

Trimestriel n° 306
NOVEMBRE 2021

CNRS

LE JOURNAL



Climat :
le CNRS aux
avant-postes

La recherche,
pilier et avenir
de l'Europe

Quand le CNRS fait
laboratoire commun
avec les entreprises

Le télescope James Webb
à la découverte
de l'Univers ancien

SOUTENEZ LA RECHERCHE

FAITES UN DON À LA FONDATION CNRS



Le CNRS développe une recherche libre, dans tous les domaines, au meilleur niveau international et sur le long terme. Pour contribuer à faire avancer les connaissances, répondre aux grands défis de notre société et innover : soutenez la recherche, faites un don à la fondation CNRS.

CNRS LE JOURNAL

Rédaction :

3, rue Michel-Ange - 75794 Paris Cedex 16
Téléphone : 01 44 96 40 00

E-mail : lejournald@cnrs.fr

Le site Internet : <https://lejournald.cnrs.fr>

Anciens numéros :

<https://lejournald.cnrs.fr/numeros-papiers>

Directeur de la publication :

Antoine Petit

Directrice de la rédaction :

Sophie Chevallon

Directeur adjoint de la rédaction :

Fabrice Impériali

Rédacteur en chef :

Matthieu Ravaut

Rédactrice en chef adjointe :

Charline Zeitoun

Chefs de rubrique :

Laure Cailloce, Saman Musacchio, Yaroslav Pigenet

Rédactrices :

Sophie Félix, Laurence Stenvot

Ont participé à ce numéro :

Kheira Bettayeb, Anne-Sophie Boutaud, Anaïs Culot, Sebastián Escalón, Denis Guthleben, Martin Koppe, Sylvie Rivière, Matthieu Stricot

Secrétaire de rédaction :

Émilie Silvoz

Direction artistique :

David Faure

Iconographes :

Anne-Emmanuelle Héry, Katherine Kay-Mouat, Sophie Léonard

Gestionnaire :

Mathieu Chatellier

Assistant de direction :

Frédéric Roman

Illustrations :

Blexbolex/Illustrissimo
Emmanuel Polanco/Colagene Paris

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 :

Emmanuel Polanco pour Colagene Paris

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

Abonnez-vous gratuitement sur :

» lejournald.cnrs.fr/abojournal

Suivez l'actualité de la recherche avec le CNRS



Six mois après le lancement d'Horizon Europe, la vision d'une Europe fédératrice et inclusive n'a jamais été aussi marquée. Que ce soit pour traiter des enjeux globaux ou encourager l'innovation, le nouveau programme-cadre de l'Union européenne propose en effet de changer de paradigme en co-construisant des approches interdisciplinaires et partenariales avec des acteurs des mondes académiques, socio-économiques, culturels..., au sein et hors de ses frontières. Si cette vision fait écho à celle que promeut le CNRS, elle représente un défi au regard des pratiques à adapter ou à inventer et ce, dans une géopolitique complexe : coopérer avec nos homologues anglais ou chinois n'a aujourd'hui plus rien d'immédiat.

Parce qu'il est le plus grand organisme de recherche en Europe, le CNRS se doit de défendre la recherche fondamentale qui justement se nourrit des coopérations, du partage des connaissances et des idées, et irrigue les voies de l'innovation. C'est avec cet état d'esprit qu'il a décliné sa stratégie européenne dont la vocation est de mettre les bonnes articulations entre « ceux et celles qui font l'Europe au CNRS » pour mieux participer aux programmes européens : porteurs de projet, experts scientifiques et de l'ingénierie de projet, influenceurs, chacun et chacune dans son champ de compétences et dans une complémentarité entre les directions centrales à Paris, le Bureau à Bruxelles, les délégations régionales et les unités de recherche.

*“C'est un CNRS
volontariste
et influent qui
apportera en 2022
son éclairage à
la présidence
française de l'UE.”*

Plus globalement, le CNRS s'organise pour être acteur de la construction de l'Espace européen de la recherche dont la nouvelle gouvernance repose sur des principes clés tels que l'éthique, l'intégrité, l'égalité des chances, la création d'impacts économiques et sociétaux. Le CNRS veille à ce que ses positions s'enrichissent d'un dialogue de confiance avec ses partenaires nationaux et européens. Le groupe G6 qu'il constitue avec ses homologues allemands, espagnol et Italien, illustre une Europe qui se renforce grâce à leurs positions communes comme sur le soutien à la science fondamentale ou la science ouverte. Des groupes inter-

disciplinaires dits « miroirs », reflétant les axes d'Horizon Europe, sont un autre vecteur d'influence majeur pour le CNRS. Ce besoin de se fédérer a également motivé la création de la Maison Irène et Frédéric Joliot-Curie rassemblant les acteurs de l'ESRI français et ouvert à toute personne souhaitant aller à Bruxelles pour bénéficier de conseils.

Enfin, c'est un CNRS volontariste, influent, à l'écoute des scientifiques qui apportera en 2022 son éclairage à la présidence française de l'Union européenne. Des événements portés par notre organisme mettront notamment en lumière la science fondamentale avec les porteurs d'ERC, les liens Europe-Afrique, le bien-fondé des mobilités avec ceux et celles qui ont choisi l'Europe, et en particulier nos unités de recherche.

Christelle Roy,
directrice Europe de la recherche et coopération
internationale (Derci) du CNRS



© FRÉDÉRIQUE PLUS/CNRS PHOTO THÈQUE



GRAND FORMAT

11

La recherche, avenir de l'Europe	12
Des ballons dans le ciel de l'Arctique	24
Quand le CNRS fait laboratoire commun avec les entreprises	30

© S. SOLWAY



8

Iris Brémaud
Le bois, l'art
et la matière

© CHRISTOPHE HARGOLLES/CNRS PHOTO THÉO

EN PERSONNE 5

Climat : les scientifiques du CNRS aux avant-postes	6
Iris Brémaud : le bois, l'art et la matière	8
Prix et nominations	10



Mars
Le cratère Jezero
était bien un lac

52

© NASA/JPL-CALTECH

EN ACTION 39

Le télescope James Webb à la découverte de l'Univers ancien	40
Une ambition commune pour la recherche française	42
La mécanique de la banquise	44
Sur la piste des génomes artificiels	46
Brèves	48
Quand Van Eyck inventait la réalité virtuelle	50
Mars : le cratère Jezero était bien un lac	52
Mathématiques : 100 ans d'union	54



**Les nouvelles
frontières
du vivant**

56

© JASMIN WEIDMANN/GETTY IMAGES

LES IDÉES 55

Les nouvelles frontières du vivant	56
« <i>Mein Kampf</i> reste une source irremplaçable pour la compréhension du nazisme »	58
Dune : anatomie de l'Épice	60
Le sol, cet inconnu qu'on piétine	62

CARNET DE BORD

Nicolas Goepfert nous raconte un souvenir de recherche 64

LA CHRONIQUE

L'Europe, une solidarité de fait 66

EN PERSONNE



*Aux côtés des spécialistes du climat
qui tentent de convaincre les décideurs
du monde, et d'une chercheuse
véritablement éprise du bois.*

Climat : les scientifiques du CNRS aux avant-postes

TERRE

ENVIRONNEMENT Alors que la COP26 vient de s'achever sur un constat mitigé, gros plan sur le rôle des scientifiques et les engagements du CNRS face au dérèglement climatique.

PAR LAURENCE STENVOT

C'est finalement le 13 novembre, avec un jour de retard, que le rideau s'est tiré à Glasgow sur la 26^e Conférence des Parties (COP26). Avec un bilan en demi-teinte de l'aveu même de la plupart des représentants officiels. Le Pacte de Glasgow comprend assurément des avancées importantes, actant entre autres l'impératif de réduction du recours aux énergies fossiles. Mais les ambitions – notamment financières – semblent trop limitées pour contrer rapidement les trajectoires climatiques actuelles. Si la volonté politique continue donc de faire défaut à l'échelle internationale, l'événement a été l'occasion de réaffirmer le rôle majeur de la recherche sur le sujet climatique. « *La société n'a jamais eu autant besoin de science pour dresser un bilan global, mais aussi pour mesurer l'impact des engagements pris par les États* », avance Nicolas Arnaud, directeur de l'Institut national des sciences de l'Univers (Insu) du CNRS. Et les scientifiques du CNRS sont en première ligne.

