ancienne est le *Journal des sçavans* créé en janvier 1665 à Paris. Ces premières revues, qui se présentent sous la forme de liasses de correspondance échangée directement entre savants, sont alors adossées aux Académies des sciences nationales ou aux sociétés savantes. Leur parution, au gré des contributions spontanées, est irrégulière. Mais un tournant va s'opérer au XIXe siècle : *« Face au coût de fabrication et de diffusion de ces revues, les scientifiques vont s'allier à des éditeurs professionnels – à l'époque ce sont surtout des libraires. Le processus éditorial demeure le même,* rappelle l'historienne Valérie Tesnière, directrice d'études de l'École des hautes études en sciences sociales et spécialiste des pratiques et politiques éditoriales scientifiques contemporaines. *Les articles sont soumis aux rédactions scientifiques des revues qui évaluent entre pairs le contenu des communications à publier. Sauf dans certaines sociétés savantes, les rédactions scientifiques délèguent aux libraires la gestion des relations avec l'imprimeur, la mise en forme des textes et la gestion des abonnements. En échange de ces services, le libraire touche une part des bénéfices. »*

NATURE

A WEEKLY ILLUSTRATED JOURNAL OF SCIENCE

THURSDAY, NOVEMBER 4, 1869

NATURE: APHORISMS BY GOETHE

Page extraite du premier numéro de la revue scientifique *Nature*, publié le 4 novembre 1869.

Le modèle séduit et devient le « pot commun » de référence dans le monde entier – la revue *Nature*, l'une des plus célèbres aujourd'hui, est fondée en 1869 par l'astronome britannique Joseph Norman Lockyer en lien avec l'éditeur Alexander MacMillan. Puis à mesure que la science s'institutionnalise au cours du XXe siècle et se ramifie en de nouvelles disciplines, le nombre de revues scientifiques explose. Selon la STM, ce ne sont pas moins de 33 100 revues en 2018 qui publient jusqu'à 3 millions d'articles par an ! Dans le même temps, l'anglais est devenu la « *lingua franca* » de la science – seuls 0,7 % de ces publications sont aujourd'hui écrites en français. *« Ce modèle historique n'est pas en soi défavorable »*, souligne Marin Dacos. Chacun y jouait en effet pleinement son rôle et les abonnements ont longtemps été inévitables, dans des niveaux de prix tout à fait raisonnables. Comment alors ce modèle de l'édition scientifique a-t-il progressivement dérivé ?

Deux facteurs ont ici contribué à ce déséquilibre, qui vont avoir un rôle important pour envisager une « sortie de crise ». D'une part, après la Seconde Guerre mondiale, l'évaluation des scientifiques par leurs tutelles académiques ou gouvernementales érige la publication scientifique au rang de critère incontestable. La bibliométrie naissante, autrement dit la « science des publications », fournit malgré elle des indicateurs de la performance des scientifiques : nombre de publications annuelles par chercheur, de citations par d'autres scientifiques, etc. Publier devient l'alpha et l'oméga afin de s'assurer une carrière et gagner en prestige. Au risque que la quantité l'emporte sur la qualité. Dès les années 1960, des scientifiques critiquent cette logique dévoyée du « *publish or perish* » (« publie ou péris »). Côté éditeur, c'est une aubaine. L'injonction à publier leur garantit un rôle incontournable. D'autre part, l'arrivée d'Internet dans les années 1990 va favoriser la concentration des éditeurs. Seules les maisons d'édition disposant d'un important capital vont être en mesure d'investir massivement dans le développement de grandes plateformes numériques regroupant des centaines et des centaines de revues. Quelques décennies auparavant, de grandes « bases de données » facilitant la recherche dans la grande masse des revues papier préfiguraient déjà l'apparition de cet oligopole.

© ILLUSTRATION : COLCANOPA

**Les chercheurs contre-attaquent**

Si le développement d'Internet a décuplé l'emprise et la manne de cet oligopole, il a aussi ouvert des brèches. Discipline par discipline, des sciences humaines aux sciences naturelles jusqu'aux mathématiques, des initiatives individuelles ou collectives lancées par des chercheurs eux-mêmes vont esquisser de nouvelles voies. Dès 1991, un physicien américain, Paul Ginsparg, crée à Los Alamos un site internet pionnier : hep-th (pour ...

# *HAL, l'archive ouverte made in France*

**Avec plus de 1,9 million de documents référencés, l'« Hyper articles en ligne » – plus connue sous son acronyme HAL – est devenue l'archive ouverte de référence en France. Experts comme citoyens peuvent sans entrave et à leur guise fouiller et consulter ce vaste corpus de publications scientifiques.**

***« À ses débuts, à la fin des années 1990, les questions portées par la science ouverte n'avaient pas encore autant d'écho qu'aujourd'hui »***, se rappelle Serge Bauin, expert à la direction scientifique et technique du CNRS, qui suit le projet depuis sa création. Son développement débuta en 1999, à l'initiative du physicien Franck Laloë[6], déjà fervent utilisateur de l'archive ouverte américaine hep-th, alias arXiv, lancée dès 1991 par le physicien américain Paul Ginsparg. ***« À l'époque, la pérennité d'arXiv n'était pas garantie. Le lancement du programme de HAL offrait alors davantage de garanties dans le temps »***, souligne Serge Bauin. Le Centre pour la communication scientifique directe[7] (CCSD) a été créé pour développer la plateforme HAL qui n'a depuis cessé de s'ouvrir aux autres communautés scientifiques, au sein du CNRS comme à l'extérieur : ***« La convention de 2013 signée à l'Académie des sciences par la quasi-totalité des institutions de recherche publique a permis de faire de HAL la référence nationale »***, se réjouit-il.

Aujourd'hui, les 137 portails institutionnels de HAL facilitent l'accès à autant de documents scientifiques produits chaque année par les chercheuses et chercheurs de ces institutions (organismes de recherche, universités, grandes écoles, etc.). C'est d'ailleurs l'une des spécificités de HAL en regard de sa grande sœur arXiv : la richesse des descriptions rattachées à chaque publication en facilite grandement la recherche et l'indexation. En contrepartie, le dépôt des documents nécessite plus de temps : ***« Il est indispensable de faciliter ce dépôt dans HAL »***, pointe la biophysicienne Cécile Sykes, du laboratoire Physico-Chimie Curie[8].

À l'heure actuelle, environ la moitié des articles scientifiques produits au CNRS, et publiés dans des revues à comité de lecture, y sont néanmoins référencés : ***« Nous visons 100 % à très court terme »***, indique Alain Schuhl, directeur général délégué à la science du CNRS. ***« On voit déjà se développer de nouvelles revues qui s'appuient directement sur HAL avec le service episciences.org »***, renchérit Serge Bauin. Ce dernier était sûrement loin de se douter, il y a vingt ans, que HAL puisse devenir la figure de proue de l'archive ouverte en France.

**…** High Energy Physics – Theory), rebaptisé en 1999 arXiv (prononcer ar-K-iv). Ce site permet aux physiciens de déposer gratuitement des projets d'articles au format électronique et en libre consultation avant même leur soumission à des revues payantes. On parle alors d'archives ouvertes de prépublication, ou « *pre-print* » en anglais. Elles ne se substituent pas aux éditeurs historiques mais permettent d'accéder au contenu d'un article qui sera éventuellement publié par la suite dans une revue à comité de lecture. L'initiative est suivie par d'autres disciplines avec la création dans les années 1990 des archives ouvertes CogPrints en sciences cognitives et RePEc en économie. Le physicien français, Franck Laloë, inspiré par la démarche de son confrère Paul Ginsparg, crée avec le soutien du CNRS la première archive ouverte française, HAL, lancée officiellement en 2001 (voir ci-contre).

**Plus de 4 000 archives ouvertes dans le monde**

Aujourd'hui, selon le répertoire international OpenDOAR (Directory of Open Access Repositories), il existe 4 150 archives ouvertes dans le monde. Mais le modèle fait débat. L'absence de relecture par les pairs des articles déposés dans ces archives ouvertes ne peut leur conférer le même statut que des revues à comité de lecture, seules habilitées à « labelliser » la qualité du travail scientifique. Les scientifiques eux-mêmes restent très attachés à ce processus d'évaluation qui distingue les publications scientifiques de simples articles d'opinion. Pour les défenseurs du modèle, ces archives n'ont pas vocation à s'y substituer mais à faciliter la libre diffusion des savoirs et à stimuler les discussions entre confrères. C'est d'ailleurs dans cet esprit, en France, que la loi pour une République numérique (ou loi Lemaire) promulguée en 2016, offre la possibilité légale aux chercheurs de déposer dans une archive ouverte, après une période de 6 à 12 mois, leurs résultats de recherche – à condition qu'ils aient été financés à plus de 50 % par des fonds publics.

En parallèle de ces archives ouvertes, des chercheurs vont se mobiliser pour lancer de nouvelles revues 100 % numériques dont l'intégralité des publications sera accessible à tout un chacun. C'est ainsi que naît, par exemple, en 2001, la Public Library of Science (PloS), éditeur américain à but non lucratif. Pour que l'éditeur puisse toutefois rémunérer son travail, le coût des abonnements est transféré aux auteurs, qui doivent parfois payer plusieurs milliers d'euros pour publier leur article. Avec le risque que les éditeurs qui adoptent ce modèle cherchent avant tout à privilégier davantage la quantité – plus il y a d'articles publiés, plus l'argent rentre – que la qualité. Risque d'autant plus grand que les groupes de l'oligopole, sentant le vent tourner, lancent leurs propres plateformes d'édition en libre accès, à l'instar de BioMed Central (BMC), propriété du puissant éditeur Springer Nature. Mais cela ne veut pas dire qu'il est impossible de concilier accès ouvert et qualité éditoriale sur le modèle des revues à comité de lecture.

C'est dans ce sens que Marin Dacos, en France, initie dès 1999 une plateforme d'édition numérique en accès libre, sous la bannière du site revues.org – qui deviendra OpenEdition en 2011. Bref, les solutions techniques et

6. Directeur de recherche CNRS au Laboratoire Kastler Brossel (CNRS/Sorbonne Université/ENS Paris/Collège de France). 7. Unité CNRS/Comue Université de Lyon/Inria/Inra. 8. Unité CNRS/UPMC/Institut Curie. 9. https://sfdora.org/read/fr

*« C'est aussi avec ce souci d'accorder plus d'importance à la qualité qu'à la quantité que s'oriente la réflexion des évaluations individuelles des chercheurs au sein du CNRS. »*

les modèles économiques alternatifs ne manquent pas. Pourquoi alors la majorité des publications n'est-elle pas encore en accès libre en 2019 ?

**L'évaluation des chercheurs reste un obstacle**

Le premier obstacle est lié à l'un des facteurs historiques que nous venons d'évoquer : l'évaluation des chercheurs. Les critères donnent encore la part belle aux articles publiés dans les grandes revues généralistes et prestigieuses telles *Nature*, *Science*, *The Lancet*, etc. Au point d'ailleurs de créer un malaise au sein des nouveaux arrivants dans le monde de la recherche : *« Les jeunes chercheurs, davantage sensibilisés que leurs aînés à ces problématiques de libre accès, ont le sentiment d'être face à une injonction contradictoire »*, pointe Cherifa Boukacem-Zeghmouri, professeure en sciences de l'information et de la communication à l'Université de Lyon, qui a mené une étude de trois ans auprès de jeunes scientifiques du monde entier. *« Ces précaires de la recherche,* poursuit-elle, *savent que s'ils n'ont pas de publications dans les grandes revues scientifiques, ils ne pourront pas entrer dans le système de la recherche publique. L'adhésion au libre accès n'est possible que si on change le système d'évaluation de la recherche. »*

Pour tenter de remédier à cette situation paradoxale, des scientifiques, soutenus par des éditeurs de journaux en accès libre, ont rédigé en 2013 la Déclaration de San Francisco sur l'évaluation de la recherche[9] (Dora). Ils y contestent l'usage de la bibliométrie et appellent à faire primer la qualité des travaux scientifiques sur la notoriété des revues. Elle est désormais signée par les principaux instituts de recherche, dont le CNRS en 2018. *« Il faut faire évoluer les critères d'évaluation et aller vers plus de qualitatif »*, reconnaît Pierre Glaudes, directeur du département d'évaluation de la recherche au Haut Conseil d'évaluation de la recherche et de l'enseignement supérieur. *« Cela existe déjà. En Italie et en Angleterre, par exemple, les instances d'évaluation de la recherche proposent aux chercheurs de leur fournir uniquement une sélection de quelques publications de leur choix plutôt qu'une liste exhaustive »*, évoque-t-il. *« C'est aussi avec ce souci* ...

© ILLUSTRATION : COLCANOPA

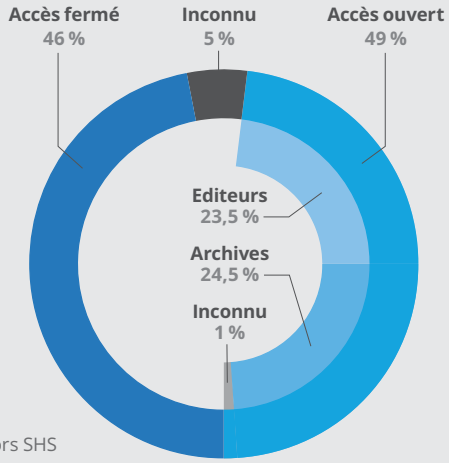
© ILLUSTRATION : COLCANOPA

*… d'accorder plus d'importance à la qualité qu'à la quantité que s'oriente la réflexion des évaluations individuelles des chercheurs au sein du CNRS »*, confie Alain Schuhl.

**Reprendre le contrôle du système éditorial**

Un second obstacle doit être levé : le manque de revues en libre accès. *« Certains domaines scientifiques n'ont actuellement aucune revue de ce type »*, déplore un collectif de scientifiques dans une tribune[10] publiée en 2018 dans le journal *Le Monde*. Tribune écrite en réponse au « plan S », lancé de concert en Europe par des agences nationales de financement de la recherche (dont l'ANR) et des instituts académiques, avec le soutien du Conseil européen de la recherche. Avec l'objectif que tous les travaux scientifiques cofinancés par ces agences soient publiés en libre accès dès 2020 – délai repoussé depuis à 2021. Les chercheurs craignent aussi que cette politique volontariste favorise des revues dites « prédatrices », profitant de l'essor de l'accès ouvert pour proposer des publications de piètre qualité moyennant finance. *« Il faut aller au-delà du plan S*, reconnaît Marin Dacos. *C'est tout le sens du plan national en France où nous cherchons à favoriser les meilleures stratégies de diffusion en libre accès en fonction des contraintes de chaque discipline. »* La solution avancée par le CNRS – rendre accessible *a posteriori via* HAL 100 % des articles de ses chercheurs – en est une première réponse concrète. *« D'une façon générale, la communauté scientifique doit reprendre le contrôle du système éditorial, dans l'esprit de l'Appel de Jussieu pour la science ouverte et la bibliodiversité*[11] », espère Marin Dacos. Cette reprise en main peut déjà s'appuyer sur les piliers français du domaine : *« En plus de HAL qui pourrait permettre à terme la création de nouvelles revues en libre accès tels les "épijournaux", nous disposons également de plateformes d'édition originales telles que OpenEdition pour les sciences humaines et le centre Mersenne pour les sciences exactes »*, souligne Sylvie Rousset, directrice de l'information scientifique et technique au CNRS. Le CNRS souhaite d'ailleurs financer d'autres projets de ce type à l'avenir. Chercheurs et acteurs de cette nouvelle politique le savent : disposer des outils est une chose, changer les pratiques en est une autre. Les sociétés devront attendre encore quelques années avant que l'esprit de la science ouverte parvienne à lever toutes les barrières de péage. Mais, assurément, une étape importante vient d'être franchie. II

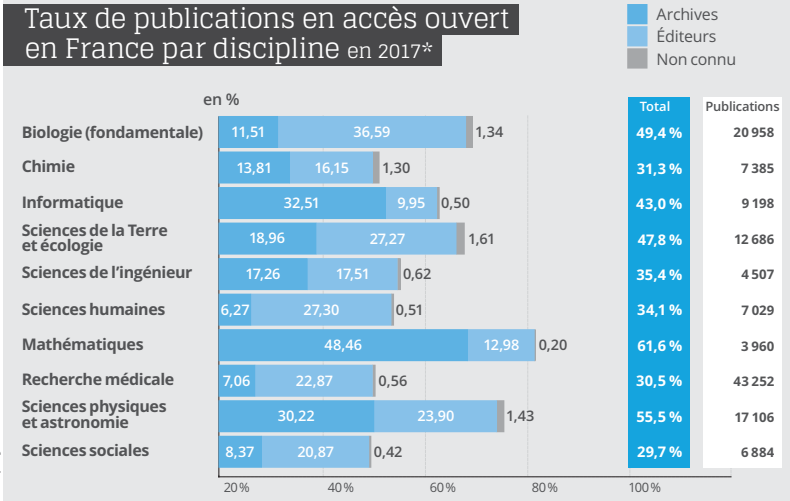
## Publications scientifiques dans les unités du CNRS en 2017*




* Hors SHS

Source : WoS et unpaywall, collaboration CNRS-INIST, BSO-MESRI

## Taux de publications en accès ouvert en France par discipline en 2017*




* Estimé à partir des publications détectées avec une affiliation française

Source : Unpaywall, traitement MESRI 2018

10. « Publications scientifiques : les pièges du "Plan S" », *Le Monde*, 9 octobre 2018. 11. https://jussieucall.org

© C. FRÉSILLON/CNRS PHOTOTHÈQUE

## Alain Schuhl, directeur général délégué à la science du CNRS

# « Notre objectif : 100 % de publications en libre accès »

Lors des deuxièmes journées nationales de la science ouverte, qui ont eu lieu les 18 et 19 novembre à Paris, Antoine Petit, président-directeur général du CNRS, a présenté la feuille de route[1] de l'organisme sur ce domaine. Explications avec Alain Schuhl, chargé de sa mise en œuvre au sein du CNRS.

**De quelle manière envisagez-vous de renforcer l'adoption des principes et des pratiques de la science ouverte au sein du CNRS ?**
Nous allons déployer notre action autour de quatre volets : l'accès ouvert aux publications scientifiques, le partage des données scientifiques, le développement et la promotion d'outils pour la fouille des contenus scientifiques, et enfin, l'évaluation individuelle des chercheurs. Ce sont les quatre piliers sur lesquels nous comptons faire progresser la science ouverte au CNRS. Notre feuille de route est alignée sur ces points avec celle du Plan national pour la science ouverte. À l'heure actuelle, seulement 50 % des publications scientifiques auxquelles participent des chercheurs du CNRS sont accessibles gratuitement. Notre objectif est donc d'atteindre rapidement, idéalement d'ici fin 2020, le chiffre de 100 %. Nous allons mettre les moyens pour y arriver et doter les chercheurs des meilleurs outils.

**L'archive ouverte HAL contiendra donc à terme toutes les publications scientifiques du CNRS ?**
C'est notre souhait. Afin d'inciter les chercheurs dans cette voie, nous avons mis en place une nouvelle règle en 2019 : seules les publications déposées dans HAL seront listées dans les rapports d'activités annuels des chercheurs et chercheuses du CNRS. Mais il ne faut pas se voiler la face, cela ne suffira pas. Il va falloir continuer à mobiliser les chercheurs, en facilitant notamment le plus possible ces dépôts *via* HAL. Dans cette voie, nous renforçons l'équipe du Centre pour la communication scientifique directe, en charge de HAL, afin d'améliorer l'ergonomie du site web et les passerelles avec d'autres archives ouvertes telles que arXiv. À terme, il faut que le dépôt d'une publication sur un autre site d'archive ouverte se répercute automatiquement sur HAL, et vice-versa. Notre volonté est de faire en sorte que les chercheurs s'en emparent pleinement. Un portail HAL-CNRS[2] a été créé pour les publications des chercheurs CNRS et 650 000 euros ont été versés à HAL pour soutenir ces dépôts en 2019.

**L'objectif est-il le même en matière de partage de données ?**
Ce volet est beaucoup moins mature que celui des publications scientifiques. Nous cherchons surtout, dans un premier temps, à accompagner la réflexion dans ce sens et à renforcer la conscience que ce partage sera bénéfique à tout le monde. Sur ce point, nous allons bien sûr continuer à soutenir le développement de la plateforme Opidor (Outils et services pour optimiser le partage et l'interopérabilité des données de la recherche). Au-delà des questions de formats de données et du choix des données pertinentes à stocker, il faudra également discuter du meilleur échelon – local, régional ou national – pour le stockage physique de toutes ces données. Nous souhaitons également que cette question soit couplée avec celle de la fouille de données et du « *text mining*[3] ». À terme, les chercheurs doivent pouvoir extraire aisément des informations pertinentes, voire de nouvelles connaissances, de ces vastes ensembles de textes et de données scientifiques.

**Comment les critères d'évaluation individuelle des chercheurs vont-ils évoluer ?**
Il est évident que ces changements profonds dans les logiques de publication ne se feront pas sans des modifications importantes dans la manière dont les chercheurs sont évalués. On travaille sur ce point étroitement avec chaque section du Comité national en charge de l'évaluation des chercheurs. Il nous semble notamment important que la qualité des recherches et des résultats prévale sur la qualité du journal dans lequel ils sont publiés. Certaines universités anglaises demandent à leurs chercheurs de leur communiquer uniquement une sélection de cinq publications que ces derniers jugent les plus emblématiques de leur travail. C'est une piste à explorer sérieusement, qui présente l'avantage de fonder l'évaluation sur une sélection motivée d'articles en libre accès plutôt que sur une liste exhaustive non motivée. II

1. À lire sur : http://www.cnrs.fr/sites/default/files/press_info/2019-11/Plaquette_ScienceOuverte.pdf 2. https://hal-cnrs.archives-ouvertes.fr 3. Le *text mining* est un ensemble de techniques relevant de l'intelligence artificielle, qui allie les domaines de la linguistique, de la sémantique et du langage, des statistiques et de l'informatique. Ces techniques permettent d'extraire et de recréer de l'information à partir d'un corpus de textes (classification, analyse, tendance, etc.).

© ILLUSTRATION : COLCANOPA

# *Les données, un trésor à partager*

En passe de devenir une exigence, l'ouverture et le partage des données pourraient déboucher sur de nouvelles découvertes. Cela nécessite la mise en place d'outils appropriés, mais aussi une réflexion coordonnée au-delà des frontières.

La donnée est la pierre de touche de toute démarche scientifique. C'est elle qui permet d'établir de nouvelles découvertes. Elle qui tranche en faveur d'une hypothèse ou d'une autre. Elle encore qui défait des théories et permet d'en imaginer de nouvelles. Sans elle la science est aveugle. Mais aussi étonnant que cela puisse être, si une bonne part des articles scientifiques publiés chaque année prend la voie du libre accès, les données sur lesquelles reposent ces travaux demeurent étonnamment en retrait… Pire, dans certains cas, il est même impossible de remettre la main sur les données originales d'une publication. *« La question du partage des données de recherche est bien moins avancée que celle des publications »*, concède Marin Dacos, en charge du Plan national pour la science ouverte lancé à l'été 2018 par le ministère français de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation. *« Dans de nombreuses disciplines, il n'y a pas ou peu de culture de partage et de documentation des données afin d'en faciliter la réutilisation »*, regrette-t-il.

Certains domaines ont toutefois depuis longtemps montré la voie à suivre : *« Dès 1977, les astronomes ont défini un format d'échange de données numériques permettant de partager les observations astronomiques ainsi que toutes les informations associées, comme le lieu, les conditions d'observation, le type d'instruments, etc. »*, rappelle la chercheuse Françoise Genova, qui a dirigé le Centre de données astronomiques de Strasbourg[1] entre 1995 et 2015. Forte de cette expérience pionnière, elle accompagne à présent au niveau national, européen et international la réflexion sur l'ouverture des données.

**Des données faciles à trouver, accessibles, interopérables et réutilisables**

Cette réflexion se déroule dans un contexte international qui a fortement évolué ces dernières années. De grands organismes publics de recherche comme la National Science Foundation aux États-Unis, ou le Conseil européen de la recherche, souhaitent en effet que les données produites par les programmes scientifiques qu'ils financent soient désormais accessibles en accès ouvert

– *« mais fermé quand c'est nécessaire »*, nuance Alain Schuhl, directeur général délégué à la science du CNRS, en évoquant par exemple le cas d'un dépôt de brevet associé aux données.

Pour guider au mieux les chercheurs dans cette voie, cette volonté d'ouverture s'accompagne d'un ensemble de recommandations[2]. Elles se résument dans un nouveau concept, à l'allure d'un slogan : Fair, pour « Facile à trouver, Accessible, Interopérable et Réutilisable ». Si à l'ère d'Internet et des moteurs de recherche, les deux premiers critères – facile à trouver, accessible – semblent peu poser de difficultés techniques, les deux derniers manquent encore à ce jour de solutions universelles : *« La diversité des données scientifiques et les différences de pratique exigent d'aborder le problème discipline par discipline »*, souligne, réaliste, Françoise Genova.

L'interopérabilité et la réutilisabilité des données exigent en effet qu'elles soient accompagnées d'un ensemble de descriptions permettant de les interpréter correctement et de les utiliser conjointement. Une mesure seule ne dit rien en elle-même si l'on ignore les conditions dans lesquelles elle a été obtenue (dire uniquement qu'il fait 10 °C rend cette donnée isolée inexploitable. En revanche, dire que ce matin 12 novembre 2019 il fait 10 °C selon un type de thermomètre bien précis et que la mesure a été réalisée en plein Paris, donne tout son sens à cette mesure qui peut alors être intégrée à d'autres relevés de températures).

Enfin, pour être facilement réutilisables, comme l'exige le dernier critère, ces données et leurs descriptions détaillées doivent de surcroît être disponibles dans un format standard. Autrement dit, inscrites dans un document lisible par tout un chacun – à l'image des formats internationaux permettant d'échanger *via* Internet de la musique ou des vidéos. *« Si certaines disciplines scientifiques comme l'astronomie, la cristallographie ou la génomique sont déjà avancées sur ces points, la mise en place de standards internationaux est encore un vaste chantier dans de nombreux domaines »*, analyse Françoise Genova.

> *« La possibilité de rassembler de vastes ensembles de données issus de différents horizons pourrait permettre d'extraire de nouvelles connaissances. »*

Pour épauler les scientifiques dans cette voie, un organisme international a vu le jour : la RDA (pour Research Data Alliance). Elle compte à présent 8 800 membres répartis dans 137 pays. *« Elle offre un cadre de discussion et de partage des savoir-faire entre les communautés scientifiques du monde entier »*, se réjouit-elle. À noter qu'en France, la plateforme Opidor (Outils et services pour optimiser le partage et l'interopérabilité des données de la recherche), développée au CNRS par l'Institut de l'information scientifique et technique, avait depuis quelques années anticipé cette évolution. Elle offre dès à présent plusieurs outils afin d'accompagner les scientifiques qui souhaitent bâtir un plan de gestion de données conforme aux recommandations Fair : *« Ce plan de gestion de données est d'ailleurs depuis 2019 exigé par l'Agence nationale de la recherche pour toute demande de financements »*, souligne Françoise Genova.

**Une réflexion à tous les échelons**

En plus des questions épineuses sur la forme que doit prendre ce partage, la question des ressources physiques stockant ces données demeure entière. Qui aura la charge d'héberger physiquement et de pérenniser l'accès à ces masses considérables de données ? *« C'est une réflexion qu'il faut mener à tous les échelons, régionaux, nationaux et internationaux, et de concert avec les différents organismes de recherche »*, souligne Alain Schuhl.

Au-delà de ces défis techniques, *« l'évaluation des chercheurs demeure un des obstacles à l'adhésion à ces bonnes pratiques,* pointe François Genova. *Les gens qui s'impliquent dans ces problématiques passent de fait moins de temps à mener leurs propres recherches. Ils prennent davantage de risques pour leur carrière. La mobilisation des organismes de recherche sur ce point est essentielle. »* C'est en tout cas le souhait affiché par le Plan national pour la science ouverte : encourager et promouvoir ces pratiques chez tous les acteurs de la recherche publique en France. L'enjeu dépasse d'ailleurs la seule question de principe d'ouverture des données. C'est aussi toute une nouvelle branche prometteuse de la science qui est en train d'émerger dans le sillage des données ouvertes. *« La possibilité de rassembler de vastes ensembles de données issus de différents horizons pourrait permettre d'extraire de nouvelles connaissances grâce aux logiciels de fouille de données »*, anticipe Alain Schuhl.

Le principe des données ouvertes n'est donc pas qu'une simple question de partage. C'est aussi la promesse d'ouvrir de nouveaux horizons à la science. II

1. Unité CNRS/Observatoire astronomique de Strasbourg/Université de Strasbourg. 2. Charte internationale sur les données ouvertes : https://opendatacharter.net/principles-fr

1. Du 10 au 22 octobre, le Tram B de Bordeaux (Gironde) s'est habillé aux couleurs du CNRS !

2. Le musée des Confluences à Lyon (Rhône) s'est transformé, du 3 au 6 octobre, en un incroyable « Village des sciences » où les chercheurs ont proposé plus d'une quarantaine d'animations.

2

3

3. Le 19 septembre, l'ambassadrice de France au Canada Kareen Rispales a accueilli Antoine Petit, président-directeur général du CNRS, à Ottawa pour fêter les 80 ans de l'organisme.

© 1 : G. DUFAU ; 2 : J.-L. DANG ; 3 : BUREAU DU CNRS AU CANADA ; 4 : X. PIERRE/CNRS

1

# Bon anniversaire le CNRS !

En 2019, l'organisme a fêté son 80e anniversaire, en France et dans le monde. Avec plus de 450 événements organisés, l'ensemble du personnel et des entités du CNRS (laboratoires, délégations, instituts, directions fonctionnelles, bureaux à l'étranger…) ont fait le succès de cet anniversaire. De la première convention des directeurs d'unité à la remise de la médaille d'or en présence du président de la République Emmanuel Macron, retour sur quelques moments forts de cette année.

**TEXTE** LAURENCE STENVOT

4

4. Le 1er février 2019, le Premier ministre Édouard Philippe annonçait la mise en place de la loi de programmation pluriannuelle de la recherche devant les directeurs d'unité du CNRS, à la Maison de la Mutualité à Paris.

5. Artistes et scientifiques du laboratoire BeBest ont exposé sept années de recherche et de résidence en Arctique, à Brest (Finistère) du 22 juin au 22 septembre.

6. Du 16 au 18 juillet, près de 600 curieux ont visité le grand four solaire d'Odeillo (Pyrénées-Orientales), l'un des plus puissants du monde. Il accueille un laboratoire du CNRS spécialisé dans l'étude des matériaux en conditions extrêmes, qui fêtait, lui, ses 50 ans.

7. Les plus jeunes se sont enchantés lors de la Fête de la science à l'Hôtel de Ville de Tours (Indre-et-Loire), les 5 et 6 octobre.

8. Les 14 et 15 septembre, le campus CNRS de Paris-Saclay a ouvert ses portes pour une immersion au cœur de la recherche spatiale avec 75 astrophysiciens, planétologues et ingénieurs en instrumentation spatiale.

9. Depuis le 2 juillet, le siège parisien du CNRS présente l'exposition photographique « Lumière sur la recherche ».

© 5 : B. DEROCHE ; 6 : A. LIEUVIN/CNRS ; 7 : L. JEUFFRAULT/CNRS ; 8 : A. LYVER/CNRS ; 9 : C. BRUCKMANN/CNRS ; 10 : P. VERSACI/IDEACOM ; 11 : X. PIERRE/CNRS ; 12 : BUREAU DU CNRS EN CHINE ; 13 : SERVICE COMMUNICATION/CNRS ALPES

10. Plus de 300 personnalités de la recherche mondiale se sont retrouvées à l'Institut de France, le 26 novembre à Paris, pour un symposium international.

11

11. Du 25 au 27 octobre, lors du Forum du CNRS « Nouveau(x) Monde(s) », la Cité des sciences et de l'industrie à Paris a accueilli plus de 34 000 visiteurs.

12. Antoine Petit, Frédérique Vidal, ministre de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation, et Jean-Maurice Ripert, alors ambassadeur de France en Chine, le 25 février dans les bureaux du CNRS à Pékin (Chine).

12

13

13. Le 12 octobre, 800 visiteurs ont mis la « Physique en Fête » lors de la Fête de la science à Grenoble (Isère).

14

14. Du 1er juillet au 22 septembre, le CNRS a présenté son exposition « La saga des inventions », avec des centaines de photographies et de films d'invention produits entre 1915 et 1938, lors des Rencontres de la photographie d'Arles (Bouches-du-Rhône).

16. Ateliers et jeux au Village des sciences de Lille (Nord) lors de la Fête de la science, du 10 au 13 octobre.

15. Du 13 au 15 septembre, le festival « Les couleurs de la science » à Villejuif, sur le campus CNRS, a témoigné de la richesse de la recherche.

16

17. Le 12 juillet, Alain Schuhl, directeur général délégué à la science du CNRS, a fêté un double anniversaire : les 120 ans du jardin du Lautaret (Hautes-Alpes) et les 80 ans du CNRS.

18. Les 12 et 13 octobre, les jeunes visiteurs du Village des sciences du Palais universitaire de Strasbourg (Bas-Rhin) ont revisité l'histoire des sciences et du CNRS en Alsace, le temps d'un escape game.

17

18

© 13 : C. HEIN ; 14 : S. SCHWENCK/CNRS ; 15 : SERVICE COM./DR1 ; 16 : S. SCHWENK/CNRS ; 17 : SERVICE COM./CNRS ALPES ; 18 : X. DUTHILLEUL/CNRS 19 : BUREAU CNRS BRESIL ; 20 : SERVICE COM. DR6 ; 21 : SERVICE COM. DR20 ; 22 : SERVICE COM. DR12

19

15

19. Le bureau du CNRS en Amérique du Sud (Brésil) a regroupé au Chili, à Santiago, les acteurs majeurs de la coopération de l'organisme sur ce continent, du 8 au 10 mai.

20. Présentation de l'ouvrage *Sciences. Bâtir de nouveaux mondes*, édité pour les 80 ans du CNRS, lors du festival Sciences sur la Place à Nancy (Meurthe-et-Moselle), du 13 au 15 septembre.

20

21. Les 12 et 13 octobre, débats conférences et ateliers ont animé le Village des sciences de la délégation régionale Côte d'Azur (Valbonne).

21

22

22. 80 coureurs du CNRS se sont élancés sur la ligne de départ de la célèbre course Marseille-Cassis (Bouches-du-Rhône), le 27 octobre.

23. Du 30 janvier au 11 mars, le CNRS a exposé la fresque « Explorons de nouveaux mondes » à la station parisienne Montparnasse-Bienvenüe, en partenariat avec la RATP.

24. Le souffleur de verre Adrien Lanel a remis un trophée de verre à Antoine Petit lors de la signature du lancement de la Chaire Normandie pour la paix à Caen (Calvados), le 5 juin.

25. Le 17 octobre à Strasbourg (Bas-Rhin), une chaîne humaine s'est formée pour rendre hommage au premier organisme de recherche publique européen.

26. Masterclass, démonstrations et expériences immersives ont rythmé le 7e forum du CNRS à la Cité des sciences et de l'industrie à Paris, avec plus de 30 scientifiques invités, dont ici Sandrine Bardet.

© 23 : C. FRÉSILLON/CNRS PHOTOTHÈQUE ; 24 : M. TENCÉ/CNRS ; 25 : M. FLECK/UNISTRA/CNRS ; 26 : X. PIERRE/CNRS ; 27-29-30 : P. VERSACI/IDEACOM ; 28 : F. FORTUNA 2019

27

27. La science et les technologies innovantes étaient à l'honneur du festival « Je veux savoir », au Quai des savoirs de Toulouse (Haute-Garonne) du 19 au 31 octobre.

28

28. Un anniversaire gravé dans la glace par les chercheurs de la base franco-italienne de Concordia, en Antarctique.

29. Le 26 novembre, une cérémonie prestigieuse s'est tenue au Palais de la Découverte et au Grand Palais à Paris, en présence du président de la République Emmanuel Macron, entouré ici de Frédérique Vidal, d'Antoine Petit et des scientifiques Livio de Luca et Danielle Pierre.

29

30

30. Ce soir-là, la remise de la médaille d'or 2019 du CNRS, qui a récompensé le physico-chimiste Thomas Ebbesen, a été l'occasion d'honorer les précédents lauréats.

Retrouvez tous les événements des 80 ans du CNRS sur

» **80ans.cnrs.fr**

Depuis 80 ans, nos connaissances bâtissent de nouveaux mondes

© B. JOURDAIN/UGA/IPEV

# *La renaissance des grandes expéditions*

**PAR** LAURE CAILLOCE

C'est une expédition comme on n'en a plus vu depuis longtemps en Antarctique. Le 23 novembre, une dameuse et cinq gros tracteurs à chenilles tirant des containers montés sur traîneaux ont quitté la station côtière de Dumont d'Urville pour l'un des plus longs raids scientifiques jamais effectués au cœur du continent blanc, vaste comme 25 fois la France. À leur bord, six scientifiques, trois mécaniciens et un médecin-urgentiste vont parcourir près de 4 000 kilomètres, à la vitesse moyenne de 8 kilomètres par heure.

Ils rallieront d'abord la station franco-italienne de Concordia, puis mettront le cap sur le pôle Sud. *« C'est sur ce dernier tronçon, long de 650 kilomètres, que va s'effectuer le gros du travail scientifique »*, raconte le glaciologue Joël Savarino, de l'Institut des géosciences de l'environnement de Grenoble[1] (IGE), qui coordonne la mission franco-italienne EAIIST[2] (East Antarctic International Ice Sheet Traverse). Une zone qu'aucun scientifique n'a encore jamais explorée, et qui pose pourtant des questions brûlantes d'actualité.

**Le retour des grands raids antarctiques**

*« Ce sont des régions dont on ne connaît pas l'évolution actuelle sous l'effet du changement climatique,* explique le chercheur. *Pourtant, leur comportement est crucial pour le futur de notre planète… Plus l'atmosphère se réchauffe, plus elle se charge en vapeur d'eau ; on s'attend donc à ce que les régions polaires reçoivent davantage de précipitations, sous la forme de chutes de*

VIVANT TERRE

**Missions.** En Antarctique, en Amazonie, en Afrique… sur la glace, les océans ou en forêt, les chercheurs renouent avec les grandes expéditions scientifiques. Alors que la biodiversité et le climat sont en crise, il y a urgence à faire progresser la connaissance. Car oui, il reste encore des mondes à explorer…

Parti fin novembre, le raid franco-italien EAIIST va parcourir 4 000 km au cœur du continent antarctique et réaliser notamment des carottages.

© J. SAVARINO/CNRS/IPEV

*neige. C'est cette accumulation de neige que nous allons mesurer, avec une question : est-ce qu'elle est plus forte que par le passé, et est-ce que ça pourrait ralentir la hausse du niveau des mers ? »*

Certes, les satellites sont aujourd'hui capables d'estimer la hauteur, mais aussi la masse de glace en présence (en mesurant les variations d'altitude et de gravité), mais ces mesures globales reposent sur des mailles bien trop larges pour être précises, de l'ordre de plusieurs centaines de kilomètres. Surtout, les satellites ne peuvent pas tout ! Six grosses étapes permettront d'installer des stations météo qui enregistreront les précipitations sur le temps long, et de prélever des carottes de glace à plusieurs dizaines de mètres de profondeur afin de remonter dans le temps et d'estimer les hauteurs de neige accumulées dans le passé. Coût total de l'opération : 3,4 millions d'euros (auxquels s'ajoute la logistique fournie par l'Institut polaire français Paul-Émile Victor), dont un tiers couvert par une fondation d'entreprise.

**La sécurité avant tout**

*« Des raids de cette envergure, on n'en avait plus fait depuis les années 1950-1960, du temps des pionniers comme Claude Lorius* (qui a révélé que les bulles d'air emprisonnées dans la glace contenaient la mémoire de l'atmosphère du passé, NDLR), raconte Jérôme Chappellaz, le directeur de l'Institut polaire qui assure toute la partie logistique de l'aventure. *Mais celui-ci s'effectuera dans des conditions de confort et, surtout, de sécurité qui n'ont plus rien à voir. »* Même si l'été austral (de novembre à février) est plus clément, les températures oscillent tout de même entre -25 et -50 °C… Plus question de dormir dans les véhicules comme cela a pu se faire. Les containers renferment des unités de vie chauffées, avec cuisine, douche et toilettes, et deux laboratoires.