Une expertise pour l'avenir

Tous les jours, plus de 2 000 chercheurs et chercheuses œuvrent en effet au sein de l'organisme pour étudier l'écosystème et le climat de notre planète. Dans le dernier rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (Giec), publié en août dernier et qui conclut sans aucune ambiguïté à l'origine humaine du dérèglement climatique, « *le CNRS est majoritaire en termes de sources bibliographiques, d'auteurs, ou encore de rapporteurs. Il est le premier contributeur de savoir mondial du Giec* », indique Nicolas Arnaud. Or ce sont les rapports du Giec qui permettent aux États de préparer les réponses lors des COP annuelles.

Cette expertise permet également de dessiner des pistes pour l'avenir. « *Une de ces solutions se trouve dans les approches interdisciplinaires capables de prendre en compte la complexité des enjeux* », soutient Stéphane Blanc,

directeur de l'Institut écologie et environnement (Inee) du CNRS. La science de la durabilité, qui permet d'approcher cette complexité, est particulièrement développée au CNRS, « *doté de deux jambes qui font sa force : l'excellence thématique de ses communautés et leur capacité à construire des parcours interdisciplinaires entre elles* », décrypte Nicolas Arnaud. En témoigne le groupement de recherche ClimaLex qui rassemble des chercheurs de différents instituts. « *Les observatoires dont le CNRS dispose sont également des éléments sur lesquels appuyer nos projets* », analyse Marie Gaille, directrice de l'Institut des sciences humaines et sociales (InSHS) du CNRS.

Le dernier rapport du Giec insiste sur un point important : « *les modélisations et simulations montrent que toute action – ou inaction – aujourd'hui aura un effet dans les dizaines d'années qui viennent. Il n'est donc pas trop tard* », assure Nicolas Arnaud. Et ces actions doivent être diversifiées : « *On ne peut cibler uniquement la limitation d'émissions de gaz à effet de serre, car la réhabilitation des zones humides aura également un impact important, ajoute Stéphane Blanc. Il faut réattribuer à la nature ses fonctions premières.* » Un objectif qui reste difficile à l'échelle de la planète.

« *Nous sommes dans un moment de redéfinition des alliances et des rapports de force entre les différentes zones du monde. Or certaines souhaitent continuer leur développement économique parfois au mépris de l'atténuation du dérèglement climatique ; la problématique du développement soutenable n'est pas la même pour tous et certains pays seulement sont prêts à prendre des mesures contraignantes* », décrypte Marie Gaille qui rappelle aussi que « *les chercheurs en droit sont là pour interpréter comment les États s'emparent du sujet.* »

L'inégale prise de conscience

Pallier les inégalités entre pays et au sein des populations constitue un défi majeur, qui apparaît aussi dans les Objectifs de développement durable (ODD) des Nations unies qui visent le développement des populations, la limitation de la pauvreté, la préservation de l'environnement, tout en laissant à chacun une capacité à évoluer. « *Les scientifiques doivent aider les populations à se projeter dans l'adaptation et dans la résilience et montrer qu'une transformation est possible en plus d'être nécessaire. Mais nous*



À lire :
Carnets de science #11, dossier « *Climat. Notre avenir en question* », en librairie.



devons aussi rendre plus appropriables les travaux des scientifiques par la société», indique Agathe Euzen, directrice adjointe de l'Inee.

« Il y a une prise de conscience, mais surtout chez les plus jeunes, relève Nicolas Arnaud. Les risques ne sont pas appréhendés de la même façon par l'esprit humain selon que leur impact est immédiat ou retardé. De plus, un certain nombre de lobbyistes n'ont pas aidé, créant un doute sur les origines du dérèglement climatique. » « Ces questions autour de la

► La COP26 s'est tenue du 1^{er} au 13 novembre à Glasgow, en Écosse.

prise de conscience font écho à un certain nombre d'interrogations en santé publique sur le comportement, ajoute Marie Gaille. Est-ce que les personnes sont prêtes à accepter toutes les implications de cette prise de conscience – en termes d'usages et de consommation par exemple ? Nous l'ignorons encore, mais observons des changements à tous les niveaux et, contrairement à ce qui peut être avancé, les classes populaires ne sont pas nécessairement moins réceptives à ce message. »

Un objectif est de déconstruire l'idée qu'adopter un comportement plus écologique est « un sacrifice ». « On ne met pas assez en avant que changer peut dire "aller mieux", insiste Agathe Euzen. Aujourd'hui, si l'économie prime, il est nécessaire de reconsidérer les valeurs sociales et environnementales et les intégrer davantage. » Les travaux scientifiques peuvent y contribuer, mais rien ne pourra se faire sans la société civile.

Le CNRS – qui mène aussi une réflexion sur l'impact environnemental de ses propres activités – a d'ailleurs « une capacité d'action pour atteindre les lieux de décisions politiques à l'échelle internationale, nationale, et des territoires », explique Nicolas Arnaud, qui se veut optimiste pour l'avenir, mais mesure les limites de l'engagement scientifique : « Nos connaissances sont là. Reste aux pouvoirs décisionnaires à les prendre en compte. » ||

L'Océan à la une

À Glasgow, la journée du 5 novembre était marquée du sceau de l'océan, avec OneOceanScience. Lancée dix jours plus tôt par l'Ifremer, le CNRS et l'IRD avec le soutien de la Plateforme Océan & Climat (POC) et la participation de Thomas Pesquet et de l'Agence spatiale européenne, cette campagne internationale avait pour but d'expliquer le rôle majeur des océans sur le climat et l'importance des sciences océaniques. Les vidéos réalisées dans ce but par 37 organismes de 33 pays ont rencontré une très large audience sur les réseaux sociaux.

En savoir plus : <https://oneoceanscience.com/>



Lire l'intégralité de l'article sur CNRS Info <https://bit.ly/3n1YGhZ>

Iris Brémaud

Le bois, l'art et la matière

VIVANT



SOCIÉTÉS



Entre le métier de chercheur et celui d'artisan, il n'y a parfois qu'un outil. Un rabot à main par exemple. Cette proximité, Iris Brémaud, chercheuse au Laboratoire de mécanique et génie civil (LMGC) de Montpellier¹, la vit au quotidien depuis près de vingt-cinq ans. Son fil rouge : le bois. Ou plutôt les bois, leur diversité et les usages, techniques et culturels, qu'en fait l'humanité. Patiemment, essence après essence, celle qui a choisi d'être scientifique par amour des plantes et de la lutherie étudie les facteurs mécaniques, biologiques et culturels qui ont fait l'histoire de ce matériau aux mille visages, ouvrant de nouvelles perspectives avec les chercheurs et artisans du monde entier qu'elle fédère autour de ce sujet.

Les racines d'une vocation

Cette passion trouve ses racines en plein cœur des Cévennes dans une zone rurale de montagne où Iris Brémaud grandit et développe une sensibilité forte au monde végétal. Là, loin de la ville, elle suit l'école à la maison. Son temps libre, elle le consacre à l'apprentissage de la musique et du travail du bois. Elle commence par de toutes petites réalisations, un peu d'ébénisterie, quelques sculptures et puis, une première guitare. Adolescente, elle renforce sa pratique en apprenant les bases du métier dans les manuels techniques, à partir de sources scientifiques ou histo-

ANISOTROPE

Se dit d'un matériau dont la structure et les propriétés varient selon ses différentes directions, comme le fil du bois (longitudinale).

PORTRAIT Naviguant entre la mécanique, l'ethnologie, la biologie et... la lutherie, Iris Brémaud cherche à comprendre la diversité et la complexité du bois, matériau qui a accompagné l'humanité tout au long de son histoire.

PAR ANNE-SOPHIE BOUTAUD

riques. « Cette autonomie m'a donné le goût d'apprendre. Mais surtout, de comprendre : j'étais également passionnée par les sciences ; et, par-dessus tout, je souhaitais aussi contribuer à des enjeux écologiques », se souvient-elle.