Mais c'est la sécurité, la préoccupation numéro un. *« Ce raid va s'effectuer en autonomie totale. En cas d'accident, on ne peut pas garantir qu'un avion pourra venir immédiatement, car ils sont rares et la météo est capricieuse,* raconte Jérôme Chappellaz. *C'est pourquoi nous imposons à l'expédition la présence d'un médecin-urgentiste qui doit pouvoir stabiliser le blessé durant plusieurs dizaines d'heures. »* …

1. Unité CNRS/IRD/Université Grenoble-Alpes/Grenoble-INP. 2. http://www.ige-grenoble.fr/-projet-aeiist-.

© R. VON COSEL/MNHN – LA PLANÈTE REVISITÉE

La Planète revisitée est le plus vaste inventaire de biodiversité jamais conduit dans des écosystèmes mal répertoriés : Vanuatu, Madagascar, Nouvelle-Calédonie ou Papouasie-Nouvelle-Guinée (photos ci-contre) où des expéditions terrestres et marines ont été effectuées.

**…** Il est bien fini, le temps des aventuriers. *« La société n'a plus la même tolérance face au risque,* confirme Philippe Bouchet, professeur au Muséum national d'histoire naturelle, qui coordonne les expéditions naturalistes "La Planète revisitée" depuis leur lancement en 2006. *En Papouasie-Nouvelle-Guinée, où nous avons effectué des expéditions terrestres mais aussi marines en 2012 et 2014, il y a des endroits en forêt qui sont à une semaine de marche de la ville la plus proche. Nous ne sommes pas têtes brûlées, nous emmenons des urgentistes avec nous. Pourtant, même si l'on essaie d'anticiper tout ce qui peut l'être, le risque zéro n'existe pas. »* Et le biologiste de confier : *« s'il y a un jour un accident, je sais que j'en serai tenu pour responsable et que le Muséum mettra fin à l'expédition, sans compter les suites judiciaires probables… »*

Mais l'enjeu scientifique dépasse la crainte d'un mauvais coup du sort. La Planète revisitée, c'est le plus vaste inventaire de biodiversité jamais conduit à ce jour dans des écosystèmes et des territoires mal inventoriés : Vanuatu, Madagascar, Papouasie-Nouvelle-Guinée, Philippines, mais aussi Guyane et Nouvelle-Calédonie.

© T-Y MAGNIEZ/MNHN – LA PLANÈTE REVISITÉE

### Deux tiers des espèces encore à découvrir

Certes, on a déjà décrit un peu plus de 2 millions d'espèces de plantes, d'animaux et de champignons sur la surface de la planète, mais les scientifiques estiment que leur nombre réel se situe entre 6 et 10 millions au minimum. Si les vertébrés supérieurs, dont font partie les mammifères, et les oiseaux sont bien inventoriés, ce n'est pas le cas des plantes et des invertébrés (insectes, mollusques, crustacés). Il y a pourtant urgence à recenser ce patrimoine vivant. *« J'appartiens à la première génération de scientifiques qui sait que deux tiers des espèces restent à découvrir, et que le quart aura disparu d'ici la fin du siècle »*, lance Philippe Bouchet.

*« Avec La Planète revisitée, nous sommes dans l'esprit de découverte des grandes expéditions naturalistes des siècles passés, mais avec des moyens et des outils scientifiques d'aujourd'hui »*, décrit le biologiste. En Papouasie-Nouvelle-Guinée, la centaine de personnes déployées sur le terrain a permis de répertorier 300 espèces d'algues, 4 500 espèces de mollusques, 1 300 espèces de poissons…, dont plusieurs centaines étaient inconnues des naturalistes,

© B. FAURE/MNHN – LA PLANÈTE REVISITÉE

mais aussi de collecter près d'un demi-million d'insectes !

Des inventaires massifs qui engrangent sons, photographies numériques des organismes vivants, et tissus pour le séquençage ADN, avec un double objectif : aider à bâtir des plans de conservation qui tiennent mieux compte de cette biodiversité oubliée, pourtant cruciale au bon fonctionnement des écosystèmes, et constituer des archives pour les générations futures.

**Le soutien des entreprises**

À grosse ambition, gros budget : chaque cycle d'expéditions coûte en moyenne 1,5 million d'euros (et ce, sans compter les salaires des chercheurs pris en charge par les organismes de recherche eux-mêmes), dont la plus grosse partie provient de fondations d'entreprise. *« C'est une somme importante, mais il est souvent plus facile de trouver 200 000 ou 300 000 euros auprès d'une grande entreprise que d'obtenir 20 000 euros d'un programme de recherche publique,* commente Philippe Bouchet. *Une grosse expédition permet également de mobiliser des compétences que nous ne pourrions jamais avoir autrement : en forêt tropicale, nous emmenons des grimpeurs-élagueurs qui sont ravis de faire ça bénévolement. »*

Les négociations avec les pays hôtes se révèlent, elles, nettement plus délicates. Depuis l'entrée en vigueur de la Convention internationale sur la diversité biologique en 1993, renforcée par le protocole de Nagoya en 2014, il est indispensable de disposer d'un permis délivré par le pays pour prélever des organismes vivants sur son sol. *« Un tel permis ne s'obtient pas en envoyant un formulaire par mail,* raconte Philippe Bouchet. *Quand des Occidentaux débarquent dans un pays du Sud, il y a toujours un soupçon de néocolonialisme et la crainte d'actes de biopiraterie comme* ...

## *Sur la trace des premiers hommes*

Le géoarchéologue Laurent Bruxelles en Namibie.

© L. BRUXELLES/INRAP

C'est en Afrique de l'Est et en Afrique du Sud que l'on a retrouvé les plus vieux hominiinés, comme l'australopithèque Little Foot, daté de 3,6 millions d'années. Peut-on pour autant parler de berceaux de l'humanité ? Et si d'autres endroits en Afrique recelaient des fossiles aussi vieux, qu'on n'aurait simplement pas encore découverts ? C'est pour répondre à cette question des origines que le géoarchéologue Laurent Bruxelles, du laboratoire Traces[3], organise les expéditions « Human origins » depuis 2015. En Namibie, dans un premier temps, et désormais au Mozambique et au Malawi, où le chercheur est parti cet automne avec quatre autres scientifiques. *« On cherche des pièges à fossiles, des grottes vieilles de 2 à 4 millions d'années dans lesquelles les sédiments se sont accumulés, et avec eux, des restes d'animaux et, on l'espère, d'hominiinés. »* En Namibie, où Laurent Bruxelles a arpenté les collines de la région des Aha Hills, plusieurs sites candidats vont faire l'objet d'explorations plus poussées. *« On y a trouvé des restes de tigres à dents de sabre dont on sait qu'ils chassaient les australopithèques, et des primates contemporains de nos lointains ancêtres. »* Le chercheur prévoit de retourner en Afrique australe dès 2020 avec une équipe internationale d'une douzaine de personnes : géologues, archéologues, paléoanthropologues, primatologues, spéléologues ou encore volcanologues pour aider à dater les fossiles grâce aux dépôts de cendres.

> ***Et si d'autres endroits en Afrique recelaient des fossiles aussi vieux, qu'on n'aurait simplement pas encore découverts ?***

3. Pour Travaux et recherches archéologiques sur les cultures, les espaces et les sociétés (unité CNRS/Université Toulouse Jean-Jaurès/Ministère de la Culture/Inrap/EHESS).

# Des antibiotiques dans les abysses

Aurélie Tasiemski à bord du *Nautile*.

© A. TASIEMSKI

Bien qu'immunologiste, Aurélie Tasiemski n'est pas pour autant vissée à sa paillasse : la chercheuse du Centre d'infection et d'immunité de l'Institut Pasteur de Lille[4] n'hésite pas à plonger à plus de 3 000 mètres de profondeur, au plus près des cheminées hydrothermales situées au fond de nos océans. À bord du *Nautile*, un sous-marin où elle peut passer jusqu'à huit heures d'affilée avec pilote et copilote dans un habitacle de 2 mètres de large à peine, elle prélève *via* des bras articulés des organismes qui y vivent malgré l'absence de lumière, le manque d'oxygène et les variations extrêmes de température – l'eau qui sort des cheminées est à 350 °C ! *« Tous les animaux produisent des antibiotiques naturels pour combattre les microbes de leur environnement. Ce sont ces molécules que je cherche chez les organismes vivant dans les environnements extrêmes. »* Son objectif : trouver des molécules nouvelles pour la pharmacopée humaine, qui permettraient notamment de combattre les maladies nosocomiales résistantes aux antibiotiques actuels. *« Nous travaillons actuellement sur une molécule produite par un ver des abysses qui va bientôt être testée chez la souris »*, raconte la biologiste, qui explorera cet automne les îles australes des Kerguelen.

> ***Tous les animaux produisent des antibiotiques naturels pour combattre les microbes. Ce sont ces molécules que je cherche chez les organismes des environnements extrêmes.***

*… certains industriels ont pu en commettre par le passé. J'ai dû aller trois fois en Papouasie-Nouvelle-Guinée pour rencontrer les ministres concernés. Et certains pays comme l'Inde, ou l'Indonésie par exemple, sont devenus inaccessibles. »*

**Contraintes diplomatiques**

Romain Troublé, qui coordonne les expéditions du voilier *Tara*, en sait quelque chose. *« Pour chaque grande expédition que nous organisons, comme Tara Océans, destinée à étudier le plancton océanique tout autour de la planète, ou Tara Pacific, son pendant pour les récifs coralliens, 10 % environ des pays sollicités refusent l'accès à leurs zones économiques exclusives »*, indique le directeur général de la fondation Tara, qui travaille main dans la main avec les services du Quai d'Orsay pour démarcher les ambassades concernées. Un travail titanesque : Tara Océans s'est déroulée sur quatre années et a croisé dans les eaux territoriales de 35 pays différents ! Les ambitions scientifiques sont à la mesure des circumnavigations du célèbre voilier : Tara Océans a ainsi mobilisé 200 chercheurs de 12 disciplines différentes mis à disposition par leur organisme de tutelle – CNRS, CEA, European Molecular Biology Laboratory (à raison de 7 scientifiques par traversée) –, qui ont prélevé la bagatelle de 50 000 échantillons, donnant naissance à la plus grande base de données jamais constituée sur un écosystème, les « Tara data », ouvertes aux scientifiques du monde entier.

Si la goélette, qui vient de descendre les fleuves dans le cadre de sa nouvelle opération Tara Plastiques, s'est fait une place auprès des scientifiques comme du grand public, il n'en a pas toujours été ainsi. Le bateau acquis en 2003 par la styliste Agnès B, qui rêvait de relancer les grandes aventures océaniques à la Cousteau, a mis du temps à convaincre la communauté scientifique. *« Une styliste qui achète un bateau pour faire de la recherche, ça a provoqué beaucoup de scepticisme »*, commente Romain Troublé.

© P. DE PARSCAU/FONDATION TARA OCÉAN

Uniques au monde par leur durée, les expéditions Tara le sont aussi par leur fonctionnement. C'est une fondation privée reconnue d'utilité publique, la fondation Tara, qui coordonne les expéditions et met à disposition bateau et équipage ; la médiatisation et la sensibilisation du grand public font partie intégrante des missions de la fondation, qui compte 22 salariés au total. Son budget provient à 85 % de capitaux privés (fondations d'entreprises, mécènes, particuliers), tandis que les

L'expédition Tara Pacific (ici à Wallis) a sillonné près de 100 000 kilomètres et prélevé 60 000 échantillons afin d'étudier la biodiversité des récifs coralliens.

© S. BOLLENDORFF/FONDATION TARA OCÉAN

© S. FRETWELL/FONDATION TARA OCÉAN

© J. GATTACCECA

Jérôme Gattacceca et ses coéquipiers dans le désert d'Atacama.

## À la chasse aux météorites

***L'objet d'étude du géologue se trouve sur le terrain, organiser des expéditions est donc indispensable pour nous.***

Pour en savoir plus sur notre univers, on peut envoyer des sondes dans l'espace et bâtir de coûteux télescopes. On peut aussi étudier les objets célestes qui « arrosent » notre planète, soit en traquant leurs débris (les météorites) dans les zones désertiques comme le désert d'Atacama au Chili ; soit en étudiant les cratères d'impact qu'ils forment sur le sol, comme le cratère vieux de 5 millions d'années et large de 15 kilomètres qu'un bolide a creusé près de Kazan, au Tatarstan (Russie). Jérôme Gattacceca, géologue au Cerege[5], est spécialiste de ces bolides tout droit venus de la ceinture d'astéroïdes, située entre Mars et Jupiter. *« L'objet d'étude du géologue se trouve sur le terrain, organiser des expéditions est donc indispensable pour nous. Tout comme on lit l'histoire de la Terre dans les roches, je lis celle du Système solaire dans les météorites. Ces roches arrachées aux planètes et aux astéroïdes suite à des collisions intervenues il y a quelques millions d'années à peine nous fournissent de précieuses informations sur la composition chimique de leur croûte ou encore leur atmosphère grâce aux bulles d'air qui y sont emprisonnées. »*

opérations scientifiques à proprement parler sont, elles, financées par des programmes de recherche publique de type ANR (l'Agence nationale de la recherche accorde des financements sur projets, NDLR).

**Sauver la mémoire des glaciers**

Créer une fondation dédiée, pour professionnaliser la recherche de mécènes et constituer un guichet de financement unique pour les chercheurs de tous pays, c'est aujourd'hui le souhait du projet Ice Memory. Ice Memory, c'est une série d'expéditions initiée en 2015 par Jérôme Chappellaz et Patrick Ginot, glaciologue à l'IGE, pour sauver la mémoire des glaciers de montagne. Leur projet un peu fou : constituer une banque mondiale d'archives glaciaires stockées en Antarctique. Il faut faire vite : partout, les glaciers fondent sous l'effet du réchauffement climatique, emportant avec ...

4. Unité CNRS/Inserm/Université de Lille/Institut Pasteur de Lille. 5. Pour Centre européen de recherche et d'enseignement des géosciences de l'environnement (unité CNRS/Inra/Aix-Marseille Université/Collège de France/IRD).

# Dans les secrets de la jungle guyanaise

Le géographe-aventurier François-Michel Le Tourneau.

© F.-M. LE TOURNEAU/CREDA/CNRS PHOTOTHÈQUE

**Le territoire de la Guyane est couvert à 95 % de forêt dense. Aucune route n'y mène, et seuls quelques fleuves et rivières s'enfoncent dans le couvert végétal. Que se passe-t-il au cœur de cette jungle réputée vierge, que les satellites ne peuvent pénétrer ? C'est ce qu'a cherché à savoir François-Michel Le Tourneau, spécialiste des régions amazoniennes au laboratoire Iglobes[6], lors d'un raid scientifique organisé à l'été 2019. Durant deux mois, le géographe-aventurier a remonté 450 kilomètres de rivières avec une équipe de légionnaires des forces armées de Guyane, alternant transport fluvial et terrestre.**

*« On constate qu'au lieu d'être inhabitée comme on a coutume de le dire, cette zone recèle des traces archéologiques qui témoignent d'une occupation amérindienne passée, et est désormais habitée par des orpailleurs clandestins, venus du Brésil essentiellement. Les orpailleurs utilisent l'environnement forestier de façon similaire et s'installent aux mêmes endroits que les Amérindiens avant eux, près des nœuds de communication. »*

> ***Que se passe-t-il au cœur de cette jungle réputée vierge, que les satellites ne peuvent pénétrer ?***

Les expéditions Ice memory prélèvent des carottes de glace sur les glaciers de montagne (ici, l'Illimani, en Bolivie), avant qu'ils disparaissent.

© B. JOURDAIN/IGE/CNRS PHOTOTHÈQUE

… eux de précieuses informations sur les climats du passé. *« C'est notre génération qui doit le faire, car c'est une matière première unique qui est en train de disparaître de la planète »*, raconte Jérôme Chappellaz.

Quatre opérations de forage ont déjà été effectuées, au glacier du col du Dôme situé au pied du Mont-Blanc, sur le mont Elbrouz dans le Caucase, sur le Belukha dans l'Altaï russe, mais aussi sur le glacier de l'Illimani en Bolivie, situé à… 6 300 mètres d'altitude ! *« Chaque expédition dure de 15 jours à un mois,* raconte Jérôme Chappellaz. *Le glacier de l'Illimani a, lui, demandé deux mois d'efforts, car il faut quinze jours rien que pour s'acclimater à la haute altitude. Pour cette expédition hors norme, 60 porteurs boliviens ont transporté à dos d'homme près de deux tonnes de matériel et redescendu des carottes de 130 mètres de long découpées en morceaux, une entreprise titanesque ! »*

Prochaine destination : le Kilimandjaro. *« L'expédition prévue initialement en 2019 a été repoussée à 2020, le temps de trouver un terrain d'entente avec la Tanzanie. Ice Memory demande de faire travailler ensemble des nations qui ne le font pas nécessairement, et de se placer au-dessus des querelles du monde,* explique Jérôme Chappellaz. *On va dans des pays qui n'ont pas toujours des situations économiques fortes et demandent un retour concret pour eux. Pour la Tanzanie, cela se matérialisera probablement sous la forme de bourses de thèse offertes à des étudiants tanzaniens, et de financements de masters dans des universités européennes. »*

Qu'il s'agisse de biodiversité ou de climat, si les grandes expéditions sont rendues nécessaires par l'état de la planète et l'urgence à faire progresser la connaissance, elles ne doivent pas pour autant masquer les missions de terrain plus modestes, selon le glaciologue. *« Les grosses opérations donnent de la visibilité à la science en général et sont plus faciles à médiatiser. Mais elles ne doivent pas étouffer les missions plus petites, plus ciblées, ni assécher leurs financements. Les deux sont indispensables, et complémentaires »*, conclut Jérôme Chappellaz. II

6. Pour Interdisciplinary and Global Environmental Studies (unité CNRS/ENS Paris-PSL/Université d'Arizona).

# EN ACTION

*On se mobilise pour l'océan, on découvre ce qui fait danser les continents, et on s'équipe en supercalculateurs.*

ILLUSTRATION : JUANJO GASULL/COLAGENE.COM POUR CNRS LE JOURNAL

© J. NACKSTRAND/AFP

# « Il faut respecter de toute urgence l'Accord de Paris »

SOCIÉTÉS TERRE

© P. BERTIN/NICE-MATIN

**Océanographie.** Les conclusions du dernier rapport spécial du Giec sur l'océan sont accablantes. Détails avec Jean-Pierre Gattuso, océanographe au CNRS et coauteur du rapport.

**PROPOS RECUEILLIS PAR** KHEIRA BETTAYEB

**Le 25 septembre, le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (Giec) a dévoilé un nouveau rapport spécial sur les conséquences du réchauffement climatique. En quoi ce rapport est-il spécial ?**

**Jean-Pierre Gattuso[1] :** Le Giec élabore deux types de documents : les rapports principaux, très complets, publiés tous les 6 à 7 ans, dont le premier remonte à 1990 et le dernier à 2014 ; et des rapports dits spéciaux. Contrairement aux premiers, ceux-ci portent sur une thématique ou une question précise. Vivement réclamé par Monaco et plusieurs autres pays (France, Chili…), le nouveau rapport spécial[2] est dédié aux effets du changement climatique sur l'océan et la cryosphère, c'est-à-dire l'ensemble des régions gelées de la Terre. Au total, la cryosphère couvre 10 % de la surface de la Terre, l'océan couvrant lui plus de 70 %.

**Pourquoi ces deux éléments en particulier ?**

**J.-P. G. :** Car ils sont cruciaux pour la vie sur Terre. Tout d'abord, ils stabilisent le climat : l'océan absorbe la majeure partie de l'excès de chaleur lié au réchauffement et stocke de grandes quantités de dioxyde de carbone ($CO_2$) ; la glace de la cryosphère réfléchit les radiations solaires vers l'espace et diminue ainsi le réchauffement. Ensuite, ils constituent des habitats essentiels pour la faune, la flore et les humains. Ainsi en 2010, 28 % de la population mondiale vivaient dans des zones situées à moins de 100 km du littoral, et près de 10 % en haute montagne. Enfin, ils sont indispensables à la sécurité alimentaire, au tourisme, à l'économie, aux loisirs, au transport, à la santé et aux traditions et identités locales. Toute perturbation à leur niveau peut avoir des répercussions dramatiques.

**Comment a été élaboré ce nouveau rapport ?**

**J.-P. G. :** Plus de 100 experts internationaux issus de 36 pays, du Nord et du Sud, ont analysé près de 7 000 publications scientifiques récentes sur la manière dont l'océan et la cryosphère ont déjà été altérés par le changement climatique provoqué par les humains. Puis, nous avons estimé les changements possibles lors des prochaines décennies et leurs conséquences, en considérant deux scénarios. Le premier table sur une limitation du réchauffement à 2 °C grâce à une forte diminution des émissions de gaz à effet de serre (GES), conformément à l'objectif fixé par l'Accord de Paris sur le climat, signé en 2015. Le second correspond à la situation où cet objectif ne serait pas rempli, en raison d'une augmentation débridée des émissions de GES.

**Que ressort-il de ces travaux ?**

**J.-P. G. :** Il apparaît que les impacts du changement climatique sur l'océan et la cryosphère sont sans précédent. Quant aux projections pour l'avenir, certaines sont pires que celles annoncées par les rapports antérieurs du Giec ! Concernant l'océan, son niveau a grimpé 2,5 fois plus vite au début du XXIe siècle qu'au XXe. Si les émissions de GES ne sont pas réduites, il pourrait atteindre 110 centimètres (cm), et non 98 cm comme indiqué jusque-là. D'où un risque augmenté d'inondations dans les régions côtières peu élevées. Certains atolls du Pacifique à 2 ou 3 mètres d'altitude, pourraient même devenir inhabitables ! La montée des eaux amplifie aussi les événements météo extrêmes : tempêtes, submersions… Par ailleurs, l'absorption continue de $CO_2$ par l'océan a augmenté son acidité de 26 % depuis le début

Extrémité sud-est du glacier Apusiajik sur l'île Kulusuk (Groenland).

de l'ère industrielle. Les canicules marines ont doublé depuis 1982 ; et si nous restons sur la même lancée, en 2100 elles seront 50 fois plus fréquentes. Or ces altérations de l'océan induisent un déplacement des poissons avec un impact majeur sur la pêche, et la mortalité des coraux.

### Qu'en est-il pour la cryosphère ?

**J.-P. G. :** Sa fonte est de plus en plus marquée. Avec là aussi, des conséquences très sérieuses. Ainsi, entre 2006 et 2015 la calotte glaciaire du Groenland a fondu de 278 gigatonnes (Gt) par an et l'Antarctique de 155 Gt par an, ce qui équivaut à une élévation du niveau de l'océan de près de 0,77 millimètre (mm) et de 0,43 mm par an, respectivement. Si nous ne faisons rien, en 2100, l'Arctique sera complètement libre de glace la plupart de l'année. Quant aux glaciers terrestres, leur recul est extrêmement inquiétant dans des zones comme l'Himalaya où des millions de personnes dépendent d'eux pour les apports en eau, l'agriculture ou la consommation humaine. Enfin, environ 70 % du pergélisol de surface pourraient disparaître et libérer massivement du $CO_2$ et du méthane dans l'air ; ce qui induirait une hausse importante de GES… et du réchauffement.

### Comment limiter les dégâts ?

**J.-P. G. :** Il faut respecter de toute urgence l'Accord de Paris. En effet, le rapport montre que si nous arrivons à réduire fortement nos émissions de GES, il sera possible de limiter les conséquences du changement climatique sur l'océan et la cryosphère et ainsi de préserver au mieux leurs écosystèmes et les populations qui en dépendent. L'avenir est donc entre nos mains ! Cependant, s'il est possible d'éviter que les choses n'empirent, nous subirons quand même les conséquences du réchauffement actuel. Notamment la montée inéluctable des eaux…

Nous espérons que ce nouveau rapport permette de renforcer l'ambition des États en matière de lutte contre le changement climatique à l'occasion de la COP25 début décembre, à Madrid en Espagne, et de la prochaine COP26 en 2020, à Glasgow en Écosse. II

**COP**
Ou Conférences des parties. Réunions annuelles où les pays signataires de la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques échangent sur la lutte contre le réchauffement climatique.

Le rapport et son résumé – tous deux en anglais – sont téléchargeables ici :
» **ipcc.ch/srocc/download-report**

Lire l'intégralité de l'entretien et le Point de vue de Joachim Claudet et Françoise Gaill « Notre avenir s'écrit dans l'océan » sur **lejournal.cnrs.fr**

1. Directeur de recherche CNRS au Laboratoire d'océanographie de Villefranche-sur-Mer (CNRS/Sorbonne Université), chercheur associé à l'Institut du développement durable et des relations internationales. 2. « Rapport spécial du Giec sur l'océan et la cryosphère dans le contexte du changement climatique ».

# *En bref*

## Décision de justice

Par une décision du 24 juillet 2019, le Conseil d'État a rejeté le pourvoi de Messieurs Bogdanoff contre la décision de la Cour administrative d'appel de Paris du 17 novembre 2016. Ils avaient entamé une procédure judiciaire après la publication dans la presse, en 2010, d'extraits du rapport établi en 2003 par le Comité national de la recherche scientifique sur l'évaluation de leurs thèses. La décision du Conseil d'État a confirmé le caractère légal de ce rapport relevant d'un « avis scientifique » et non d'une décision, et jugé qu'il n'est pas établi que la communication du rapport puisse être imputée à l'organisme. Le CNRS se félicite de cette décision.

## Un microscope de pointe

Le 24 septembre, le laboratoire commun international Hitachi, entre le CNRS et Hitachi high technologies corporation, a inauguré l'un des microscopes ultra rapide les plus performants au monde au Centre d'élaboration de matériaux et d'études structurales de Toulouse.

## Un forum mondial pour l'IA

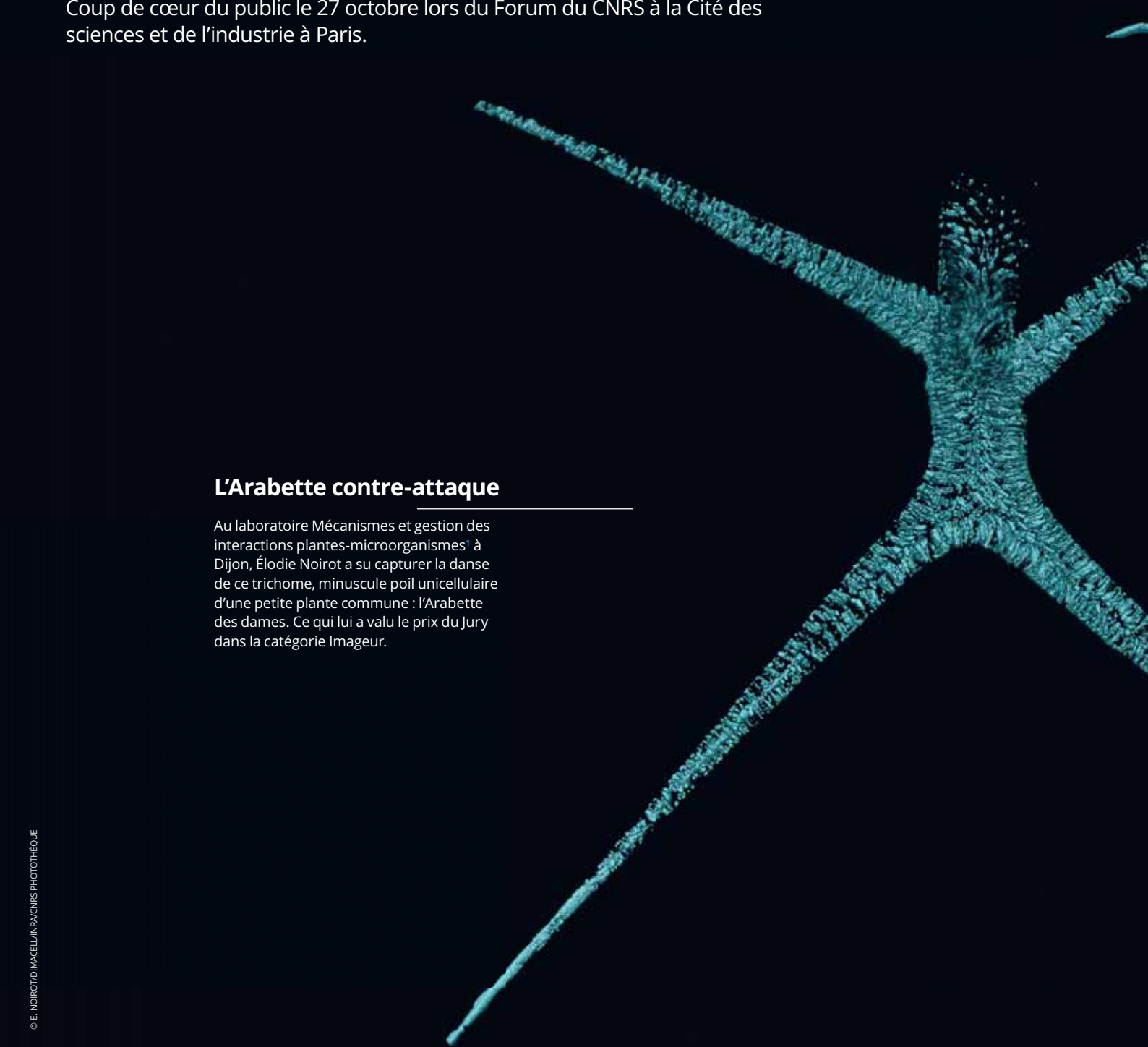
Du 28 au 30 octobre, Paris a accueilli le Global forum on AI for Humanity. Coorganisé par Malik Ghallab, directeur de recherche émérite au CNRS, et Bertrand Braunschweig, directeur du centre de recherche Inria Saclay–Île-de-France, il a réuni 450 participants de 24 pays pour éclairer les travaux d'une future organisation internationale sur l'IA.

## Une fondation pour la mémoire de l'esclavage

Cofondée par le CNRS, la Fondation pour la mémoire de l'esclavage a été créée le 14 novembre. Elle développera des contenus unissant histoire, culture et citoyenneté, destinés au grand public, et soutiendra des initiatives pour évoquer cette histoire.

# La preuve par l'image

« Prendre la science par l'autre bout de la lorgnette en partant de l'image et non des mots » : telle est l'ambition du concours La preuve par l'image. Organisé cette année par le CNRS avec l'Acfas, ce concours a récompensé des images issues de travaux de recherche dans tous les domaines scientifiques. Parmi les vingt photos lauréates, voici les trois qui se sont vu remettre les prix du Jury et le prix Coup de cœur du public le 27 octobre lors du Forum du CNRS à la Cité des sciences et de l'industrie à Paris.



## L'Arabette contre-attaque

Au laboratoire Mécanismes et gestion des interactions plantes-microorganismes[1] à Dijon, Élodie Noirot a su capturer la danse de ce trichome, minuscule poil unicellulaire d'une petite plante commune : l'Arabette des dames. Ce qui lui a valu le prix du Jury dans la catégorie Imageur.

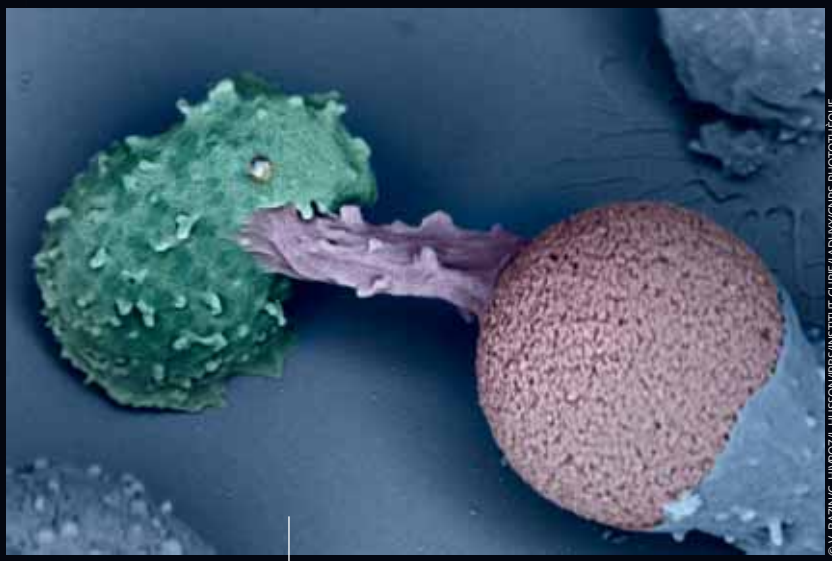
© E. NOIROT/DIMACELL/INRA/CNRS PHOTOTHÈQUE

Retrouvez les 20 photos lauréates du concours 2019 et les informations sur l'édition 2020 sur le site :
» **www.concours-preuve-image.fr**

## Claquages sous haute tension

Cette photo prise – avec un smartphone ! – par Christophe Barué du Grand accélérateur national d'ions lourds[2] (Ganil) à Caen, révèle la paroi d'un accélérateur de particules après des années de fonctionnement. Elle a reçu le prix du Jury dans la catégorie Terrain/Labo.

© C. BARUÉ/GANIL/CNRS PHOTOTHÈQUE



© V. BAZIN/C. HIVROZ/J. HUSSON/IPBS/INSTITUT CURIE/LADHYX/CNRS PHOTOTHÈQUE

## Gardes du corps aux aguets

Le prix Coup de cœur du public a été décerné à Virginie Bazin de l'Institut de biologie Paris-Seine[3], Julien Husson du Laboratoire d'hydrodynamique[4] (LadHyX) et Claire Hivroz de l'Institut Curie section recherche à Paris, pour cette belle image de notre système immunitaire. On y voit un lymphocyte T auxiliaire (à gauche) en pleine reconnaissance d'un intrus à l'aide de sa trompe.

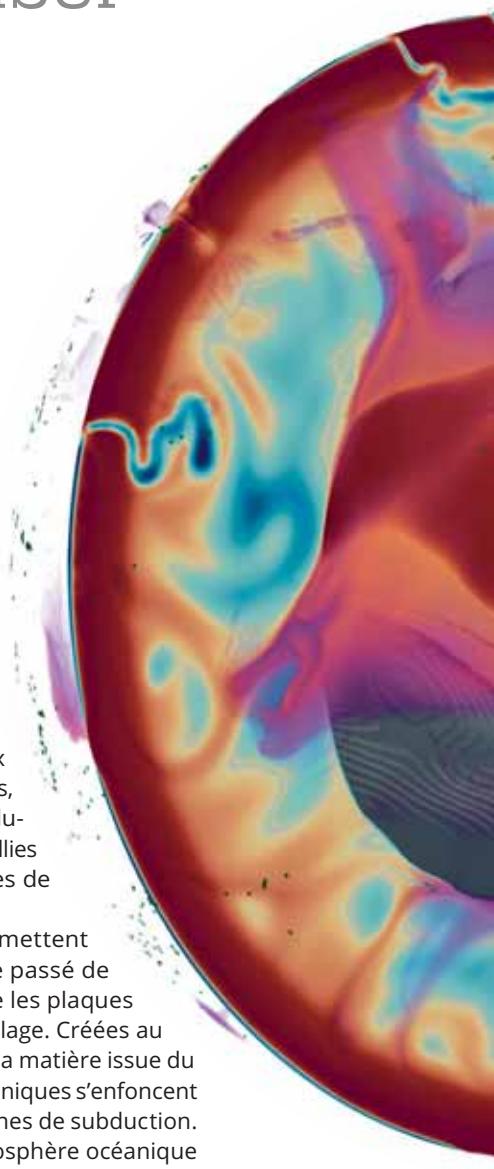
1. Unité CNRS/Inra/Université de Bourgogne. 2. Unité CNRS/CEA. 3. Unité CNRS/Sorbonne Université. 4 .Unité CNRS/École polytechnique.

# Qu'est-ce qui fait danser les continents ?

TERRE NUMÉRIQUE

**Géophysique.** Quelles forces font bouger les plaques tectoniques à la surface de la Terre ? Grâce à une simulation 3D de notre planète, des géophysiciens ont répondu pour la première fois à cette question vieille d'un demi-siècle.

**PAR** PIERRE MIRA



Tel un gigantesque puzzle, la surface de la Terre – la lithosphère – est découpée en plaques rocheuses qui se déplacent les unes par rapport aux autres. Ce phénomène, baptisé tectonique des plaques, unique dans le Système solaire, change sans cesse le visage de notre planète : il est à l'origine de la dérive des continents, de la formation des chaînes de montagnes, du volcanisme et des tremblements de terre.

Depuis la fin des années 1960 et l'avènement de la théorie de la tectonique des plaques, une question importante restait toutefois sans réponse : quelles forces sont responsables des mouvements de ces fameuses plaques ?

Pour tenter de résoudre ce mystère, deux points de vue différents sont apparus dans la communauté scientifique. Pour certains, le moteur de la danse des plaques tectoniques se trouverait dans les zones dites de subduction, là où les plaques océaniques plongent sous les plaques voisines et s'enfoncent dans le manteau sous-jacent. Au cours de ce processus, la chute d'une plaque suffirait à tirer tout le reste de la plaque, sous l'effet de son propre poids, et la mettrait ainsi en mouvement.

Pour d'autres en revanche, les responsables seraient les mouvements de matière, dits de convection, qui ont lieu à l'intérieur du manteau. Sous l'effet de la chaleur dégagée par les entrailles de la Terre, les roches les plus profondes remontent vers la surface. Puis refroidies, elles redescendent. Cette matière en mouvement viendrait « frotter » sur les plaques lithosphériques au point de les faire se déplacer.

## Un superordinateur pour remonter le temps

Grâce à une simulation en trois dimensions de notre planète obtenue après neuf mois de calcul sur un superordinateur[1], les géophysiciens ont pu montrer que le mouvement des plaques tectoniques était en réalité le résultat de ces deux phénomènes à la fois, et que leur contribution relative avait évolué au cours de l'histoire géologique de la Terre. Jusqu'à présent, pour mieux comprendre le mouvement des plaques, les scientifiques n'avaient d'autre solution que d'analyser les données recueillies sur Terre (données satellites, études de roches, données sismiques).

Problème : ces données ne permettent pas de remonter assez loin dans le passé de notre planète. Pourquoi ? Parce que les plaques tectoniques sont en perpétuel recyclage. Créées au niveau des dorsales océaniques, où la matière issue du manteau se solidifie, les plaques océaniques s'enfoncent ensuite dans le manteau dans les zones de subduction. Résultat : on trouve très peu de lithosphère océanique datant de plus de 180 millions d'années, alors que la Terre a 4,5 milliards d'années !

## Un modèle réduit réaliste de la Terre

C'est pourquoi Nicolas Coltice, du Laboratoire de géologie de l'École normale supérieure[2], Laurent Husson, de l'Institut des sciences de la Terre[3], et leurs collègues ont opté pour une stratégie différente : créer un modèle numérique en 3D d'une planète fictive, ayant des propriétés proches de celles de la Terre. La simulation réalisée sur un superordinateur leur a ensuite permis de suivre l'évolution de la surface de cette planète virtuelle sur 1,5 milliard d'années.

En termes de réalisme, *« nous avons modélisé avec une grande fidélité le comportement mécanique des roches de la lithosphère et du manteau, c'est-à-dire la*

1. "What drives tectonic plates?", N. Coltice *et al.*, *Science Advances*, oct. 2019. 2. Unité CNRS/ENS Paris. 3. Unité CNRS/Université Grenoble-Alpes/Université Savoie-Mont-Blanc/IRD/Ifsttar.

Coupe à l'intérieur du modèle de convection terrestre. Les structures 3D en transparence identifient des panaches chauds provenant du fond du manteau.

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

*façon dont celles-ci se déforment lorsqu'elles subissent une contrainte. Un travail que nous avons commencé il y a cinq ans et dont cette simulation est l'aboutissement »*, explique Nicolas Coltice.

**Des plaques motrices, mais pas toujours**

La simulation montre ainsi que depuis 500 millions d'années au moins, les deux tiers de la surface de la Terre se déplacent plus vite que le manteau sous-jacent, à 150 kilomètres de profondeur, et que les rôles sont inversés sur le tiers restant. Autrement dit : « *dans la majorité des cas, le manteau s'oppose au mouvement de la plaque : la cause de ce déplacement se situe donc en surface, dans les zones de subduction qui tirent l'ensemble de la plaque. Dans le tiers des cas, en revanche, le manteau pousse la surface avec lui et ce sont donc les courants profonds qui sont responsables de ce mouvement* », précise Nicolas Coltice.