Sa maîtrise de biologie végétale en poche, Iris Brémaud part en 1999 pour l'Angleterre suivre un apprentissage chez un grand luthier. C'est un déclic. « J'étudiais quelque chose que je ne connaissais pas vraiment. D'où le besoin d'apprendre plus de finesses sur le bois par une pratique plus avancée. Mais, paradoxalement, c'est finalement à partir de questions posées par la pratique en atelier que j'ai décidé de devenir chercheuse... », confesse-t-elle. Épicéa, érable, buis, palissandre ou pernambouc, chaque essence détient des qualités différentes... et le bois de lutherie est en fait un excellent cas d'étude : « Son choix repose sur des aspects culturels, sensoriels, acoustiques, mécaniques et esthétiques sur lesquels il existait un vrai manque de connaissances », poursuit-elle.

En 2002, toujours entre science et lutherie, elle débute sa thèse à l'université de Montpellier et au laboratoire des bois du Centre de

coopération internationale en recherche agronomique pour le développement, sur les différents bois utilisés ou utilisables en facture d'instruments de musique.

À la croisée des regards

Tout en poursuivant son exploration de la diversité des bois, notamment les origines physico-chimiques de leurs propriétés, Iris Brémaud part à la découverte d'autres usages dans différentes cultures, à Kyoto notamment, au Japon, où le bois est omniprésent. « J'y ai découvert l'importance de ce matériau dans le paysage sonore ainsi que dans toute la diversité d'artisans de très haut niveau, reconnus au Japon comme un patrimoine immatériel majeur », se souvient-elle. Au fil de ces années, elle étudie près de 450 espèces de bois afin de constituer une base de données précise sur leurs propriétés vibratoires, anisotropes et colorimétriques.

En parallèle, la chercheuse recense les usages des bois dans plus de cent instruments, dont ceux – peu étudiés – des musiques traditionnelles du monde entier. Puis elle cherche à comprendre les modalités fines de choix de bois par une

1. Unité CNRS/Université de Montpellier. 2. Symposium International Wood Science and Craftsmanship, 2014, Montpellier. 3. Du genre botanique *Dalbergia*, qui compte plus de 200 espèces sur tous les continents tropicaux. 4. <http://www.lmgc.univ-montp2.fr/perso/iris-bremaud/ongoing-projects/>



© CHRISTOPHE HARGOLLES/CNRS PHOTOTHÈQUE

► Iris Brémaud, ici au LMGC de Montpellier, le 31 août 2021, pose avec un luth qu'elle avait réalisé en 2020 pendant son apprentissage.

communauté d'artisans sur un terrain plus ciblé : la lutherie violon. « À travers les millénaires et les cultures, les usages des bois par les groupes humains se sont développés en lien direct avec les propriétés du matériau, explique Iris Brémaud, mais aussi avec les ressources forestières disponibles et leur formidable diversité, et en fonction des relations que les sociétés humaines ont entretenues avec le règne végétal. »

En 2013, elle entre au CNRS et intègre l'équipe Bois au LMGC. Elle se lance alors avec succès dans la création d'un symposium² croisant les regards européens et japonais (plus de 130 personnes de 15 pays différents se déplaceront pour la 1^{re} édition), toujours dans le but de faire dialoguer artisans-chercheurs et chercheurs-artisans, exerçant en

atelier ou en laboratoire. « Cela répondait à une attente et a permis à chacun de se découvrir des proximités », se réjouit-elle. Plus en avant, ses recherches l'ont conduite à s'interroger sur l'avenir des bois d'artisanats, touchés eux aussi par les bouleversements socio-écologiques.

Des humains et des bois

De fait, sur plus de 60 000 espèces d'arbres identifiées, au moins 9 600 sont aujourd'hui menacées d'extinction. « C'est un paradoxe : les arbres, qui aujourd'hui pourraient atténuer les bouleversements environnementaux auxquels nous faisons face, sont eux-mêmes impactés par ces changements globaux », déplore-t-elle. En dépit de l'importance culturelle et technique de ces bois, et de l'urgence en termes de conservation, il

n'existe que très peu de données sur les propriétés physico-mécaniques et acoustiques de ces bois. La chercheuse tente désormais d'aborder ces questions au travers d'espèces emblématiques.

Les palissandres³, par exemple, sont des espèces majeures dans la fabrication d'instruments de musique des différents continents. Ces bois tropicaux précieux sont utilisés par les artisans dans de très faibles volumes avec peu d'impact sur les ressources naturelles. « Mais ces dernières années, la consommation industrielle a explosé, notamment en Chine », explique Iris Brémaud, surtout pour du mobilier massif de luxe – bois de « hongmu ». La Convention sur le commerce international des espèces menacées a d'ailleurs inscrit en 2017 les palissandres sur la liste des espèces protégées.

Autres causes mais même sort depuis 2007 pour le pernambouc (Pau Brasil ou « bois de braise »), l'arbre national du Brésil qui, dès la fin du XVIII^e siècle, devient le bois archétype des archets de violons. « Tous ces bouleversements se répercutent sur le travail des artisans, victimes collatérales de cette surexploitation », regrette-t-elle. La chercheuse entend bien tirer parti du statut culturel des bois d'artisanats et de lutherie pour alerter sur ces problématiques plus globales de perte de biodiversité végétale.

Avec le projet Time4WoodCraft⁴, Iris Brémaud souhaite aujourd'hui se rapprocher davantage des spécialistes en sciences humaines et sociales et en sciences de l'environnement, pour explorer les dimensions multiples du temps dans les artisanats du bois et dans les bois d'artisanats. « Il est temps de repenser nos rapports au temps et à l'environnement, entre le temps mesurable et le temps perçu, entre le temps physique et les temps du vivant – de l'arbre ou de l'humain », conclut-elle. ▮



© AUDREY DUSSETOUR

Des milliers de volontaires pour le blob

Le blob superstar ! La semaine du 11 octobre dernier, les élèves de plus de 4 500 classes ont déjà pu s'initier à la démarche scientifique en élevant un blob, dans le cadre d'une expérience lancée par le Cnes et le CNRS. Mais ce n'était qu'un début : des dizaines de milliers de volontaires se sont proposés pour la prochaine expérience de science participative du CNRS. Intitulée « Derrière le blob, la recherche », elle doit se tenir au printemps 2022 et permettra d'étudier les effets du changement climatique sur le blob.

Plus d'infos : <https://bit.ly/328yQ3R>

Christine Noiville présidente du Comets

Depuis le 1^{er} octobre, Christine Noiville est la présidente du comité d'éthique du CNRS. Directrice de recherche au CNRS, elle a consacré ses travaux aux liens entre le droit et les évolutions scientifiques et technologiques. Elle a à ce titre beaucoup travaillé sur les biotechnologies, la bioéthique, le principe de précaution, l'évolution du droit des brevets ou encore l'encadrement de la recherche et de l'expertise. Elle succède à Jean-Gabriel Ganascia à la tête du Comets.



© DELÉCATION PMA / CNRS

Jean-Pierre Luminet récompensé par l'Unesco



© EMMANUEL ROBERT-ESPAILLE/PALETTE/EMAG

Le 5 novembre, dans le cadre de la Journée mondiale de la science au service de la paix et du développement, l'astrophysicien et cosmologiste Jean-Pierre Luminet a reçu le Prix Unesco-Kalinga de vulgarisation scientifique 2021. Le jury international a choisi le directeur de recherche au CNRS pour son engagement et ses publications, « modèles de transmission du savoir scientifique au public ».

Plus de 1 100

personnes ont participé à une des 84 visites insolites organisées début octobre par le CNRS à l'occasion de la Fête de la science 2021. D'un lac alpin à la baie du Mont Saint-Michel, en passant par le four solaire d'Odeillo, elles ont pu découvrir dans toute la France des installations ou expériences exceptionnelles, en tête à tête avec les scientifiques.



© LAURENT REVELLIN-FALCOZ - CNRS ALPES

Visite insolite autour du lac de Laffrey (38) pour étudier le plancton d'eau douce avec des intervenants du LIPhy et du LPCV.