Une explication possible serait que dans les zones de subduction, les forces qui entraînent la surface sont plus localisées et donc plus intenses alors que les forces exercées par les courants ascendants chauds sont plus étalées et donc plus diffuses.

Autre constat important : le rapport de force entre ces deux mécanismes a changé au cours de l'histoire de la Terre, et il s'est même inversé à intervalle régulier dans le cas des continents. *« Ce que montrent nos calculs, c'est que dans les phases de construction d'un supercontinent, comme la Pangée formée il y a 300 millions d'années, les continents sont principalement poussés par les mouvements profonds du manteau alors qu'ils sont plutôt entraînés par la surface, du fait de la subduction, lors des phases où ces supercontinents se disloquent »*, note Laurent Husson.

**Subduction contrariée**

Les chercheurs proposent une explication à cette observation. *« Lorsque deux continents se rapprochent, la subduction, qui a justement conduit à leur convergence, cesse. Ce faisant, ce sont les courants internes qui deviennent dominants pour déplacer les continents et créer un supercontinent. À l'inverse, lorsqu'un supercontinent est complètement formé, de nouvelles zones de subduction apparaissent qui permettent ainsi au manteau d'évacuer la chaleur. Et ce sont elles qui prennent le relais pour défaire le supercontinent »*, avance Nicolas Coltice.

Les données recueillies sur Terre viennent d'ailleurs donner raison à cette idée. Dans le cas de l'Himalaya par exemple, né de la collision entre les plaques indienne et eurasienne, on sait que c'est la subduction de la lithosphère océanique, aujourd'hui disparue, sous la lithosphère continentale qui a rapproché ces deux plaques à des vitesses importantes de plusieurs dizaines de centimètres par an. Depuis, cette subduction a cessé et ce sont les courants de convection profonds qui, d'après le modèle des chercheurs, continuent de faire se déplacer la plaque indienne à des vitesses beaucoup plus faibles (quelques centimètres par an), celles mesurées actuellement.

Les chercheurs travaillent désormais à la mise au point d'une nouvelle simulation qui reconstituera à l'identique l'évolution de notre planète au cours des derniers 200 millions d'années. II

© MODÉLISATIONS : N. COLTICE

POINT DE VUE

# Peut-on concevoir des plastiques écoresponsables ?

PHOTOS : DR

**Sophie Guillaume**[1], directrice de recherche au CNRS à l'Institut des sciences chimiques de Rennes[2] (ISCR).

**Jean-François Gérard**[3], directeur-adjoint scientifique à l'Institut de chimie du CNRS.

Trois cent soixante millions de tonnes, c'est la quantité de plastiques produits dans le monde cette année ! Découverts au début du XXe siècle, les plastiques ou polymères bruts[4] ont d'abord révolutionné notre vie quotidienne et participé, entre autres, à l'amélioration de la sécurité sanitaire dans le domaine de l'emballage. Ils se sont ensuite développés au rythme d'une consommation et d'une économie en pleine croissance après la Seconde Guerre mondiale.

## Le plastique omniprésent

Il existe une très grande diversité de plastiques. Par exemple, ceux « de commodité », notamment le caoutchouc synthétique, le polyéthylène, le PVC, le Kevlar®, etc. Les plastiques de « spécialité » visent quant à eux une application plus ciblée. Ils permettent des combinaisons de fonctionnalités (barrière aux gaz, résistance à la déchirure, par exemple pour des films protégeant les aliments). Plus chers car plus difficiles à fabriquer, on peut les trouver en cosmétique, dans l'aéronautique ou le domaine médical. Certains d'entre eux visent la durabilité comme dans l'automobile, où les polymères conduisent à un allègement des véhicules (donc à une réduction de l'émission de $C0_2$ et de la consommation en carburant), ou débouchent sur des revêtements sans composé toxique.

## Une préoccupation planétaire

Si les plastiques ont pu nous rendre bien des services, nous faisons face aujourd'hui aux dommages générés par la présence de certains d'entre eux (notamment les plastiques de commodité) dans nos écosystèmes. La communauté internationale se mobilise pour répondre de manière durable aux problématiques liées à la demande et donc à la production croissante de matière plastique.

L'évolution et l'usage de plastiques « responsables » sont de plus en plus requis par des institutions telles que l'Union européenne. L'ambition du gouvernement français est d'atteindre 100 % de plastiques recyclés en 2025. Pour 6,3 milliards de tonnes de plastiques produits sur la période 1950-2015, seuls 9 % sont recyclés et 12 % incinérés. *Quid* des 79 % restant en circulation ? Un cercle vertueux doit être mis en place afin d'éviter la « fuite » des plastiques dans les milieux naturels (rivières, océans, mise en décharge, etc.), en optimisant leur cycle de vie dans le cadre d'une économie circulaire, responsable et durable.

Il convient également de faire la distinction entre « bioplastique », qui désigne un polymère naturel ou fabriqué à partir de ressources naturelles renouvelables, et un « plastique biodégradable », qui se réfère à l'aptitude du matériau à se dégrader sous l'action de micro-organismes naturels. Ainsi, tous les plastiques biosourcés ne sont pas biodégradables et certains polymères pétrosourcés le sont.

De nombreuses communautés scientifiques concentrent leurs recherches sur des alternatives comme l'élaboration de nouveaux plastiques écoresponsables. Ce travail interdisciplinaire se fait à travers des groupements de recherche CNRS ou encore le Groupe français d'études et d'applications des polymères. La collecte et le tri des déchets plastiques apportent une solution écocitoyenne et

1. Sophie Guillaume est aussi présidente du Groupement français d'études et d'applications des polymères (GFP). 2. Unité CNRS/Univ. de Rennes 1/ENSC Rennes/Insa Rennes. 3. Jean-François Gérard est aussi professeur à l'Université de Lyon, chercheur au laboratoire Ingénierie des matériaux polymères (IMP - Unité CNRS/Univ. Claude-Bernard Lyon1/INSA Lyon/Univ. Jean-Monnet Saint-Étienne). 4. Formulés à partir de résine(s) de base obtenue(s) à partir d'unités de répétition appelées monomère, d'additifs, de charges et de plastifiants. 5. Règlement de l'Union européenne (règlement n°1907/2006) entré en vigueur en 2007 pour sécuriser la fabrication et l'utilisation des substances chimiques dans l'industrie européenne. 6. Les polymères naturels n'ont pas toujours les propriétés recherchées ; il faut dans certains cas les modifier chimiquement pour améliorer leurs propriétés physiques notamment.

Lire l'intégralité de l'article sur
**lejournal.cnrs.fr/nos-blogs/matieres-a-penser**

écoresponsable. Ce recyclage est ensuite optimisé sur la base d'études scientifiques visant à mieux séparer les plastiques selon leur propre famille par tri optique, densimétrique ou par flottaison, pour ensuite mieux les traiter et les valoriser.

**La recherche contribue**

Une autre avancée vise à réutiliser les déchets de polymères pour générer de nouveaux matériaux à plus faible valeur ajoutée, une voie appelée « *downcycling* ». Enfin, des efforts sont consacrés en amont au design moléculaire de polymères « à façon », offrant des propriétés optimales de recyclage par pyrolyse ou par recyclage chimique. Cette dernière approche, qui consiste à transformer les polymères en monomères initiaux, est connue sous le nom d'« *upcycling* ». Elle tend vers l'application industrielle, pour pratiquement tous les types de polymères pétrosourcés ou biosourcés et illustre parfaitement la mise en place d'une économie circulaire. Par ailleurs, une recherche amont porte sur l'élaboration et la production de ces matières plastiques aux performances au moins égales à celles des mêmes polymères pétrosourcés par valorisation de la biomasse. Les chercheurs sont en quête de procédés pour remplacer des polymères bannis par les recommandations du règlement européen REACH[5] pour leur toxicité.

© Y. EMEZI/THE NEW YORK TIMES-REDUX-REA

Ces briques plastiques, qui vont être utilisées pour construire une école en Côte d'Ivoire, proviennent du recyclage de déchets (juin 2019).

De nombreux travaux utilisent également des huiles végétales (tournesol, ricin), des sucres (glucose, fructose), voire des déchets alimentaires ou des polymères naturels modifiés[6] (cellulose, caséine ou amidon), pour remplacer les polymères actuels issus du pétrole. Mimer la nature au plus près, notamment avec des polypeptides (issus des acides aminés : leucine, glycine, cystéine, etc.) ou des polymères bactériens (polyesters produits par des micro-organismes naturels comme certaines microalgues) permet aujourd'hui de proposer des polymères synthétiques alternatifs plus compétitifs que leurs analogues naturels.

Ces polymères peuvent aussi être innovants, ouvrant la voie à de nouvelles applications, notamment dans les domaines de l'emballage et du médical, du fait de leur biocompatibilité. Le $CO_2$ capturé peut également servir de matière première dans la conception de nouveaux polymères comme les polycarbonates (présents dans les verres optiques, CD/DVD). Aucune problématique n'est mise de côté pour parvenir à des polymères écoresponsables inédits. ■

## En bref

**ACCORD-CADRE AVEC EDF**

Le CNRS et EDF ont renouvelé pour cinq ans l'accord-cadre de collaboration qui leur a permis de signer près de 430 contrats entre 2013 et 2019. Les projets menés en commun concernent les sciences de l'ingénieur, la chimie, l'économie ou les sciences sociales. Cet accord prolonge une collaboration fructueuse depuis la première convention en 1991.

**UN PROTOCOLE AVEC LA RÉGION ÎLE-DE-FRANCE**

La CNRS a signé, lundi 30 septembre, un protocole de coopération avec la région Île-de-France. Établi pour 4 ans, cet accord-cadre sera décliné en plans d'actions qui visent notamment à renforcer et développer certaines thématiques de recherches prioritaires partagées, alliant les enjeux de la région et la stratégie nationale du CNRS.

**PREMIER ACCORD-CADRE AVEC UNE PME**

Le CNRS a signé pour la première fois un accord-cadre avec une PME, Imra Europe, un centre de recherche de Sophia-Antipolis financé par l'équipementier automobile japonais Aisin Seiki. Il va permettre de nouvelles collaborations, la mise à disposition d'équipements ainsi que la gestion des résultats et de la propriété industrielle.

**LE CNRS RAYONNE**

Le 1er octobre, dans les Salons du Quai d'Orsay, le CNRS représenté par Antoine Petit s'est vu attribuer le prix du Rayonnement scientifique français, en présence de Jean-Yves Le Drian, ministre de l'Europe et des Affaires étrangères ou encore Christophe Castaner, ministre de l'Intérieur.

**COOPÉRATION AVEC LE MAROC**

Le 1er octobre, le CNRS et le Centre national de la recherche scientifique et technique du Maroc (CNRST) ont signé à Rabat un accord de coopération scientifique. Cet évènement a été l'occasion de célébrer les 80 ans de l'organisme et la collaboration ancienne entre les deux établissements.

**DES LIENS AVEC LA GENDARMERIE NATIONALE**

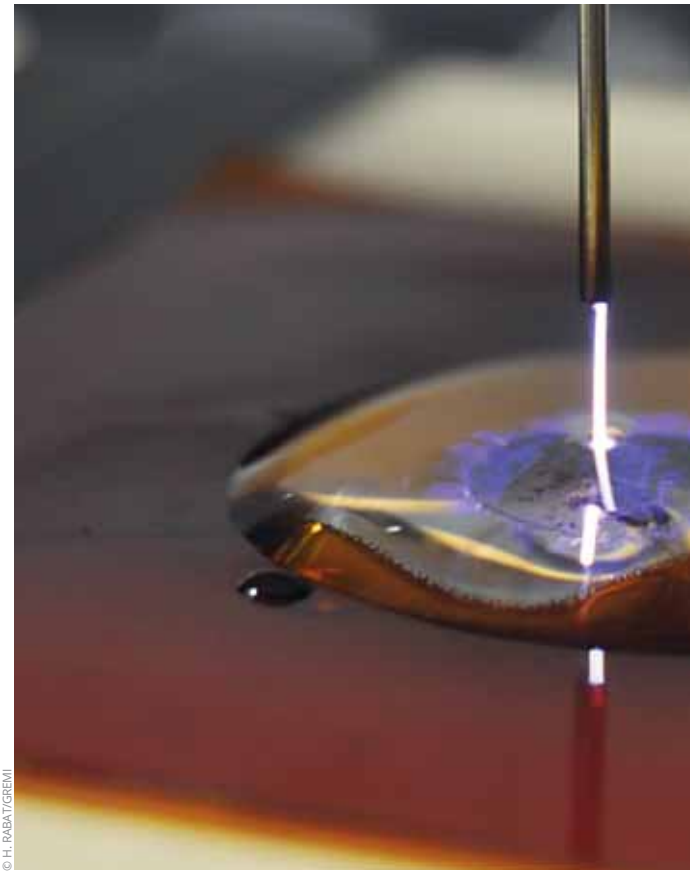
Le CNRS et la Gendarmerie nationale collaborent depuis une dizaine d'années sur des sujets variés, allant du big data au traitement des images. Les deux partenaires ont signé jeudi 3 octobre un accord-cadre pour formaliser ces relations et encourager les collaborations scientifiques.

# Des solutions pour une eau plus propre

PAR KHEIRA BETTAYEB

VIVANT TERRE

**Ingénierie.** Des techniques innovantes pour dépolluer l'eau préfigurent la station d'épuration du futur. Préserver la qualité de l'eau et faire face à la pénurie croissante en cette ressource naturelle vitale, c'est le double défi que plusieurs équipes du CNRS tentent de relever.



© H. RABAT/GREMI

Représentant pas moins de 65 % de notre corps, l'eau est indispensable à notre survie et à celle de notre environnement. Or, nos activités domestiques et industrielles la souillent avec une ribambelle de polluants que les stations d'épuration ne parviennent pas à tous éliminer, et qui s'accumulent ensuite dans les rivières, les océans et à notre robinet ! Pour y remédier, plusieurs équipes du CNRS travaillent d'arrache-pied afin d'améliorer les systèmes de traitement existants et les compléter par de nouveaux, plus performants.

**La biopile pour l'autosuffisance**

En France, plus de 20 000 stations d'épuration traitent 5 milliards de mètres cubes d'eau usée[1]. L'eau y subit divers traitements, différents selon le type de polluants concerné : métaux lourds, pesticides, matière organique… Pour éliminer cette dernière, la technique la plus utilisée consiste à la faire dégrader par des bactéries : c'est le procédé des boues activées. *« Très efficace en soi, ce procédé comprend des sous-postes très énergivores : brassage et aération des bassins où se développent les bactéries, etc. »*, relève Naoufel Haddour, enseignant-chercheur au sein du laboratoire Ampère de Centrale Lyon[2].

Pour remédier à cela, le physico-chimiste et ses collègues développent une technique qui non seulement dégrade la matière organique grâce aux bactéries, mais produit en plus de l'électricité : c'est le concept de pile à combustible microbienne ou biopile. *« Ce type de système pourrait aider les stations d'épuration à produire leur propre électricité de fonctionnement et à être ainsi autosuffisantes »*, souligne Naoufel Haddour. De quoi valoriser judicieusement les eaux usées !

Rejetés par diverses activités « modernes », les micropolluants, eux, ne sont pas dégradables par les bactéries. Ces composés, résidus médicamenteux, peintures, plastifiants (phtalates), etc., sont présents en très faibles concentrations dans les eaux usagées, de l'ordre du nanogramme par litre jusqu'au microgramme par litre. Ayant fini par s'accumuler, ces substances sont devenues particulièrement toxiques pour la santé humaine et l'environnement.

**L'oxydation avancée contre les micropolluants**

Une solution pour détruire ces molécules est de générer une espèce chimique capable de réagir avec elles et les dégrader : des radicaux hydroxyles (noté HO•), deuxième oxydant le plus puissant sur Terre après le fluor ! Pas moins de cinq procédés visant la production de radicaux HO•, dits « procédés d'oxydation avancée », sont ainsi à l'étude au CNRS.

*« Au laboratoire Ampère, nous avons développé un système électrochimique capable non seulement de produire des HO•, mais aussi de l'électricité »*, se réjouit Naoufel Haddour. Baptisée Galvano-Fenton, cette

1. Voir le dossier thématique « Du traitement des eaux usées à leur valorisation » sur le site irstea.fr. 2. Unité CNRS/Institut national des sciences appliquées de Lyon/Université Claude-Bernard Lyon-I/Centrale Lyon. 3. Unité CNRS/Université de Lorraine. 4. Unité CNRS/Université d'Orléans. 5. Unité CNRS/Université Grenoble-Alpes/Institut polytechnique de Grenoble.

Le plasma non thermique est une piste intéressante pour dépolluer de petits volumes d'eau.

technique repose comme la biopile sur l'utilisation de deux électrodes reliées par un circuit électrique. Breveté il y a quatre ans, le dispositif est désormais développé par la start-up Lichen, en cours de création à Centrale Lyon.

Le chimiste Emmanuel Mousset, au Laboratoire réactions et génie des procédés de Nancy[3], travaille quant à lui sur une technique d'oxydation avancée ne nécessitant aucun produit chimique. *« Appelé électro-oxydation avancée, notre procédé permet de générer des HO• en appliquant un courant entre deux électrodes plongées dans la solution à dépolluer : une positive (anode), en diamant dopé au bore ; et une négative (cathode), en acier-inox. Alors, survient une réaction d'oxydoréduction qui oxyde l'eau en HO• »*, explique le chercheur. Mais ce procédé reste encore onéreux, en raison de l'utilisation du diamant dopé au bore, et potentiellement instable.

**Plasma non thermique**

À Orléans, au Groupe de recherches sur l'énergétique des milieux ionisés[4], Oliver Aubry travaille sur un autre procédé tout aussi prometteur : le plasma non thermique. Une décharge électrique est appliquée dans un milieu contenant de l'oxygène et en contact avec l'eau à dépolluer. On fait ainsi passer la matière dans une phase particulière, le fameux plasma : constitué de particules chargées, d'ions et d'électrons, dont… les fameux HO• ! *« Comme elle nécessite l'utilisation d'électricité et a donc un certain coût énergétique, cette technique est intéressante surtout pour des volumes relativement petits, comme les effluents très concentrés en résidus de médicaments issus de laboratoires pharmaceutiques ou d'hôpitaux. Elle serait donc utilisée en amont des stations d'épuration, en complément »*, précise le scientifique.

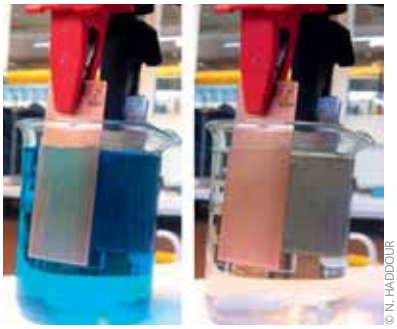
***Inventer l'avenir. L'ingénierie se met au vert,*** *sous la direction de Martine Meireles-Masbernat, Laurent Nicolas et Abdelilah Slaoui, CNRS Éditions, 2019, 240 p., 22 €.*

**Bulles de vapeur**

Mais il y a aussi cette quatrième technique qui repose sur un phénomène physique encore plus spectaculaire : la cavitation hydrodynamique. *« Celle-ci consiste en la création et en l'implosion de bulles de vapeur dans un liquide, qui est – point important – non chauffé, à température ambiante. (…) L'implosion des bulles est si violente qu'elle peut casser les molécules d'eau ($H_2O$) dans les bulles de vapeur, en atome hydrogène (H) et en radicaux HO• »*, développe Frédéric Ayela, au Laboratoire des écoulements géophysiques et industriels[5]. Lui et son équipe testent l'efficacité de cette méthode en faisant caviter le luminol, un composé chimioluminescent qui émet de la lumière bleue en présence de HO•. Et ce, dans des microsystèmes fluidiques sur puce, utilisant un débit de quelques litres par heure, à l'abri de la lumière extérieure.

On l'aura compris : la recherche pour une eau plus propre est en pleine effervescence. Mais il faudra relever de nombreux défis avant que toutes ces techniques soient intégrées aux stations d'épuration. Comme démontrer leur efficacité pour le traitement de grands volumes d'eau, sachant qu'une station d'épuration en traite plusieurs centaines de milliers de mètres cubes par jour.

Test du procédé de Galvano-Fenton, technique qui dégrade les micropolluants tout en générant de l'électricité.