Le Suisse Yohann Thenaisie lauréat de MT180

Le 30 septembre dernier, le Studio 104 de la Maison de la radio et de la musique, à Paris, accueillait la grande finale internationale du concours « Ma thèse en 180 secondes », organisée par le CNRS et la Conférence des présidents d'université (CPU). C'est le Suisse Yohann Thenaisie, doctorant en neurosciences de l'université de Lausanne, qui remporte le 1^{er} prix du jury. Aminata Sourang Mbaye Diouf, doctorante de l'université Cheikh Anta Diop de Dakar (Sénégal) et Manhougbe Probus A. Farel Kiki, de l'université d'Abomey Calavi (Bénin) ont reçu respectivement les 2^e et 3^e prix, tandis que Prince Makay Bamba de l'université de Kinshasa (République démocratique du Congo) s'est vu attribuer le Prix du public.



© DAVID BELLAUTRE - CPU - CNRS

Le Conseil d'administration se renouvelle

La composition du Conseil d'administration du CNRS change pour la mandature 2021-2025. Douze personnalités ont ainsi été nommées à compter du 24 novembre. Parmi eux, quatre personnalités scientifiques : Jean Dalibard, Nathalie Dompnier, Fabiola Gianotti et Bruno Maquart ; quatre personnalités représentatives du monde du travail : Marko Erman, Hélène Cazaux-Charles, Alexandra Prieux et Hélène Valade ; et quatre du secteur économique et social : Nicolas Cudré-Mauroux, Paul-François Fournier, Benjamin Bertrand et Sophie Paturle Guesnerot. Six membres élus par les personnels rejoignent aussi le Conseil d'administration : Boris Gralak, Maud Leriche-Kilijjian, Claudia Zlotéa, Pierre-Yves Saillant, Constantina Bacalexii et Carole Le Cloierec.

GRAND FORMAT



*Une enquête sur l'Europe
façonnée par la recherche,
un tour en ballon et un panorama des
laboratoires créés avec des entreprises.*

*La recherche,
avenir
de l'Europe*



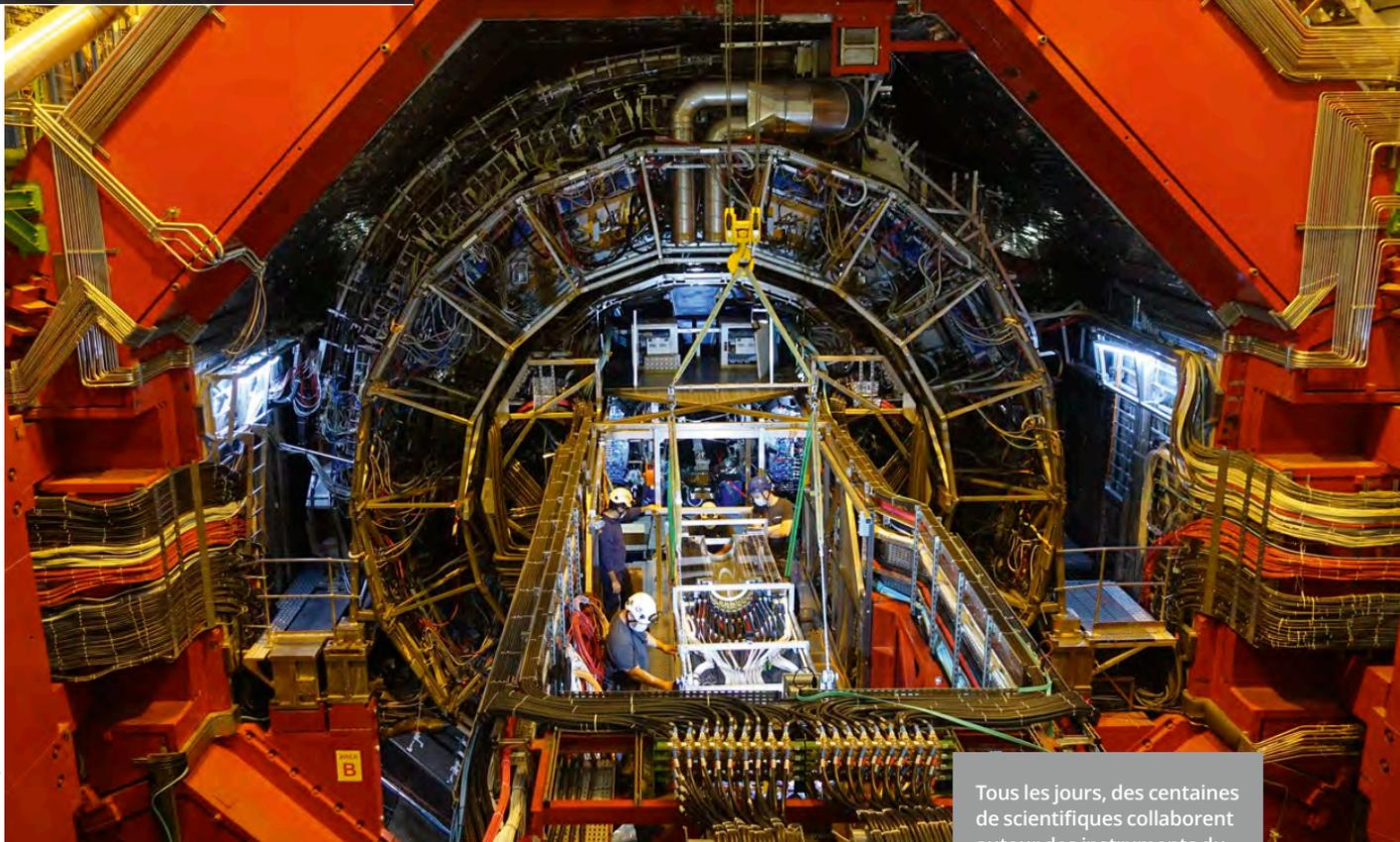


Alors que la France s'apprête à prendre la présidence du Conseil de l'Union européenne au premier semestre 2022, la recherche scientifique s'impose comme l'un des piliers de la construction européenne. Quelles sont les particularités et les valeurs de l'Europe en la matière ? Quelle est la stratégie du CNRS ? Quel intérêt pour les scientifiques à se pencher sur les dispositifs européens ? *CNRS Le journal* a mené l'enquête.

DOSSIER RÉALISÉ PAR SOPHIE FÉLIX ET LAURENCE STENVOT
ILLUSTRATIONS EMMANUEL POLANCO / COLAGENE PARIS

À u premier semestre 2022, pour la première fois depuis 2008, la France prendra la tête du Conseil de l'Union européenne (UE). Avec un objectif : construire une Europe « plus solidaire et plus souveraine ». Un projet commun du trio formé avec deux autres États membres, République tchèque et Suède, qui prendront le relais de la France par la suite¹. Ce programme, qui doit être détaillé par le chef de l'État en décembre, s'organise autour de trois enjeux prioritaires : relance, puissance et appartenance.

« *La présidence du Conseil par la France (PFUE) intervient à un moment crucial, où l'Europe repense son futur* », note Jean-Éric Paquet, directeur général Recherche et Innovation (R&I) de la Commission européenne (CE). Les priorités définies par la France se font donc l'écho de préoccupations communes à tous les États membres et vont « *structurer le débat* ». Suite à la crise sanitaire du Covid-19 et face aux défis globaux actuels qui « *ne peuvent être résolus sans l'apport de la science et du développement technologique* », identifier une vision commune pour l'avenir reste en effet « *le défi* ».



© 2021 CERN. FOR THE BENEFIT OF THE ALICE COLLABORATION

Tous les jours, des centaines de scientifiques collaborent autour des instruments du Cern, comme ici pour l'expérience Alice.

Cette vision s'appuie notamment sur les plans nationaux de reprise et résilience, qui consacrent une grande place à la R&I, mais aussi sur le nouveau programme-cadre de l'UE pour la recherche et l'innovation, « *le plus ambitieux et le mieux doté* », selon Jean-Éric Paquet : Horizon Europe, avec 95,5 Md€ de budget sur sept ans, représentant environ 12 % du budget que l'ensemble des États membres consacre à la recherche. Pour en maximiser l'impact, la CE travaille à créer en Europe un « *système de recherche et innovation réellement intégré* » : ce nouvel Espace européen de la recherche (ERA, en anglais), refonte de celui lancé en 2000, doit coordonner les systèmes de R&I nationaux ou régionaux, et favoriser la collaboration scientifique entre États membres, avec des partenaires internationaux et entre disciplines.

Mettre en pratique les objectifs de la PFUE

Du côté du ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation (Mesri) français, les piliers « Europe au carré », « Europe globale » et « Jeunesse d'Europe » ont été proposés pour faire écho aux enjeux de la PFUE.

“Coopérer doit permettre de développer une science de très haut niveau, tout en favorisant l'intégration européenne.”

Le premier pilier valorisera les liens du trépied classique enseignement supérieur - recherche - innovation avec un quatrième acteur : la société. Le Mesri souhaite ainsi « *faire plus d'Europe dans [ses] dispositifs et appuyer sur la dimension "services à la société"* » de ses missions, explique Claire Giry, directrice générale de la recherche et de l'innovation.

La place et la puissance de la recherche européenne dans le monde seront au cœur du deuxième pilier, « Europe globale ». En tant que premier bénéficiaire européen des programmes-cadres de la recherche et de l'innovation, le CNRS incarne cette puissance, certifie son président-directeur général Antoine Petit : « *Notre force de frappe unique est un atout majeur pour le rayonnement et l'attractivité de la France et de l'Europe à l'international.* » Selon Claire Giry, ce pilier mettra en avant une question « *qui prend de l'ampleur : comment travailler avec des pays qui ne partagent pas les mêmes valeurs ?* »

Troisième pilier : la « Jeunesse d'Europe » et son sentiment d'appartenance, avec comme sujet majeur l'évolution à l'horizon 2030 des universités européennes. Ces alliances d'universités accompagnées d'un dispositif ambitieux de soutien à l'innovation ont été proposées par la France dès 2017 et permettront d'obtenir un diplôme en combinant des études dans plusieurs pays de l'UE. Associant 26 États membres, 41 universités européennes existent aujourd'hui, dont 28 impliquant des établissements français. Elles devraient être « *confortées* », annonce Claire Giry : « *Nous voulons travailler fortement sur le concept, la diplomation des étudiants et la place de la recherche.* »

Ces trois piliers se traduisent par un programme ministériel de treize événements et rencontres qui « illustrent les objectifs de la PFUE et contribuent à leur mise en pratique ». Parmi les temps forts, un colloque sur le programme Copernicus dédié au futur de l'observation terrestre depuis l'espace, une conférence ministérielle début mars sur la coopération internationale de l'Europe en matière d'ESRI, une autre sur l'engagement citoyen dans les Missions européennes le 21 mars, ou encore la célébration des 20 ans du Forum pour la stratégie européenne des infrastructures de recherche, le 25 mars, en partenariat avec l'Académie des sciences.

S'ajoutent plus de soixante-dix événements labellisés PFUE, portés par des membres de l'ESRI comme le CNRS (lire p.19). « Ce succès atteste de la forte mobilisation des acteurs français pour l'Europe », se réjouit Claire Giry. L'ensemble de ces événements traduit les réflexions de l'UE sur la science ouverte, l'impact de la crise sanitaire, la souveraineté, la mobilité, les valeurs européennes, l'innovation et les liens science-société.

Une crise qui pousse à ouvrir la science

La science ouverte est en effet une « priorité de l'Europe depuis 2015, indispensable pour répondre aux enjeux globaux d'aujourd'hui et de demain », affirme Sylvie Rousset, directrice des données ouvertes de la recherche au CNRS. L'UE, dont les financements accélèrent « un mouvement mondial porté par les scientifiques », questionne donc « tous les enjeux de la science ouverte » : publications, données, compétences et formations des scientifiques, nouvelle manière de faire de la recherche en s'appuyant sur les outils dérivés de l'intelligence artificielle, indicateurs et évaluation. Chaque État membre doit par exemple développer une politique nationale de science ouverte, comme l'a fait la France, et l'accès ouvert est exigé pour tout article résultant de recherches financées à plus de 50 % par des fonds publics. Un objectif ambitieux repris par le CNRS, qui vise les 100 % de publications scientifiques en accès ouvert dans ce même cadre. Pour les projets européens, un plan de gestion des données est aussi obligatoire pour rendre possibles leur partage et réutilisation. « Lors de la pandémie de Covid-19, la science a pris le tournant de l'ouverture et de la collaboration », se félicite Jean-Éric Paquet pour qui le partage de la recherche et cette collaboration globale « sans précédent » ont joué un rôle dans la compréhension du virus et l'approbation des premiers vaccins moins d'un an après le début de la pandémie.

Celle-ci a ainsi montré l'importance de pouvoir s'appuyer sur des communautés bien structurées et des collaborations inscrites dans la durée, facteurs de résilience et de réactivité en cas de crise. La mise en œuvre du « nuage européen pour la science ouverte » (infrastructures European Open Science Cloud) et d'infrastructures de recherche (IR) paneuropéennes est d'ailleurs à l'agenda de l'ERA. Comme les organisations européennes pour la recherche nucléaire (Cern) ou de biologie moléculaire (Embo), ces IR traitent de thématiques qui nécessitent des moyens humains et financiers impossibles à prendre en charge par une seule nation. Elles « permettent aussi de fédérer en amont des partenaires français d'abord, puis étrangers, autour d'objectifs scientifiques communs », précise Éric Humler, président du comité des très grands équipements scientifiques et grandes infrastructures (TGIR) au CNRS.

Coopérer doit donc permettre de développer une science de très haut niveau, tout en favorisant l'intégration européenne. La mobilité, notamment géographique « pour apprendre de la différence des approches et des fonctionnements chez nos partenaires européens et au-delà » est ainsi « une force sans aucun doute », pour Christelle Roy, directrice Europe de la recherche et coopération internationale (Derc) du CNRS. « L'augmentation des collaborations créée par la mobilité des scientifiques permet de s'attaquer à des objectifs plus ambitieux », ajoute Rosa Menéndez, présidente du Consejo superior de investigaciones científicas (CSIC), le principal organisme de recherche espagnol. Plusieurs lauréats du prix Nobel ont d'ailleurs participé à des projets collaboratifs européens².



1. Les présidences du Conseil de l'UE s'organisent par trio d'États membres sur 18 mois. 2. Les consortiums pour les projets collaboratifs (au sein des Clusters d'Horizon Europe) doivent impliquer au moins 3 partenaires de 3 pays différents de l'UE et États associés.

“Liés, les États n’en demeurent pas moins concurrents et indépendants.”

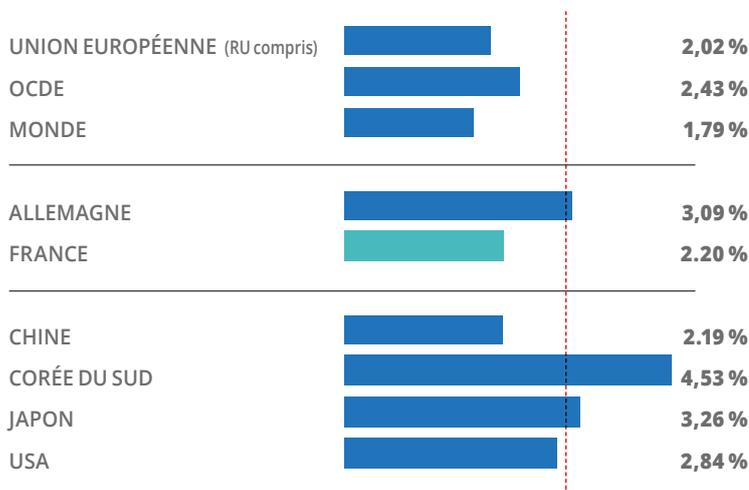
« L'Europe de la recherche est un modèle unique », témoigne Léonard Laborie, chargé de recherche CNRS au laboratoire Sorbonne-Identités, relations internationales et civilisations de l'Europe (Sirice)³ et spécialiste du rôle des sciences et techniques dans l'histoire contemporaine de l'Europe. « Schématiquement, les politiques ont utilisé la science pour construire un espace européen plus intégré économiquement et politiquement, et les scientifiques ont utilisé l'Europe pour obtenir plus de crédits », explique le chercheur. Ainsi liés, les États n'en demeurent pas moins concurrents et indépendants, avec des questions cruciales de souveraineté nationale au sein même de l'Union, vis-à-vis des partenaires de recherche.