© N. HADDOUR

Par ailleurs, *« il faudra aussi s'assurer que ces procédés ne produisent pas des molécules "filles" plus toxiques que les molécules initiales de micropolluants »*, ajoute Olivier Aubry. Également, diminuer le coût de fabrication de ces systèmes, en jouant sur les matériaux utilisés et surtout, déterminer si un cycle de traitement suffira ou s'il en faudra plusieurs, et combien alors… De la capacité des chercheurs à dépasser tous ces verrous, dépendra la qualité de l'eau des générations à venir. II

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

© C. FRESILLON/IDRIS/CNRS PHOTOTHÈQUE

# Supercalculateurs : les enjeux d'une course planétaire

NUMÉRIQUE

J. Atif

S. Requena

PHOTOS : DR

Lire l'intégralité de l'entretien sur **lejournal.cnrs.fr**

**Informatique.** La recherche française vient de se doter d'un nouveau supercalculateur, Jean Zay, un des plus puissants d'Europe. À l'heure d'une folle course mondiale à la puissance de calcul, décryptage des enjeux scientifiques et géopolitiques avec Jamal Atif et Stéphane Requena.

**PAR** ANAÏS CULOT

**Financé par la société civile Genci[1], Jean Zay est installé à l'Idris, centre de calcul intensif du CNRS. Pouvez-vous nous expliquer ce qu'est un supercalculateur et quels en sont les usages ?**

**Stéphane Requena[2] :** Un supercalculateur, ou superordinateur, est un assemblage très dense de serveurs empilés les uns sur les autres et fédérés par un réseau très rapide. Il traite des problèmes inaccessibles pour un PC de bureau, en parallélisant les calculs, c'est-à-dire en donnant à chaque serveur un petit bout d'un problème à traiter. Sa puissance est mesurée en pétaflops[3] (Pflops), c'est-à-dire en millions de milliards d'opérations par seconde. C'est un accélérateur de science et surtout un outil qui sert à toute la société.

**Jamal Atif[4] :** Les supercalculateurs permettent de faire du calcul haute performance (High Performance Computing – HPC), c'est-à-dire des simulations dédiées plutôt aux grands challenges scientifiques tels que les sciences du climat, les problèmes d'ingénierie au sens large, etc. Il y a actuellement un besoin important de superordinateurs dédiés à l'intelligence artificielle (IA) dont les applications peuvent couvrir tous les champs disciplinaires. Jean Zay sera une machine convergée : dédiée à la fois aux HPC et à l'IA.

**S.R. :** Face à une explosion des volumes de données à traiter, produites par les grands instruments scientifiques (satellites, télescopes, etc.) mais aussi les supercalculateurs *via* les simulations numériques, les limites sont atteintes pour des méthodes traditionnelles d'analyse. Il est indispensable d'en déployer de nouvelles avec l'IA.

**Quels domaines scientifiques vont en bénéficier ?**

**J.A. :** La médecine de précision est un enjeu important des années à venir, notamment la conception de dosages de médicaments adaptés à des profils de personnes pour une meilleure efficacité. Autres enjeux : les sciences humaines et sociales, la cybersécurité ou encore les sciences de l'Univers.

**S.R. :** Cela va par exemple permettre de réduire la taille des maillages pour les modèles de prévision climatique en passant à des modèles globaux précis au kilomètre, contre vingt actuellement. Il y aura aussi des progrès pour l'industrie en général, qui représente 15 % des projets bénéficiant des supercalculateurs français déjà existants. Jean Zay va également servir au domaine émergent de l'aide à la décision : comment aider les pouvoirs publics à agir suite à des risques naturels ?

Le supercalculateur Jean Zay, nommé en l'honneur du ministre de l'Éducation nationale, artisan, avec Jean Perrin de la création du CNRS.

**Aujourd'hui capacité de calcul disponible rime avec puissance et compétitivité des nations…**

**S.R. :** La recherche française dispose de trois centres de calcul[5]. Jean Zay sera dix fois plus puissant que celui qui était déjà présent à l'Idris (14 Pflops au lancement et 17 Pflops fin 2019). Cette configuration est indispensable dans un contexte de forte compétitivité européenne et mondiale. La lutte est surtout très forte entre la Chine et les États-Unis, leader actuel avec le superordinateur Summit, dont la puissance est supérieure à 200 Pflops.

**J.A. :** Cette compétition sans merci doit mener au déploiement, en 2021, de machines dites « Exascale », capables de réaliser un milliard de milliards d'opérations à la seconde, soit 60 fois plus que Jean Zay. C'est un autre niveau mais le modèle choisi par la France est depuis longtemps adopté aux États-Unis, au Japon et en Chine.

**Qu'en est-il de l'Europe ?**

**J.A. :** Indépendamment de la stratégie propre à chaque pays, il est nécessaire d'établir une « superstratégie », la plus globale possible. Toutefois, l'Europe manque encore d'exemples de réussite sur lesquels s'appuyer. Un projet commun autour de l'IA est peut-être une démarche qui démontrera qu'elle peut peser dans la balance.

**S.R. :** Au moment de la création de Genci (en 2007, NDLR), chaque pays a compris qu'il fallait une infrastructure européenne afin de concurrencer les grosses puissances du domaine. Prace, sorte de Genci européen, a ainsi été créé en 2010 grâce notamment aux apports de quatre États membres (Allemagne, France, Italie, Espagne) mais sans impulsion financière européenne suffisante. Cela a changé avec le lancement, fin 2018, de l'initiative européenne EuroHPC dotée d'un milliard d'euros pour sa première phase. Elle coordonne ainsi les efforts de R&D et le déploiement de premiers supercalculateurs de classe mondiale dédiés à la recherche. Trois machines dites « pré-exascale » (autour de 200 à 300 Pflops) vont être installées en Espagne, en Italie et en Finlande. Dans une seconde phase, le programme soutiendra le développement de machines Exascale (vers 2022-2023). La France et l'Allemagne se sont portées volontaires pour les héberger. Maintenant, c'est à nous d'instituer une équipe de France regroupant tout l'écosystème des supercalculateurs avec Genci, le CNRS, le CEA, les universités, Inria et le ministère de la Recherche et de l'Innovation en vue de convaincre EuroHPC de nous confier cette machine.

**Comment l'Europe peut-elle peser dans cette course ?**

**S.R. :** L'enjeu consiste à marier de la technologie européenne à des infrastructures très puissantes au service des applications scientifiques européennes. Actuellement, le seul producteur européen de supercalculateur de classe Exascale est l'entreprise française Atos-Bull. S'émanciper des autres puissances du calcul nécessite une industrie européenne forte et indépendante. Dans les affrontements entre les leaders mondiaux, les États-Unis imposent par exemple des embargos sur des processeurs à la Chine. L'Europe n'est pas à l'abri d'une telle manœuvre.

**J.A. :** Il faut maîtriser les technologies de bout en bout, du hardware jusqu'à la conception d'algorithmes. Il en va de notre souveraineté car dépendre des autres puissances c'est aussi prendre du retard, être moins compétitif en termes d'innovation, de recherche et pour l'économie de manière générale.

Des médicaments dont le dosage est adapté au profil d'une personne, c'est l'un des enjeux de la médecine de demain.

© STUDIO PONS/PHOTONONSTOP

**D'autres acteurs que les États sont-ils impliqués ?**

**J.A. :** Des puissances privées telles que les Gafam[6] américains et les BATX[7] chinois. Ces derniers détiennent des avancées en IA et ont des capacités de calcul auxquelles la recherche est loin d'avoir accès. Ce serait une erreur de laisser l'IA, et tous les enjeux sociétaux qui en découlent, se développer dans un cadre privé.

**S.R. :** Il y a aussi des industriels comme Total (Avec IBM Panga III), EDF, Airbus, Safran, Renault… qui investissent fortement. Disposer à la fois d'infrastructures publiques et de moyens opérés par des industriels, sans oublier aussi, dans le domaine du *cloud*, un acteur comme OVH[8], constitue un véritable atout pour notre pays. II

1. Grand équipement national pour le calcul intensif. 2. Directeur technique et innovation de la société civile Genci. 3. Le préfixe péta signifie 10 puissance 15, soit un million de milliards. Flops est l'acronyme de FLoating point Operations Per Second, « opérations à virgule flottante par seconde ». 4. Professeur à l'Université Paris-Dauphine, chercheur au Lamsade (CNRS/Université Paris-Dauphine), chargé de mission « science des données et intelligence artificielle » à l'Institut des sciences de l'information et de leurs interactions du CNRS. 5. Occigen est installé au Centre informatique national de l'enseignement supérieur (Cines), à Montpellier, Joliot-Curie au sein du très grand centre de calcul du CEA (TGCC), à Bruyères-le-Châtel (Essonne), et Jean Zay à l'Idris. 6. Acronyme des géants du Web (Google, Apple, Facebook, Amazon et Microsoft). 7. Sigle qui désigne les géants du Web chinois dans les années 2010 (Baidu, Alibaba, Tencent et Xiaomi). 8. Entreprise française spécialisée dans les services de *cloud computing* (« informatique en nuage »), qui propose des solutions de stockage et d'exploitation des données.

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

# À quoi ressemblait l'ancêtre d'*Homo sapiens* ?

VIVANT

**Modélisation.** Pour la première fois, deux paléoanthropologues ont remonté l'arbre généalogique de notre espèce et dressé le portrait-robot en 3D de l'ancêtre d'*Homo sapiens*.

**PAR** LAURE CAILLOCE

S'il ne fait plus de doute aujourd'hui qu'*Homo sapiens* est apparu en Afrique il y a 300 000 à 200 000 ans, les conditions de son émergence restent encore mystérieuses : les fossiles datant de ces 500 000 dernières années sont rares et leur état de conservation très variable. Seuls 7 crânes du genre *Homo* ont été trouvés sur le continent africain pour la période correspondante, dont 5 sont aujourd'hui accessibles aux chercheurs. Ils proviennent d'Afrique de l'Est (Éthiopie, Tanzanie, Kenya), d'Afrique du Sud et du Maroc. L'un d'entre eux pourrait-il être notre ancêtre ?

Pour le savoir, les paléoanthropologues Aurélien Mounier, du laboratoire Histoire naturelle de l'homme préhistorique[1], et Marta Mirazón Larh, de l'Université de Cambridge, se sont lancés dans une vaste entreprise de modélisation[2].

## 263 spécimens modélisés

Pour prédire la morphologie possible du dernier ancêtre commun à tous les humains modernes, ils ont remonté notre arbre phylogénétique, jusqu'à près de 2 millions d'années en arrière. *« Nous avons modélisé 29 populations différentes, soit 263 spécimens en tout »*, explique Aurélien Mounier.

**ARBRE PHYLOGÉNÉTIQUE**
Arbre schématique montrant les liens de parenté entre des groupes d'êtres vivants.

© A. MOUNIER/CNRS-MNHM

Le fossile virtuel obtenu (ci-dessus) a été comparé aux cinq fossiles africains datant de la période d'émergence d'*Homo sapiens* (ci-dessous).

© A. MOUNIER ET M. MIRAZON LARH, 2019

**Omo II** **LH18** **Florisbad** **KNM-ES 11 693** **Irhoud 1**

Sur chaque crâne, ce ne sont pas moins de 780 points de repère qui ont été pris, afin de créer pour chaque population la morphologie-type d'un individu moyen. *« Le crâne porte des caractères exclusifs à notre espèce,* précise Aurélien Mounier, *comme la forme de la boîte crânienne, très arrondie et très haute, le front droit, la face petite et repliée sous le cerveau… »*

Le fossile virtuel ainsi obtenu, *« d'une étonnante modernité, avec une face qui avance un peu plus que celle d'*Homo sapiens *et un front plus bas »*, a été comparé aux 5 fossiles aujourd'hui considérés par la communauté scientifique comme de potentiels pré-sapiens.

## L'hypothèse de l'hybridation

*« De tous les individus, c'est Florisbad, le spécimen sud-africain, dont les caractères sont les plus proches de notre ancêtre virtuel, suivi du kenyan d'Eliye Spring (KNM-ES 11 693) »*, raconte Aurélien Mounier, qui prend appui sur ces résultats pour esquisser un possible scénario évolutif : *Homo sapiens* ne serait pas issu d'une population unique, mais serait le fruit de l'hybridation de plusieurs populations.

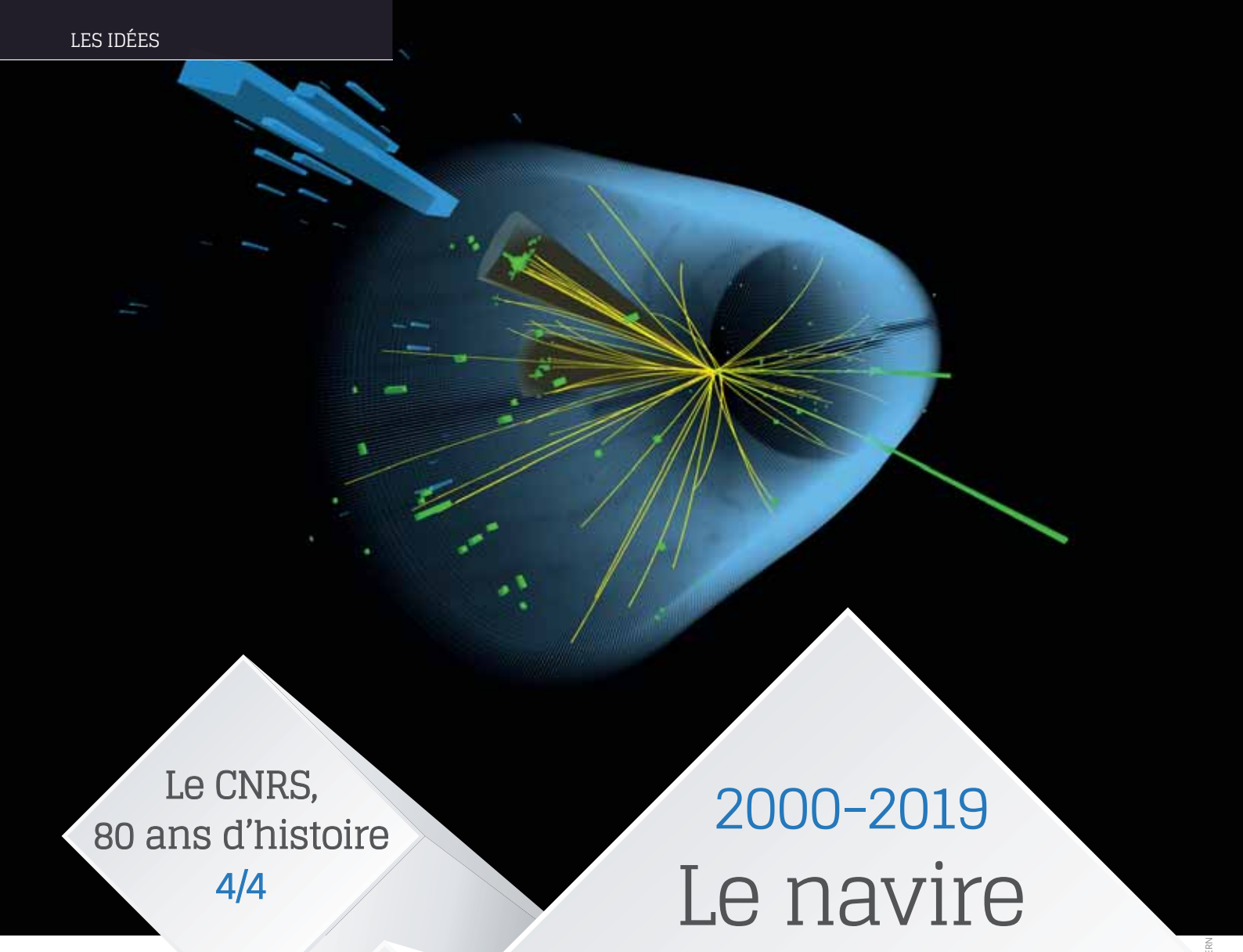
*« Différentes populations fossiles ont pu exister à l'époque – sans aller forcément jusqu'à parler d'espèces différentes,* avance le chercheur. *Parmi elles, des populations du sud et de l'est africain ont pu fusionner pour former notre espèce. »* II

1. Unité CNRS/Muséum national d'histoire naturelle/Université de Perpignan via Domitia. 2. Les résultats de l'étude ont été publiés : « Deciphering African late middle Pleistocene hominin diversity and the origin of our species », Aurélien Mounier et Marta Mirazón Lahr, *Nature Communications*, 10 sept. 2019.

# LES IDÉES

*Une analyse sur le rejet des vaccins, une tournée des labos avec un dessinateur de BD et une réflexion sur la lutte contre les incendies en Amazonie.*

ILLUSTRATION : JUANJO GASULL/COLAGENE.COM POUR CNRS LE JOURNAL



© T. MC CAULEY/CERN

Le CNRS, 80 ans d'histoire
4/4

2000-2019

# Le navire amiral garde le cap

Suite et fin du récit des 80 ans d'histoire du CNRS par Denis Guthleben. Dans ce quatrième épisode, l'organisme s'adapte avec succès aux nombreux bouleversements que connaît la recherche française.

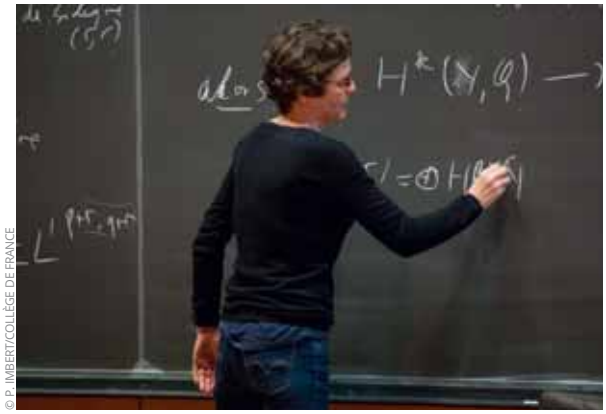
© N. LAMBERT/CNRS IMAGES

**Par Denis Guthleben,** attaché scientifique au Comité pour l'histoire du CNRS et rédacteur en chef de la revue *Histoire de la recherche contemporaine.*

Retrouvez notre dossier « Le CNRS, 80 ans d'histoire » sur **lejournal.cnrs.fr**

**« Le navire amiral dans la tempête » : tel était l'intitulé du dernier chapitre de l'*Histoire du CNRS* parue en 2009, pour les 70 ans de l'établissement**[1]**.** Il faut dire que la décennie qui s'achevait alors avait été pour le moins agitée, au CNRS aussi bien que dans le paysage scientifique national. Une mobilisation sans précédent autour du mot d'ordre « Sauvons la recherche », la mise en place d'une agence nationale, l'ANR, visant à promouvoir la recherche sur projets, une loi de programme en 2006, une autre, l'année suivante, relative aux libertés et aux responsabilités des universités et censée garantir leur autonomie et leur rayonnement, la définition d'une stratégie nationale de la

Des chercheurs du CNRS ont participé à la première observation du boson de Higgs en 2012.


© P. IMBERT/COLLÈGE DE FRANCE

Le CNRS est mondialement reconnu pour l'excellence de sa recherche en mathématiques. Claire Voisin a ainsi reçu la médaille d'or du CNRS en 2016.

recherche, des craintes de « saucissonnage » du CNRS écartées au final lors de la création d'alliances thématiques, par exemple pour l'énergie, les sciences de la vie ou celles de l'environnement, un grand emprunt, des investissements d'avenir… les initiés eux-mêmes y ont souvent perdu leur latin. On imagine le désarroi de l'observateur extérieur : jamais notre recherche n'avait vécu tant de bouleversements ! Il serait vain de vouloir en faire le bilan, alors que bien des questions demeurent en suspens. Mais quelques tendances semblent se dégager.

## Les années 2000 à la lumière de l'histoire

Dans les laboratoires, avec le nez dans le guidon ou, plus exactement, sur la paillasse, chacun a accueilli comme il l'a pu ces transformations, qui n'ont pas toujours été engagées dans la plus parfaite concertation. Peut-être l'histoire aurait-elle pu fournir plus de clés pour les mettre en perspective ? L'opportunité de programmer la recherche, par exemple, n'est pas née avec l'ANR en 2005 : depuis les années 1960 et la mise en place de ses premières recherches coopératives sur programme, le CNRS a lancé bien des initiatives dans ce domaine, qui auraient pu éclairer le débat. Même les détracteurs les plus acharnés auraient ainsi dû reconnaître que nos chercheurs ne sont pas rétifs par principe à la programmation. En revanche, ils savent par expérience que les budgets de cette dernière sont toujours les premiers rabotés au moindre coup de tabac… au grand dam de celles et ceux qui, dans les laboratoires, se sont prêtés de bonne grâce au jeu.