Défendre les intérêts et valeurs de l'UE

Mais la crise sanitaire a remis en évidence la pertinence d'un niveau de gouvernance supranational : la Commission européenne a montré sa capacité à impulser des initiatives de grande envergure et à mobiliser des financements importants dans un délai relativement court. « C'est essentiel mais cela ne doit pas devenir le mode d'action dominant », prévient le PDG du CNRS, « chaque outil de soutien financier doit être adapté au contexte et aux objectifs poursuivis ». Selon son homologue



Part du PIB investie en recherche & développement dans le monde (données 2018 © Unesco)



Objectif d'effort de R&D fixé par les États membres en 2000 3 %

allemand du Leibniz-Gemeinschaft, Matthias Kleiner, une vision sur le long terme et des moyens alloués de manière pluriannuelle restent en effet « une condition préalable aux innovations futures et à notre capacité à faire face à de nouvelles crises rapidement et en toute confiance », comme pour les recherches sur l'ARN messager qui ont fini par mener aux vaccins contre le Covid-19.

« La science est un terrain de coopération mais aussi de compétition internationale », met également en garde Antoine Petit en écho à l'objectif « Europe globale » de la PFUE. « Il convient de trouver le juste équilibre pour travailler ensemble tout en ayant à cœur de défendre nos intérêts, par exemple face à la nouvelle donne géopolitique internationale où la Chine se place comme grande puissance rivale des États-Unis. » Annonçant préparer « des lignes de conduite sur la façon de réagir aux interférences étrangères inamicales visant des organisations de recherche de l'UE », Jean-Éric Paquet rappelle « l'approche globale » de l'Union qui « s'engage à promouvoir des règles d'un jeu équitable et une réciprocité fondée sur des valeurs fondamentales ».

« La recherche européenne aujourd'hui veut porter certaines valeurs clés : liberté et responsabilité académiques, à l'image d'une société d'individus libres et responsables ; science ouverte et inclusive, à l'image d'une société ouverte et inclusive », décrit Léonard Laborie. « Le problème en Europe n'est pas l'indispensable recherche fondamentale mais les stratégies disponibles pour la transformer en éléments utiles à la société et proches

3. Unité CNRS/Université Panthéon-Sorbonne/Sorbonne Université.



solutions autour de grands défis contemporains (changement climatique, cancer, océans, villes intelligentes, alimentation, santé des sols et alimentation), elles impliquent les citoyens et les territoires (hôpitaux, villes, régions, etc.) dans leur conception, mise en œuvre et suivi. Une approche « *totalelement novatrice, avec des objectifs ambitieux, inspirants pour les citoyens, et une obligation de résultat à la clé* », selon Jean-Éric Paquet, alors que le programme Horizon Europe fournit déjà entre 300 et 350 M€ à chaque mission jusqu'en 2023.

« *Il ne s'agit plus de parler de "science et société" comme deux entités distinctes dialoguant, mais de faire la science avec la société* », analyse Léonard Laborie. « *Il faut aussi écouter les citoyennes, citoyens et les acteurs socio-économiques car les solutions que peuvent proposer les travaux scientifiques nécessitent leur adhésion, notamment lorsque des changements de paradigme sont proposés* », souligne aussi Antoine Petit. « *Nous ne*

sommes qu'au début d'un processus de transformation de notre écosystème qui nécessitera du temps, de l'ouverture et une véritable volonté de coopérer », déclare à son tour Matthias Kleiner.

Dans un contexte de forte compétition scientifique et commerciale, l'Europe demeure « *une puissance scientifique de premier plan* », conclut Jean-Éric Paquet. *Quand elle s'en donne les moyens, elle prend le leadership, comme sur les énergies vertes. Elle doit donc continuer sur cette trajectoire, miser sur ses stratégies gagnantes et continuer à investir massivement dans la recherche et l'innovation car c'est notre avenir qui est en jeu.* » **II**

des marchés», expose pourtant Rosa Menéndez. Cadre réglementaire fragmenté, culture opposée au risque, accès aux capitaux insuffisant, difficultés à attirer et retenir les talents, régions disparates, écosystèmes d'innovation peu connectés... « *Nous connaissons les raisons pour lesquelles nos performances sont à la traîne en matière d'innovation et l'UE doit surmonter tous ces obstacles pour améliorer ses performances* », réagit Jean-Éric Paquet.

Être mieux à l'écoute des citoyens

Avec son European Innovation Council (EIC), doté d'environ 10 Md€, qui ambitionne de devenir « *l'usine à licornes de l'UE* », selon le directeur général, Horizon Europe marque donc un soutien encore plus marqué pour l'innovation, notamment de rupture. Afin de concentrer les ressources et d'être plus efficaces, les industriels deviennent parties prenantes du dialogue sur l'agenda stratégique. Au-delà des subventions, plus de 150 prises de participation de l'UE dans des start-up ont ainsi été confirmées. Le programme EIC Accelerator complète donc les dispositifs nationaux en apportant « *un potentiel financier que seule la mise en commun européenne permet de déployer* », explique Antoine Petit.

Dans une volonté de co-construction, nouvelle façon de penser les questions et réponses de la recherche, Horizon Europe déploie aussi une autre nouveauté majeure : les Missions. Visant à générer d'ici 2030 des initiatives et

Nombre de chercheurs par pays, en Europe et dans le monde par million d'habitants (données 2018 © Unesco)

CORÉE DU SUD	7 980
JAPON	5 331
ALLEMAGNE	5 212
FRANCE	4 715
USA	4 412
UNION EUROPÉENNE (RU compris)	4 084
CHINE	1 307



Le CNRS affiche ses ambitions

Le CNRS a élaboré une feuille de route « Europe », affichant sa stratégie européenne. Elle comprend plus d'une vingtaine d'actions pour améliorer sa participation aux programmes de recherche et d'innovation de l'Union européenne.

Pour en savoir +

La stratégie européenne du CNRS : <https://bit.ly/3FcXY7y>

1. Santé ; Culture, créativité et société inclusive ; Sécurité civile pour la société ; Numérique, industrie et espace ; Climat, énergie et mobilité ; Alimentation, bioéconomie, ressources naturelles, agriculture et environnement. 2. Adaptation au changement climatique ; Santé des océans, des mers, des eaux côtières et continentales ; Cancer ; Villes intelligentes et neutres en carbone ; Santé des sols et alimentation.

« **P** arler d'une seule voix auprès de l'ensemble des sphères d'influence. » Voilà l'objectif donné par Alain Schuhl, directeur général délégué à la science (DGDS) du CNRS, à la feuille de route « Europe » de l'organisme. Celle-ci décline la stratégie européenne du CNRS pour poursuivre et développer les efforts entrepris en son sein ces dernières années afin d'augmenter sa participation aux programmes européens et accroître son influence au sein de l'Espace européen de la recherche. La première cible est bien sûr le nouveau programme-cadre de recherche et d'innovation 2021-2027, Horizon Europe, doté de plus de 95 milliards d'euros de budget.

Cette stratégie européenne a été élaborée grâce à la mobilisation de nombreux acteurs au sein des dix instituts et des directions fonctionnelles du CNRS, qui ont pu apporter leur expertise et leur connaissance des dispositifs existants. Elle s'organise en trois volets complémentaires autour de trois mots d'ordre : influencer, soutenir et inciter.

Parmi les deux douzaines d'actions prévues, certaines s'appuient sur des dispositifs existants qu'il s'agit d'améliorer ou de renforcer, d'autres relèvent d'études de faisabilité.

Plusieurs sont « faciles à mettre en place et à fort impact », démontre Christelle Roy, directrice Europe de la recherche et coopération internationale (Derci) du CNRS, qui a coordonné le développement de la feuille de route. Il s'agit par exemple de la mise en place de groupes miroirs aux actions d'Horizon Europe. Reflétant « chaque action du ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation (Mesri) et chaque action de Bruxelles », selon Alain Schuhl, en particulier les six clusters¹ et les cinq missions² du Pilier 2 « Problématiques mondiales et compétitivité industrielle européenne », ou sur le Pilier 3 dédié à l'innovation, ces groupes miroirs doivent permettre une réponse rapide, consolidée, donnant le « positionnement du CNRS » pour toute sollicitation du ministère et de l'Europe de la recherche. Ils assurent aussi le lien avec les instituts du CNRS, capables d'identifier les potentiels candidats à des financements européens, dans une approche qui « met la science au cœur des actions ». Avec un objectif affiché dans le Contrat d'objectifs et de performance (COP) entre l'organisme et l'État : augmenter de 25 % le nombre de contrats européens hébergés au CNRS d'ici 2023, « c'est-à-dire demain », note Alain Schuhl.

Inciter les chercheurs à s'investir

Car, malgré « d'excellents résultats », avec un taux de succès supérieur à la moyenne européenne aux appels à pro-

jet du programme-cadre Horizon 2020, en particulier dans le Pilier 1 « Science d'excellence », la participation du CNRS aux programmes européens reste en effet aujourd'hui « inférieure au potentiel de recherche » de l'organisme. La stratégie européenne du CNRS entend donc inciter ses scientifiques à davantage se tourner vers l'Europe : « Tout chercheur et toute chercheuse qui vient de réussir le concours pour entrer au CNRS doit postuler à une bourse ERC Starting (lire p. 21) dans les 3 ou 4 ans, car ils viennent de démontrer qu'ils ont le niveau », rappelle Alain Schuhl. Les chercheurs peuvent « bâtir de véritables stratégies de financement de leurs activités de recherche », en postulant sur les appels européens comme compléments des appels locaux ou nationaux, explique Christelle Roy. Elle met aussi en avant les « effets de levier » apportés par les financements européens avec la mise en place de réseaux au plus haut niveau européen, des projets collaboratifs pouvant être co-construits par des laboratoires d'excellence, des entreprises au premier plan de l'innovation ou encore des institutions publiques en Europe, mais aussi avec des partenariats internationaux grâce aux passerelles mises en place par la Commission européenne.

Mais, à l'heure où la multiplication des appels à projets est source d'une « lassitude marquée de la part des chercheurs et chercheuses », renforcer les dispositifs incitatifs et de soutien individuels paraît indispensable. Même si certains sont en place depuis 2016 (primes, délégation pour les enseignants-chercheurs, etc.), des marges de progression sont possibles, en particulier en ce qui concerne la reconnaissance et la valorisation de l'implication des personnels ingénieurs et techniciens, et des chercheurs impliqués en Europe.

L'organisme déploie aussi un soutien particulier dans le montage et la gestion de projets européens. Les chargés d'affaires Europe au sein des 18 Services partenariats et valorisation de chaque délégation, les chargés Europe au sein des instituts (pour tous les projets européens) ainsi que les 12 ingénieurs de projets européens de la Derci rattachés au Bureau de Bruxelles (pour les projets collaboratifs gérés par le CNRS) peuvent ainsi aider les porteurs à accéder aux formations, outils et bonnes pratiques nécessaires. Ils viennent en appui des chercheurs et chercheuses dans les différentes phases de préparation (relations partenariales, rédaction du dossier), candidature (oraux blancs), négociation du contrat (propriété intellectuelle, notamment s'il y a des partenaires industriels) et dans la phase initiale de lancement du projet (recrutements, achats, etc.). Des dispositifs à encore mieux diffuser et faire connaître, via des retours d'expérience par exemple, mais aussi un accompagnement

Les événements de la présidence française

Quantique, intelligence artificielle, égalité professionnelle, recherche collaborative, partenariat scientifique euro-africain... Sur plus de soixante-dix événements labellisés à ce jour dans le cadre de la présidence française de l'Union européenne, le CNRS en organisera ou co-organisera neuf avec ses partenaires, de janvier à juin 2022, en France et à Bruxelles. Les Journées européennes de la science ouverte mettront par exemple en avant un sujet présent à l'agenda de la Commission européenne et dans lequel le CNRS est très engagé. La conférence « They choose Europe » montrera que l'Union européenne a la capacité d'attirer les plus grands talents, une stratégie à laquelle le CNRS adhère, ses chercheurs et chercheuses représentant plus de quatre-vingt-dix nationalités. Un autre événement célèbrera les 15 ans du Conseil européen de la recherche, un des principaux labels d'excellence de la recherche européenne, qui reconnaît régulièrement les scientifiques du CNRS avec un taux de succès supérieur à la moyenne européenne (18 % dans le dernier programme-cadre H2020). « Tous ces événements montreront que le CNRS sait mobiliser un grand nombre d'acteurs français et européens, et est un moteur de la recherche et de l'innovation en Europe », assure Alain Mermet, directeur du Bureau du CNRS de Bruxelles.

La recherche française aura sa maison à Bruxelles

Projet initié par le CNRS et la Conférence des présidents d'université (CPU), la Maison Irène et Frédéric Joliot-Curie sera un « hôtel à projets » pour le monde de l'enseignement supérieur et de la recherche, explique Alain Mermet, directeur du Bureau du CNRS de Bruxelles. Située en plein cœur du quartier européen, cette maison accueillera ainsi bientôt 12 membres permanents *, dont le CEA, l'Inserm, Inrae et Inria. Lieu d'accueil, les scientifiques pourront y « dialoguer avec leurs homologues au plus près des instances européennes où est mise en œuvre la politique scientifique communautaire ». Un lieu de démonstration et d'influence unique – aucun autre État membre ne disposant de structure similaire – où « chaque partenaire pourra développer ses projets en accord avec sa propre stratégie européenne mais aussi, et surtout, lancer des actions communes sur les nombreuses préoccupations partagées », ajoute Alain Schuhl. Vitrine de l'excellence de la recherche et de l'innovation françaises, la maison devra promouvoir les enjeux de l'Espace européen de la recherche auprès de l'opinion et des décideurs français, et faire valoir l'engagement et l'expérience de ses membres auprès des institutions européennes.

* CNRS, CPU, CDEFI, CEA, Ifremer, Inserm, Inria, Inrae, IRD, IRSN, Onera, Université Gustave Eiffel.

personnalisé pour les potentiels porteurs de projets collaboratifs européens du CNRS avec la mise en place de réseaux et des séances de coaching.

Fédérer les acteurs

Enfin, afficher clairement la stratégie du CNRS permettra aussi de « la porter à Bruxelles pour que les futurs appels à projets soient en ligne avec nos priorités scientifiques », espère Alain Schuhl. Bâtie à l'intersection du travail des groupes miroirs et des six grands défis sociétaux définis dans le COP ³, ainsi que d'éventuelles priorités nouvellement identifiées, la feuille de route Europe du CNRS a été établie pour dix ans et cible en premier lieu les appels à projets 2023-2024. Cette stratégie est un projet « co-construit et coporté » par tous les acteurs des questions européennes au CNRS, en permanence remis à jour et dont la concrétisation demandera un « investissement fort ».

« Notre certitude que nous devons et pouvons faire mieux s'appuie sur un existant déjà très solide », rassure Christelle Roy, citant le Bureau du CNRS à Bruxelles créé dès 1991, le relai « indispensable » à proximité des chercheurs et chercheuses grâce aux actions des instituts et délégations régionales, ou encore la Maison Irène et Frédéric Joliot-Curie à

Bruxelles (voir encadré). « Nous souhaitons aujourd'hui mieux coordonner tout cela pour éviter les redondances et optimiser nos forces vers l'Europe. » C'est pourquoi, en coordination avec les actions du Bureau du CNRS à Bruxelles, un secteur Union européenne a été mis en place au sein de la Derci, à Paris, pour servir de point central et faciliter la communication entre tous les acteurs.

Pour augmenter l'influence du CNRS, la feuille de route prévoit entre autres de renforcer la participation de ses scientifiques dans les grands consortiums européens. Le but : contribuer à la structuration de l'ESR – notamment sur les questions de science ouverte, éthique scientifique, évaluation de la recherche – en développant des actions complémentaires Union européenne et Europe bilatérale. Sont aussi visés les réseaux d'influence nationaux comme européens, tels que les Groupes thématiques nationaux ⁴ du Mesri, les Points de contact nationaux ⁵, les groupements de recherche, alliances, réseaux d'experts européens, etc. Le CNRS fait aussi partie du réseau G6 ⁶ dont les membres échangent déjà régulièrement sur leurs pratiques et veillent à faire valoir collectivement leurs intérêts auprès des instances européennes. Le *think tank* Club Europe, lancé récemment avec de nombreux industriels déjà partenaires de l'organisme ou non, permettra également d'aborder en commun les appels d'offres collaboratifs d'Horizon Europe.