Parfois, les racines plongent plus profond encore dans notre histoire. L'une des grandes ambitions de ces vingt dernières années a ainsi consisté à regrouper les ressources scientifiques sur des sites pour leur conférer une masse critique – on croirait lire les principes de concentration des forces d'un manuel de stratégie militaire ! Le CNRS a accompagné ce mouvement, qui a débouché en 2006 sur la création de pôles de recherche et d'enseignement supérieur, et, depuis 2013, sur celle des communautés d'universités et d'établissement – les ComUE, pour les initiés… Or une telle volonté ne date pas d'hier : exprimée pour la première fois par Paul Bert en 1872[2], elle est souvent revenue sur le devant de la scène. Et elle a d'autant plus occupé le CNRS ces dernières années qu'il forme un maillon central du dispositif : depuis sa création, et *a fortiori* au cours des vingt années qui viennent de s'écouler, le CNRS est le garant d'un équilibre, conjuguant un vaste dessein national et la prise en compte des réalités de chaque territoire. C'est là toute l'originalité de son dispositif, non pas sorti tout armé de quelque esprit bureaucratique, mais éprouvé au fil de longues décennies… auxquelles il serait sans doute aventureux de tourner le dos !

Le CNRS est très investi dans les grands instruments, comme ici avec les radiotélescopes du plateau de Bure, dans les Hautes Alpes.

© J.-C. MOSCHETTI/INSU/IRAM/CNRS PHOTOTHÈQUE

## Mais de quoi souffre la recherche ?

Programmation, regroupement, politique concertée sur chaque site… si ces sujets – et bien d'autres ! – alimentent les débats de la communauté scientifique, qui dévoile à chaque occasion des trésors de dynamisme et de pugnacité, un constat au moins fait l'unanimité dans les unités que le CNRS pilote avec ses partenaires : la complexité délirante à laquelle nous sommes parvenus en vingt ans. En 1871, Louis Pasteur n'avait de cesse de déplorer « la faiblesse de notre organisation scientifique[3] ». Un siècle et demi plus tard, ne sommes-nous pas passés d'un extrême à l'autre ? Qui peut encore identifier tous les acteurs de la recherche en France et le rôle de chacun ? Pas un rapport, pas un discours qui ne le regrette : *« La recherche publique française souffre ! Elle souffre de trop de complexité, de trop de papiers à remplir »*, notait en 2012 l'Académie des sciences[4], confortée par une foule de déclarations individuelles, comme celle de Serge Haroche : *« Notre système de recherche publique est trop complexe et se complique davantage à chaque réforme, rendant les démarches administratives inutilement lourdes et contraignantes pour les chercheurs*[5]*. »*

Ces plaintes visent rarement les organismes établis, qui ont continué de s'adapter. Depuis vingt ans, le CNRS a ainsi connu …

1. Denis Guthleben, *Histoire du CNRS, de 1939 à nos jours – Une ambition nationale pour la science*, Armand Colin, 2009. 2. Paul Bert, *Projet de loi sur l'organisation de l'enseignement supérieur*, Germer-Baillière, 1872. 3. Louis Pasteur, *Quelques réflexions sur la science en France*, Gauthier-Villars, 1871. 4. *Remarques et propositions sur les structures de la recherche publique en France*, Académie des sciences, 25 septembre 2012 : https://www.academie-sciences.fr/archivage_site/activite/rapport/rads0912.pdf. 5. *« Discours d'ouverture des Assises nationales de la recherche et de l'enseignement supérieur »*, Collège de France, 26 novembre 2012.

… son lot de réformes. Sa gouvernance a évolué et continue de le faire, comme le montre la création récente d'une direction déléguée à l'innovation. Ses départements scientifiques, qui ont cédé la place à des instituts en 2009, ne sont pas restés figés eux non plus. L'évolution de leurs périmètres témoigne de la vitalité de la recherche au sein de l'organisme avec, entre autres, la création en 2006 d'un département « environnement et développement durable » ou la reconnaissance dans un nouvel institut, en 2010, des « sciences informatiques et de leurs interactions ». Or, sorti du champ balisé des établissements historiques, toujours en première ligne face aux grands défis contemporains, une situation inédite s'est imposée : de plus en plus de personnes œuvrent pour la recherche au sens large, et de moins en moins pour l'avancement effectif de la science. Hubert Curien, fort de sa carrière – de la direction du CNRS au ministère de la Recherche –, nous avait pourtant mis en garde : *« Il faut s'astreindre à supprimer deux strates administratives lorsque l'on en crée une nouvelle… »* De toute évidence, le compte n'y est pas !

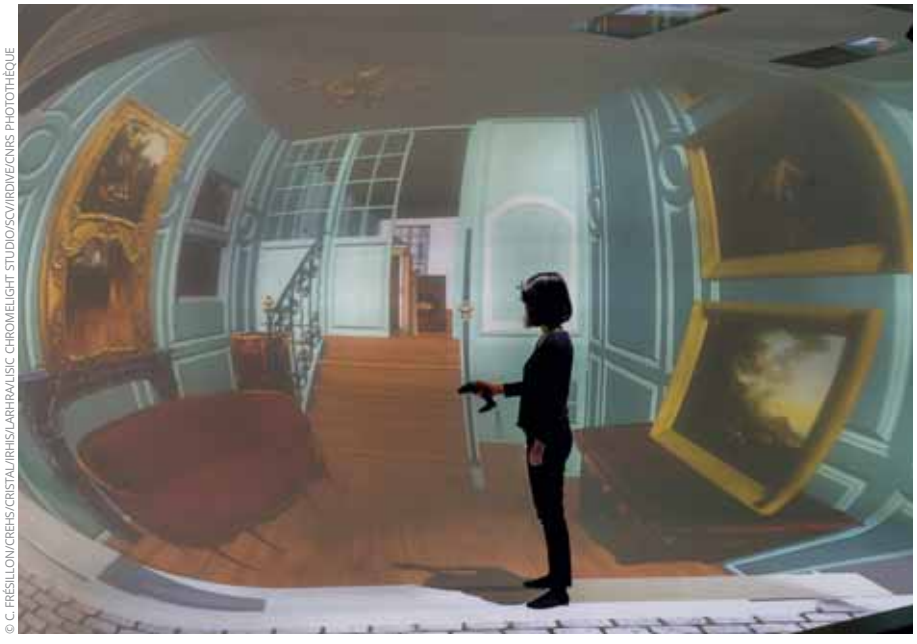
Évidemment, l'historien n'est pas l'observateur le plus qualifié pour juger la période que nous vivons. Habitué à jongler avec le passé, il pourrait même se révéler le pire, en rêvant à de bons vieux temps qui ne l'ont pas vraiment été… Un passé idyllique et un présent qui part à vau-l'eau ? C'est une autre constante de l'histoire du CNRS, qui collectionne depuis 1939 les pronostics les plus pessimistes sur son avenir. Des légions de cassandres ont en effet prédit la mort du CNRS, dès notre défaite de 1940, alors qu'il n'avait même pas célébré son premier anniversaire, dans les années 1950, faute de liens assez étroits avec des universités en pleine mutation, dans les années 1960 alors même que le CNRS vivait l'une des périodes les plus fastes de son histoire, dans le contexte non moins favorable du début des années 1980, où on était même allé jusqu'à se demander, lors d'un débat télévisé, s'il ne fallait pas « brûler le CNRS[6] », comme on a évoqué depuis son « découpage », son « démembrement » ou cette étonnante métaphore charcutière de « saucissonnage »…

◢ L'expédition Tara Océans, codirigée par le biologiste Éric Karsenti, médaille d'or du CNRS en 2015, a permis d'approfondir les connaissances sur le micro-plancton.

© C. SARDET/TARA OCÉANS/CNRS PHOTOTHÈQUE

## En attendant le centenaire…

Pourquoi ces supplices sont-ils, à chaque fois, tombés dans les oubliettes de l'histoire ? Parce que, depuis sa création, le CNRS a apporté sa pierre à la plupart des grandes avancées de la connaissance. Et qu'il a continué de le faire sans déroger, depuis vingt ans, comme en atteste une avalanche sans cesse renouvelée de distinctions prestigieuses (huit prix Nobel et six médailles Fields en deux décennies, qui dit mieux ?), en contribuant chaque jour un peu plus à percer les secrets de la vie, de la matière et de l'Univers, à comprendre notre planète et les populations qui la peuplent, à mobiliser les savoirs et les technologies pour les protéger des risques environnementaux, sanitaires et climatiques qui les menacent. Au terme de ces articles qui n'ont fait qu'effleurer l'histoire du CNRS, on ne peut en somme que le souligner une fois encore : tout en restant fidèle à ses idéaux fondateurs, il déploie des trésors de ressources, de talents, d'agilité, qui lui ont permis de valider une autre prophétie. Du fond de la geôle où le régime de Vichy le maintenait captif, Jean Zay regardait avec espoir l'avenir du CNRS : *« La tâche est désormais en cours ; elle est acquise ; elle suivra son impulsion, qui la grandira d'année en année. L'institution est fondée ; on s'étonnera plus tard qu'il ait fallu l'attendre si longtemps*[7]. » Quels que soient les vents et les marées, fixons-nous rendez-vous en 2039, pour les 100 ans du CNRS, afin de continuer à nous en émerveiller… II



© C. FRÉSILLON/CREHS/CRISTAL/IRHIS/LARHRA/LISIC CHROMELIGHT STUDIO/SCV/IRDIVE/CNRS PHOTOTHÈQUE

◣ Exploration du pont Notre-Dame projetée sur le TORE (The open reality experience). Le CNRS investit le champ des réalités virtuelles.

6. *« Faut-il brûler le CNRS ? »*, Droit de réponse, TF1, 23 novembre 1985. 7. Jean Zay, *Souvenirs et Solitude*, Belin, 2010, p. 318.

DR

# Hésitation vaccinale : la France championne du monde ?

**Jeremy Ward,**
chercheur au Groupe d'étude des méthodes de l'analyse sociologique de la Sorbonne[1]

**En plus du football, la France serait-elle la championne du monde du rejet des vaccins ? Plusieurs études internationales parues ces dernières années et couvrant jusqu'à 140 pays, l'ont en effet suggéré ou au moins placé la France dans le top 10 mondial des pays antivaccins.** Mais les attitudes et comportements de vaccination sont complexes et se laissent difficilement mesurer par les sondages. La spécificité française réside dans le fait que le phénomène a été davantage étudié ici qu'ailleurs. Nous savons que depuis dix ans, une part importante de la population nourrit des doutes (entre 25 % et 70 % selon les études) vis-à-vis d'un ou plusieurs vaccins, comme celui contre les papillomavirus ou contre l'hépatite B.

## Les controverses se multiplient

Internet et la montée de la défiance envers les institutions, voire envers la science suite à une série de scandales publics, ne suffisent pas à expliquer la diffusion du doute dans l'espace public.

Il faut rappeler trois phénomènes cruciaux, comme nous le faisons avec mes coauteurs dans une récente publication[2]. D'abord la controverse sur la campagne de vaccination contre la grippe A en 2009 (même si une controverse émerge à la fin des années 1990 autour du vaccin contre l'hépatite B). Puis ont suivi une succession de débats portant sur le vaccin contre les papillomavirus, le recours aux vaccins multivalents, et l'usage d'aluminium dans la composition du vaccin.

## Des médecins hésitent aussi

Les médecins eux-mêmes ne sont pas immunisés contre ces doutes. Une étude[3] réalisée en 2014 montre que près de 14 % des généralistes doutaient de l'utilité ou de la sécurité de certains vaccins et que près de 20 % d'entre eux pensaient que l'on vaccine contre trop de maladies. Cela traduit notamment la détérioration des relations entre médecins et autorités sanitaires dans un contexte de multiplication des scandales, de crise de financement de l'hôpital public et de négociations tendues autour de l'Assurance maladie.

**VACCINS MULTIVALENTS**

Vaccins qui immunisent contre plusieurs maladies, comme celui contre la diphtérie, le tétanos, la poliomyélite, la coqueluche, l'hépatite B et les infections à *Haemophilus influenzae* de type B, par exemple la méningite.

## Seuls certains vaccins sont ciblés

Traditionnellement, les « antivaccins » sont des militants qui n'ont jamais accepté le principe scientifique de la vaccination, préfèrent les médecines alternatives et nient la légitimité de l'État (corrompu) à s'introduire dans le corps de leurs enfants. Ces mouvements sont historiquement très peu puissants en France, notamment comparés aux États-Unis (débats sur le vaccin Diphtérie-Tétanos-Coqueluche au début des années 1980) ou à la Grande-Bretagne (sur la vaccination contre la coqueluche à la fin des années 1970).

Or ces nouveaux acteurs se distinguent des antivaccins traditionnels et restreignent leur critique à un nombre limité de vaccins ou de substances qu'ils contiennent tout en affirmant publiquement leur attachement au principe de la vaccination. Ils sont plus proches de mouvements sociaux mainstream (droits des patients, santé environnementale…) que des mouvements radicaux.

Ce positionnement explique en partie la succession des controverses évoquée plus tôt. Il permet à ces acteurs d'apparaître plus crédibles auprès du public, des journalistes et des médecins. Ce changement dans la critique se retrouve aussi au niveau du public : les doutes se concentrent sur ces vaccins controversés et une toute petite minorité rejette toute forme de vaccination.

## Une confiance à restaurer

Face à cette situation et à l'efficacité limitée des outils de communication à leur disposition, les autorités françaises ont opté pour la coercition. Depuis le 1er janvier 2018, les enfants doivent être à jour des 11 vaccins recommandés s'ils veulent être gardés en collectivité. Et depuis cinq ans de nombreux gouvernements ont renforcé leurs obligations et sanctions pour non-vaccination (Italie, Australie, Californie…) ou envisagent cette possibilité (Allemagne, Pologne…). Les obligations ont souvent eu pour effet d'augmenter les taux de vaccination, cependant, leur mise en place génère parfois de larges mouvements de résistance ainsi qu'une méfiance dans une importante portion du public, comme en ce moment en Allemagne.

Après un an, les premiers effets de cette nouvelle loi semblent être positifs. Les taux de vaccination ont augmenté et la part de Français ayant des doutes sur les vaccins semble avoir diminué. Mais près d'un tiers des parents se déclarent toujours opposés à ces obligations et plus de 20 % sont encore « hésitants ». Face à ces résultats encourageants, le risque est de devenir complaisant et laisser l'obligation faire tout le travail. Restaurer la confiance dans les vaccins ne peut que passer par un travail sur le système de santé dans son ensemble. **II**

Libération

**Une fois par mois, retrouvez sur lejournal.cnrs.fr les Inédits du CNRS, des analyses scientifiques originales publiées en partenariat avec *Libération*.**

Lire l'intégralité du point de vue sur **lejournal.cnrs.fr**

1. Unité CNRS/Sorbonne Université/FMSH. 2. « Vaccine hesitancy and coercion: all eyes on France », Jeremy K. Ward, Patrick Peretti-Watel, Aurélie Bocquier *et al.*, *Nature immunology*, 2 septembre 2019. 3. « Les médecins face à la crise de confiance dans la vaccination en France », P. Verger, *Médecine*, mars 2017.

# Un dessinateur chez les scientifiques

Lire l'intégralité de l'entretien sur **lejournal.cnrs.fr**

DR

SOCIÉTÉS

**Bande dessinée.** Avec *Dans le secret des labos*, Jean-Yves Duhoo nous entraîne dans les plus grands laboratoires de France, avec le concours du CNRS.

**PROPOS RECUEILLIS PAR** LAURE CAILLOCE

**Votre album rassemble 45 reportages réalisés au plus près des scientifiques. C'est un travail de vulgarisation impressionnant. Comment vous est venue cette idée ?**

**Jean-Yves Duhoo :** Cet album est la compilation de dix années de reportages réalisés pour le *Journal de Spirou*. C'est le rédacteur en chef qui m'a proposé en 2008 de réfléchir à une rubrique scientifique. En tant qu'ancien lecteur de *Spirou*, je ne pouvais pas refuser ! C'est ainsi qu'est née la rubrique « Le labo », que j'ai animée jusqu'en 2018.

**Aviez-vous une culture scientifique avant de vous lancer dans cette aventure ?**

**J.-Y. D. :** À l'école, les sciences n'étaient pas du tout mon domaine. C'est mon dessin, que je veux clair et lisible, qui m'y a conduit insensiblement et m'a amené de fil en aiguille à travailler sur des projets plus pédagogiques. Avant de démarrer « Le labo », je faisais déjà de petites illustrations pour la Cité des sciences. Mais je n'avais jamais rencontré de chercheurs. J'ai plongé dans un monde que je ne connaissais pas, ce qui n'est pas forcément un handicap : être naïf permet de ne pas arriver avec des idées préconçues et d'échapper au jargon.

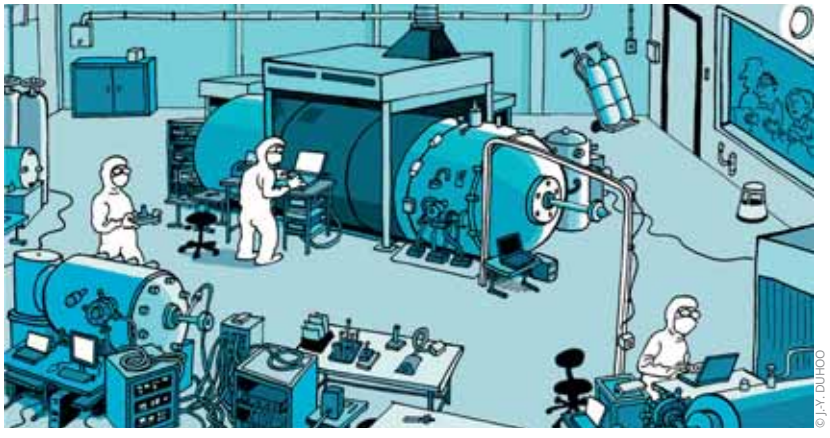
**Comment se sont passées les rencontres avec les chercheurs ?**

**J.-Y. D. :** Je ne connaissais rien à la recherche et je ne connaissais aucun scientifique ! Par relation, j'ai fini par dénicher un premier contact au laboratoire de neurosciences de Gif-sur-Yvette[1] (Essonne). J'ai eu peur de la réaction des scientifiques en me voyant débarquer avec ma carte de presse « Spirou » – ça fait moins sérieux que « La Recherche » ! –, mais ils ont été plutôt enthousiastes. Tout s'est ensuite fait par le réseau…

**On ne peut pas s'empêcher de remarquer votre attirance pour les laboratoires de physique…**

**J.-Y. D. :** Oui, il y a beaucoup de reportages en apparence très sérieux et complexes. Mais plus le défi est invraisemblable, plus ça me plaît ! La question importante pour moi, c'est « qu'est-ce que ça rendra au niveau visuel ? ». Il n'y a que les mathématiques fondamentales que je n'ai pas encore réussi à traduire en BD…

***Dans le secret des labos**, Jean-Yves Duhoo, éditions Dupuis, 2019, 192 p. en couleurs, 23 €.*


© J.-Y. DUHOO

Salle blanche de l'Institut d'astrophysique spatiale, où sont fabriqués les instruments destinés aux satellites.

**Comment réalisez-vous vos reportages BD ?**

**J.-Y. D. :** Il y a d'abord la visite du laboratoire, pendant laquelle je prends beaucoup de notes, mais aussi des photos des installations. Je fais ensuite mon scénario de mémoire, que j'envoie aux chercheurs. Puis je m'attaque au dessin à l'encre de mes planches. Je peaufine tout particulièrement les machines mais je ne vise pas la réalité documentaire. Une fois terminées, j'envoie mes planches aux chercheurs pour une ultime relecture, puis je passe à la mise en couleurs, par ordinateur.

**Quels sont les endroits que vous avez préférés ?**

**J.-Y. D. :** Le LHC (Large Hadron Collider), l'accélérateur de particules situé à la frontière franco-suisse où le boson de Higgs a pu être observé, est sans doute l'endroit qui m'a le plus impressionné : je me suis retrouvé à cent mètres sous la terre, au pied de machines grandes comme Notre-Dame !

**Quels sont vos projets aujourd'hui ?**

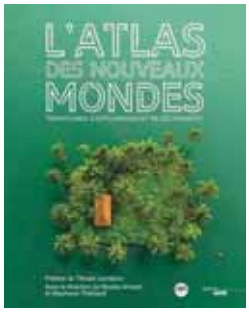
**J.-Y. D. :** « Le labo » s'est arrêté en 2018. *Spirou* envisage de le remplacer par une rubrique plus orientée sur l'environnement, mais je ne sais pas encore si je pourrai m'en occuper. En ce moment, je travaille à une nouvelle BD scientifique pour un autre éditeur : un album complet dédié aux neurosciences… II

1. Neuro-PSI, Institut des neurosciences Paris-Saclay (CNRS/Université Paris-Saclay).

## À lire

### L'ATLAS DES NOUVEAUX MONDES

**Des étendues soufrées de Dallol, en Éthiopie, où les scientifiques ont découvert de la vie contre toute attente, à l'exploration de la comète Tchouri,** des mangroves mouvantes de Guyane à l'incroyable diversité du plancton océanique, de la sauvegarde de la mémoire des glaciers de montagnes aux techniques de chasse des requins de Polynésie… ce beau livre édité à l'occasion des 80 ans du CNRS prouve que la science n'a pas fini de repousser les frontières de notre monde et de nous faire rêver, tout simplement.




***L'Atlas des nouveaux mondes. Territoires d'exploration et de découverte,*** *Nicolas Arnaud et Stéphanie Thiébault (dir.), Le Cherche midi, novembre 2019, 174 p., 28 €.*

### MYTHES ET HISTOIRE

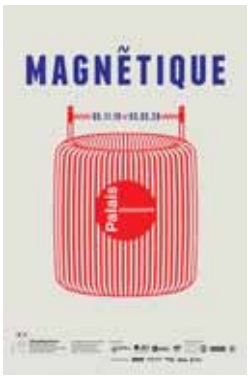
**Dieux et héros grecs ne sont pas seuls à avoir gardé une place dans la culture populaire contemporaine,** il en va de même de plusieurs grands rois de la haute Antiquité mésopotamienne dont les avatars modernes sont devenus des héros de BD, de jeux vidéo, voire des traitements contre l'impuissance masculine. Des rois parfaitement historiques dont, pour légitimer le pouvoir et celui leur descendance, on a bâti des légendes et qu'on a rattachés à des lignées divines. Confrontant mythes et Histoire, l'assyriologue Véronique Grandpierre nous propose ainsi de redécouvrir les épopées de Gilgamesh, Lugalbanda, Enmerkar ou Etana en les replaçant dans le contexte de la Mésopotamie du III[e] millénaire av. J.-C.

***Gilgamesh & Co. Rois légendaires de Sumer,*** *Véronique Grandpierre, CNRS Éditions, septembre 2019, 350 p., 22 €.*

## À voir

### UNE EXPOSITION ATTIRANTE

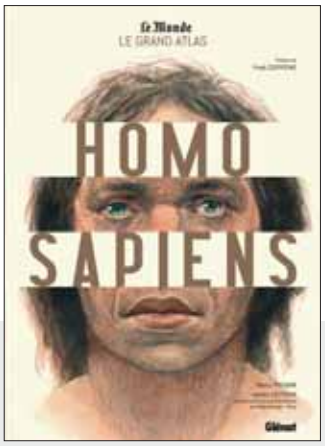
**N'importe quel enfant de 5 ans sait en quoi consiste le magnétisme : deux aimants qui s'attirent…** ou se repoussent à distance selon les pôles qu'ils présentent. Pourtant, même parmi ceux qui ont choisi les options scientifiques au bac, la plupart des adultes n'en savent pas vraiment plus sur ce phénomène bien physique qui ressemble un peu à de la magie. Sans recourir aux équations ou formules mathématiques, l'exposition Magnétique du Palais de la Découverte à Paris fait entrer le visiteur dans la matière, à l'échelle de l'atome, afin de comprendre ce qui confère aux matériaux leurs propriétés magnétiques.




***L'exposition Magnétique*** *se tient au Palais de la Découverte jusqu'au 3 mai 2020.*

» **palais-decouverte.fr/fr/au-programme/expositions-temporaires/magnetique**

Lire notre article « Les dessous du monde magnétique » sur **lejournal.cnrs.fr**




## La saga Sapiens

**Retracer l'histoire d'*Homo sapiens* en cartes, telle est l'ambition de ce grand atlas *Le Monde* édité par Glénat.** Très loin du vieux schéma d'une évolution linéaire de l'humanité qui conduirait à l'Homme moderne, l'ouvrage fait sienne l'histoire d'une évolution buissonnante : plusieurs sortes d'humanités ont coexisté à différentes époques de notre histoire, certaines se sont éteintes, d'autres ont continué d'évoluer, d'autres encore se sont hybridées… Certaines caractéristiques, comme la bipédie, sont apparues à plusieurs reprises chez différentes espèces.

Le livre, thématique, se déroule de manière chronologique, depuis l'apparition des premiers hominiinés en Afrique orientale il y a six millions d'années, jusqu'au peuplement de toute la planète par *Homo sapiens* initié il y a 90 000 ans. Il relate les découvertes majeures de fossiles en Afrique et hors d'Afrique, la mise au jour des premières traces de marche fossilisées, les pratiques culturelles, la coexistence entre Sapiens et Néandertal, les contraintes climatiques et géologiques qui ont contribué à façonner l'histoire du genre *Homo*.

Ce grand atlas trace dans une dernière partie consacrée au langage un parallèle original entre diversité linguistique, diversité génétique et diversité des écosystèmes – de nombreux groupes ethnolinguistiques différents se concentrant dans les « points chauds » de la biodiversité où se trouvent le plus grand nombre d'espèces vivantes. L'ouvrage, qui vise l'exhaustivité, n'oublie pas de rappeler que certains des scénarios évoqués au fil de ses pages restent aujourd'hui encore débattus dans la communauté scientifique. Car si l'on en sait toujours plus sur notre espèce, grâce à la découverte de nouveaux fossiles et aux outils récents comme la paléogénétique, les chercheurs n'ont pas fini d'en écrire l'histoire.

***Le Grand Atlas Homo Sapiens,*** *Telmo Pievani et Valéry Zeitoun, Glénat/Le Monde, novembre 2019, 208 p., 39,95 €.*

© FAO

# Comment lutter contre le déboisement en Amazonie ?

**Par Ludivine Eloy,** géographe au laboratoire Acteurs, ressources et territoires dans le développement[1], professeure invitée à l'Université de Brasília.

**Depuis plusieurs mois, l'Amazonie est au centre de l'attention planétaire, entre incendies incontrôlables et déclarations polémiques du président brésilien.** Cette crise symbolise les défis posés aux engagements internationaux pour lutter contre les changements climatiques et la perte de biodiversité. Elle témoigne également de l'escalade de la violence et des dégradations environnementales auxquelles font face les populations amérindiennes, traditionnelles et les petits agriculteurs du Brésil. Mais la médiatisation des feux élude souvent l'histoire sociale de cet espace et la complexité du problème.

## Le feu change de régime

Le Brésil connaît la plus grande quantité de départs de feux de ces neuf dernières années, couplée à l'accélération du déboisement en Amazonie (+15 % entre juillet 2018 et août 2019 par rapport à l'année antérieure[2]), totalisant près de 20 % de sa superficie originelle. Les feux se concentrent dans l'« arc du déboisement », qui borde le sud et l'est de la forêt. En pleine saison sèche, la plupart sont des brûlis de troncs secs accumulés dans des parcelles défrichées. Mais certains sont devenus incontrôlables, en raison notamment d'actions criminelles concertées.

Ce n'est pas forcément l'usage du feu en soi qu'il faut condamner, car il est utilisé comme moyen de gestion par les populations amazoniennes depuis 2000 ans et n'a jamais causé de pareils incendies. Mais le feu a tendance à se comporter différemment à cause du déboisement et des incendies qui modifient le climat et la structure de la forêt. Cette dernière devient plus sèche et plus sujette à de nouveaux incendies, qui s'étendent plus facilement dans les zones dégradées, modifiant encore la structure de la forêt et le climat local. Le feu pénètre dans des zones où il ne pénétrait pas avant, comme dans les aires protégées. Si le déboisement dépasse les 40 %, la forêt atteindra un point de rupture au-delà duquel elle ne pourra plus se régénérer[3].

Les conséquences de ces changements sont considérables : émissions de gaz à effet de serre, perte de biodiversité, mais aussi risque pour la régulation du climat à l'échelle continentale, dont dépend la production agricole et d'énergie hydraulique. Les populations amérindiennes et traditionnelles, qui pourtant ne contribuent pas au déboisement, sont aussi concernées. Par exemple, dans le territoire indigène du Xingu (TIX), encerclé par des monocultures de soja et des pâturages, les zones touchées par les feux sont dix fois plus étendues que dans les années 1980, avec de graves répercussions pour la sécurité alimentaire et la vie culturelle des habitants.

Facteur de propagation des incendies, le déboisement massif laisse place à l'agriculture intensive, comme cet immense champ de soja dans l'État de Roraima.

## Une question politique

Les racines de cette dégradation sont profondes. Le déboisement a commencé dans les années 1970 : il est le résultat de politiques publiques qui ont facilité l'avancée de la frontière agro-industrielle (colonies agricoles, crédits, routes, mines, grands barrages), « grignotant » la forêt de toutes parts. Au début des années 2000, le gouvernement a mis en place des programmes coordonnés de lutte contre le déboisement en partenariat avec la société civile et supportés par des financements internationaux : délimitation d'aires protégées, contrôle du déboisement illégal et accords commerciaux.

Malgré le « report » de la frontière agricole vers le Cerrado, le rythme de déboisement en Amazonie a sensiblement diminué à partir de 2004. Mais il est reparti à la hausse depuis 2012, en raison de la pression du lobby de l'« agribusiness », qui a abouti à une flexibilisation de la législation fédérale et à la fragilisation des instruments de surveillance. Même si cette reprise date de 2012, il est difficile de ne pas blâmer le gouvernement actuel qui démantèle les politiques environnementales (affaiblissement institutionnel et budgétaire du Fonds Amazonie, des institutions publiques et des ONG environnementales) et légitime la réduction et l'invasion des aires protégées au nom du développement économique.

L'agribusiness « durable » est présenté comme un secteur intensif et moderne, indispensable au développement du pays et pour nourrir le monde, image appuyée par le discours scientifique dominant. Ce modèle disqualifie d'autres systèmes de production agroécologiques plus diversifiés, qui sont pourtant bien présents mais menacés. Or, la délimitation de territoires amérindiens et

1. ART-DEV, unité CNRS/Université Paul-Valéry Montpellier 3/Cirad/Université de Montpellier/Université de Perpignan via Domitia 2. Données du système SAD de l'ONG Imazon. 3. Lovejoy, T. E., Nobre, C., « Amazon Tipping Point », *Sciences Advances*, 4(2):eaat2340, 2018. 4. Le Tourneau F.-M., « Quelle durabilité pour les territoires amérindiens d'Amazonie brésilienne ? », *Journal de la société des américanistes*, 102-1|2016, p. 167-193.

© L. ELOY

traditionnels est l'instrument le plus efficace pour contrer le déboisement, pour peu qu'on investisse dans le développement durable de ces territoires[4].

### Quel rôle pour la recherche ?

Dans le contexte de l'affaiblissement des structures publiques de recherche brésiliennes, certaines formes de coopération scientifique semblent prioritaires, notamment avec les institutions de recherche et les ONG régionales. Ceci afin d'alimenter les débats sur les modèles de développement en Amazonie et de contribuer, par des approches interdisciplinaires, aux politiques de gestion des aires protégées.

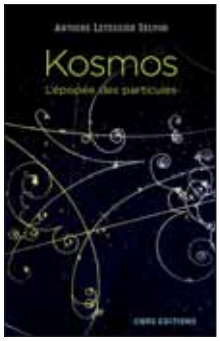
Les récents changements dans le régime du feu en Amazonie montrent qu'il ne sert à rien d'interdire son usage mais qu'il faut travailler à la prévention des incendies grâce à la gestion collective des espaces inflammables. Plus que jamais, la mise en œuvre de stratégies de contention du déboisement en Amazonie dépendra des relations entre l'État et la société civile, mais aussi de la capacité des chercheurs à dialoguer avec différents groupes sociaux et à prendre au sérieux les aspirations et les connaissances de ceux qui savent protéger la forêt. **II**

Lire l'intégralité du point de vue sur **lejournal.cnrs.fr**

## À lire

### L'ÉPOPÉE DES PARTICULES

**De la découverte de l'électron par J. J. Thompson en 1897 à celle du boson de Higgs en 2012 au LHC,** les progrès de la physique des cent dernières années ont été ponctués par la découverte de dizaines de particules plus ou moins élémentaires. Dans cet ouvrage écrit à la première personne, Antoine Letessier Selvon, physicien des hautes énergies au CNRS, nous fait revivre les différentes expériences qui ont permis aux chercheurs d'isoler, détecter, identifier et caractériser les différentes espèces du grand bestiaire des entités subatomiques. Une aventure scientifique et humaine qui mêle avec talent l'épopée historique et l'expérience personnelle et quotidienne du scientifique.




***Kosmos. L'épopée des particules,*** *Antoine Letessier Selvon, CNRS Éditions, coll. « Biblis », novembre 2019, 150 p., 10 €.*

### CHERCHEURS EN REGARDS

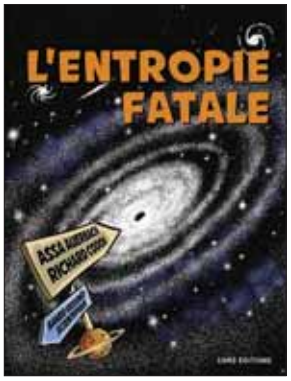
**Grâce à une vingtaine d'analyses et de témoignages,** dont ceux de l'historien Patrick Boucheron, auteur de l'*Histoire mondiale de la France*, et de la juriste spécialisée dans l'environnement, Sandrine Maljean-Dubois, ce petit manuel interroge la condition du chercheur en sciences humaines et sociales. Entre autorité et notoriété, de la légitimité à la reconnaissance médiatique, tous amoureux de leur métier, ils racontent la recherche vue de l'intérieur.

***Être un chercheur reconnu ? Jugement des pairs, regard des publics, estime des proches,*** *Marion Lemoine-Schonne et Matthieu Le Prince (dir.), Presses universitaires de Rennes, octobre 2019, 201 p., 20 €.*

### DES ABEILLES ET DES HOMMES

**Cet ouvrage collectif, rédigé par des chercheurs CNRS, Inra et des universitaires à la suite du premier colloque interdisciplinaire organisé sur les abeilles,** rassemble tout ce qu'il faut savoir sur cet insecte si précieux et si fragile. Qu'il s'agisse des liens qui nous unissent à lui depuis le néolithique, de son organisation sociale, de ses fascinantes capacités cognitives, mais aussi des menaces qui pèsent sur lui, au premier rang desquelles les pesticides, ou encore les nouvelles pratiques apicoles qui perturbent la génétique de l'abeille… Un ouvrage facile d'accès, joliment mis en page et richement illustré, édité avec le concours du CNRS.

***Abeilles. Une histoire intime avec l'humanité,*** *Martine Regert (dir.), Le Cherche midi, novembre 2019, 160 p., 24,90 €.*




### L'ENTROPIE EN BULLES

**Cette amusante BD permet de comprendre les lois fondamentales de la physique grâce au démon de Maxwell.** Expérience de pensée imaginée par James Clerk Maxwell en 1867, cet être fictif serait capable d'ouvrir ou de fermer à loisir une petite porte à la face d'atomes en pleine agitation. Et par là même, il permettrait de violer la seconde loi de la thermodynamique (science des grands systèmes en équilibre) et de… sauver le monde de la crise de l'énergie !
Les dix chapitres de ce récit seront un vrai phare dans la nuit pour les étudiants qui s'arrachent les cheveux sur la notion d'entropie.

***L'Entropie fatale,*** *Assa Auerbach et Richard Codor (illustrations), CNRS Éditions, novembre 2019, 136 p., 15 €.*

***Thierry Aubin,*** **directeur de recherche CNRS à l'Institut des Neurosciences Paris-Saclay (Neuro-PSI)[1]**

# *"Je me souviens…*

**PROPOS RECUEILLIS PAR** ROMAIN HECQUET

*…du brouhaha de cette colonie de 80 000 manchots royaux, en 2001, sur l'une des cinq îles de l'archipel Crozet, en Antarctique. Nous nous demandions comment les parents et leurs poussins faisaient pour se reconnaître dans cette foule aussi bruyante que le périphérique parisien ! D'autant qu'ils ne se distinguent pas par la vue mais par la voix. Les parents partent chasser pendant une dizaine de jours et à leur retour, ils parcourent la colonie en criant. C'est à ce moment-là que j'abaisse le micro situé à l'extrémité de la perche que j'ai en main. Nous attendons ensuite que l'un d'eux reparte en mer et diffusons son cri au milieu de la colonie à l'aide de hauts parleurs. Et là magie, le poussin accourt ! En testant différents paramètres acoustiques, nous avons été les premiers, avec Pierre Jouventin, à décrypter le langage des manchots dans leur zone de nidification. Désormais, avec des équipes sud-africaines, je m'intéresse aux sons qu'ils émettent sous l'eau, et au rôle que pourraient avoir ces sons dans leurs activités de pêche."*

PHOTO : PIERRE JOUVENTIN/CNRS PHOTOTHÈQUE

1. Unité CNRS/Université Paris-Saclay.

# On se valorise ?

Où l'on découvre l'Anvar du décor.

Dans cette nouvelle anecdote sur l'histoire de l'organisme, on comprend que pour valoriser la recherche, il faut non seulement exploiter les découvertes, mais aussi pousser les murs !

**Dans les années 1960,** au siège du CNRS, dans un tout petit bureau de 4 m², s'entassent des piles de dossiers. Des archives abandonnées ? Non ! Cette petite salle est en fait très importante, c'est le service des brevets.

**Un brevet, c'est un titre de propriété sur une invention,** qui permet de prouver qu'on en est bien l'inventeur. On peut ensuite céder le brevet contre de l'argent, ou accorder une licence à des entreprises, qui vont exploiter commercialement l'invention en reversant une redevance : les royalties.

**Le service, dirigé par le professeur Volkringer,** est donc chargé de « faire breveter » ce qui sort des laboratoires du CNRS. Seulement voilà, 4 m², ce n'est vraiment plus possible !

**Car la France a besoin d'innovations,** et le CNRS veut montrer que ses recherches, financées par des fonds publics, peuvent être rentabilisées en débouchant sur des applications concrètes, dans l'intérêt économique du pays. C'est ce que l'on appelle la « valorisation » de la recherche.

**En 1967, l'Agence nationale de valorisation de la recherche, l'Anvar**, est ainsi créée par réforme au sein du CNRS. Sa mission : évaluer la valeur économique des inventions du CNRS, trouver les industriels intéressés et leur vendre des licences pour qu'ils en fassent bon usage.

**Cette passerelle entre la recherche fondamentale et l'économie** est rapidement récupérée par le ministère de l'Industrie. Et en 2005, quand l'Anvar est réformée et fusionne avec la Banque de développement des PME, pour créer Oséo, qui deviendra BPI France, peu de gens se souviennent qu'elle est née au CNRS… dans 4 m². II

Retrouvez avec Science tips cette anecdote et bien d'autres, sur le site des 80 ans du CNRS
» **80ans.cnrs.fr**

© ILLUSTRATION : S. TRAPIER

2019 - 2020
ANNÉE DES MATHÉMATIQUES
LES MATHS SONT VIVANTES !
Des formations pour les enseignantes et les enseignants
Des événements grand public
Retrouvez toutes les infos sur :
annee.math.cnrs.fr
cnrs
2019
année
2020
des
mathématiques

LA SAGA DE...
Dans les carnets de Léonard
500 ANS APRÈS
SAGASCIENCE.COM/LEONARD-DE-VINCI
&cnrs
Depuis 80 ans, nos connaissances bâtissent de nouveaux mondes

# CARNETS DE SCIENCE

**La revue du CNRS** #7

**#7 actuellement en vente en librairie et Relay**

200 pages / **12,50 €**

cnrs **CNRS EDITIONS**

www.carnetsdescience-larevue.fr