Voir plus loin que l'Union européenne

Enfin, cette stratégie doit être un levier pour accroître le rayonnement des recherches du CNRS et son attractivité à l'échelle européenne, mais aussi au-delà. Dans Horizon Europe, « l'Europe fait aussi montre d'une volonté d'ouverture intéressante vers l'international qui correspond bien à la vision pluridisciplinaire et large du CNRS : par exemple, les enjeux climatiques et environnementaux ne se régleront pas avec une solution nationale ni même européenne », indique ainsi Christelle Roy. Le Plan pluriannuel de coopérations du CNRS avec l'Afrique, qui sera présenté au Conseil d'administration du CNRS le 17 décembre, est bien sûr également connecté à la stratégie européenne, et vice-versa.

Les trois axes – influencer, soutenir, inciter – se retrouvent de manière similaire dans le plan d'action national d'amélioration de la participation française aux dispositifs européens de financement de la recherche et de l'innovation (Papfe) du Mesri, avec qui « nous travaillons main dans la main », assure Christelle Roy. Par exemple, un possible financement de projets jugés excellents par les jurys du programme européen mais non retenus, demande à être négocié au niveau national, avec sans doute l'implication de l'Agence nationale de la recherche. La feuille de route du CNRS a ainsi l'ambition de trouver un relais auprès du Mesri pour prendre une ampleur nationale. « Si la France est plus forte, le CNRS en profitera, et inversement », résume Christelle Roy. II

3. Changement climatique ; Inégalités éducatives ; Intelligence artificielle ; Santé et environnement ; Territoires du futur ; Transition énergétique. 4. Structures de consultation des acteurs de la recherche (publique et privée) dans un domaine précis qui sont animées par les Représentants français auprès des comités de programme d'Horizon 2020 et Horizon Europe. 5. Personnes chargées de diffuser l'information, de sensibiliser et de soutenir la communauté de recherche et d'innovation française aux programmes de l'Union européenne. 6. Le réseau G6 regroupe les principaux organismes de recherche européens – CNR, CNRS, CSIC, Helmholtz Association, Leibniz Association et Max Planck Society – et représente 135 000 collaborateurs.

Ces scientifiques qui ont misé sur l'Europe

Lauréats des différentes bourses et dispositifs européens, des scientifiques partagent leur expérience.

Alice Travers ► ERC Starting

© DÉLÉGATION ÎMAGINÉS PHOTO THÉRIQUE



Alice Travers, chercheuse en histoire au Centre de recherche sur les civilisations de l'Asie orientale*, termine son ERC Starting, débuté fin 2016. « *Au cours de mes recherches, j'avais observé des lacunes sur l'histoire militaire tibétaine du XVII^e au XX^e siècle. L'analyse sur la longue durée, la diversité des sources et des thématiques rendaient nécessaire la formation d'une équipe.* » La chercheuse pense d'abord se tourner vers l'Agence

nationale de la recherche, mais la responsable Partenariat et Valorisation du CNRS lui conseille la bourse Starting octroyant plus de budget et plus de liberté d'utilisation de ses moyens. « *J'ai suivi des formations proposées par le CNRS et je me suis appuyée sur le point de contact national. Cela m'a énormément servi.* » Elle obtient une bourse de 1,5 M€ pour son projet. « *C'est un défi impressionnant dans les premiers mois, par exemple sur le plan administratif... Et tout est nouveau : les recrutements, l'animation d'une équipe...* » Son conseil à celles ou ceux qui souhaiteraient se lancer dans l'aventure européenne : « *commencer par rêver grand !* »

* Unité CNRS/Collège de France/EPHE/Université Paris Diderot.

L'ERC Starting (doctorat obtenu il y a 2 à 7 ans) soutient des projets de recherche exploratoire sur une durée maximale de 5 ans et avec un budget de 1,5 M€.

Etienne Gheeraert ► Projet collaboratif

© DR



Le projet collaboratif Horizon 2020 GreenDiamond, obtenu en 2015, « *visé à développer de l'électronique pour l'énergie à base de diamant qui permet de plus hautes puissances avec une meilleure efficacité* », décrit Etienne Gheeraert, enseignant-chercheur à l'Institut Néel* et coordinateur du projet. Impliquant des partenaires académiques et trois industriels, en France, Espagne et Angleterre, GreenDiamond a contribué à l'émergence de la start-up DiamFab, spin-off du laboratoire. « *Tout a commencé dans les années 1990, se souvient le chercheur. Nos recherches étaient très fondamentales, bien loin des applications. Mais on a avancé et atteint un certain leadership européen sur la thématique en 2010. Certaines avancées nous ont menés à penser qu'il y avait quelque chose à faire !* » Pour se lancer dans un projet collaboratif européen, « *les partenaires centraux sont essentiels et seront moteur* » sinon « *l'exploration de l'appel à projets peut se révéler douloureuse* », confie-t-il. Aujourd'hui, le projet de 4 M€ est terminé, mais « *les trois industriels ont tous dit qu'ils voulaient continuer à participer* ».

* Unité propre CNRS.

Les Projets collaboratifs ont pour objectif de répondre à des défis technologiques et sociétaux et doivent impliquer des partenaires (dont souvent des industriels) d'au moins trois États membres ou associés de l'Union européenne, avec un budget entre 2 et 15 M€.

Philippe Goldner ► ERC Advanced

© DR



Philippe Goldner est ce qu'on pourrait appeler un multirécidiviste en termes de réussite aux appels à projets européens. Ancien lauréat de deux projets collaboratifs et récompensé d'une Étoile de l'Europe¹, le chercheur à l'Institut de recherche chimie Paris² passe dorénavant à un ERC Advanced doté de 2,5 M€ pour le projet Rare Diamond, qui vise à développer des matériaux de haute qualité associant des ions de terres rares et des centres colorés dans le diamant. « *Tout s'est fait dans la continuité. Une communauté au niveau européen s'est formée autour d'intérêts communs qui ont débouché au fil des ans sur plusieurs projets collaboratifs.* » Aujourd'hui, il quitte le collaboratif : « *Avec l'ERC Advanced, on est plus indépendant, mais on ne bénéficie pas des apports des partenaires* », dit-il soulignant alors l'importance du CV du porteur de projet en plus de la qualité du projet lui-même. Aujourd'hui, le chercheur est dans les préparatifs de son projet qui vise à créer de nouveaux matériaux pour les technologies quantiques. La suite ? « *Je pourrais aller vers un axe de valorisation des matériaux si le projet aboutit, et dans ce cas, pourquoi pas un ERC Proof of Concept.* »

1. Les Étoiles de l'Europe valorisent les coordinateurs de projets européens. 2. Unité CNRS/Université PSL.

L'ERC Advanced soutient des scientifiques, reconnus aux niveaux national et international, pour mener des projets novateurs à haut risque qui ouvrent de nouvelles voies, avec un budget de 2,5 M€.

Elaine Chew

► ERC PoC



© DR

Elaine Chew, chercheuse au laboratoire Sciences et technologies de la musique et du son*, est lauréate d'un ERC Proof of Concept (PoC) pour le projet Heart-FM. Ce dernier a pour objectif de développer une application capable de personnaliser la musicothérapie en fonction des signaux physiologiques des patients souffrant d'hypertension, afin d'améliorer la santé cardiovasculaire. « Mon

application s'est faite à la suite de ma bourse ERC Advanced, qui donne aux lauréats l'opportunité de postuler à un ERC Proof of Concept. » Le financement PoC est donc un prolongement naturel de son projet et lui permet d'en développer les technologies. « Le CNRS m'a mise en contact avec une ancienne bénéficiaire PoC qui a partagé son expérience avec moi. CNRS Innovation m'a également épaulée dans les relectures du dossier. » Aujourd'hui, douze mois après le démarrage du projet, des prototypes ont été construits et sont prêts pour la démonstration et les tests.

* Unité CNRS/Sorbonne Université/Institut de recherche en coordination acoustique et musicale/Ministère de la Culture.

L'ERC Proof of Concept (PoC) soutient des scientifiques déjà lauréats d'une bourse ERC moins d'un an auparavant et souhaitant valoriser les résultats de leur recherche, avec un budget de 150 000 € sur 18 mois.

Patrick Hennebelle

► ERC Synergy

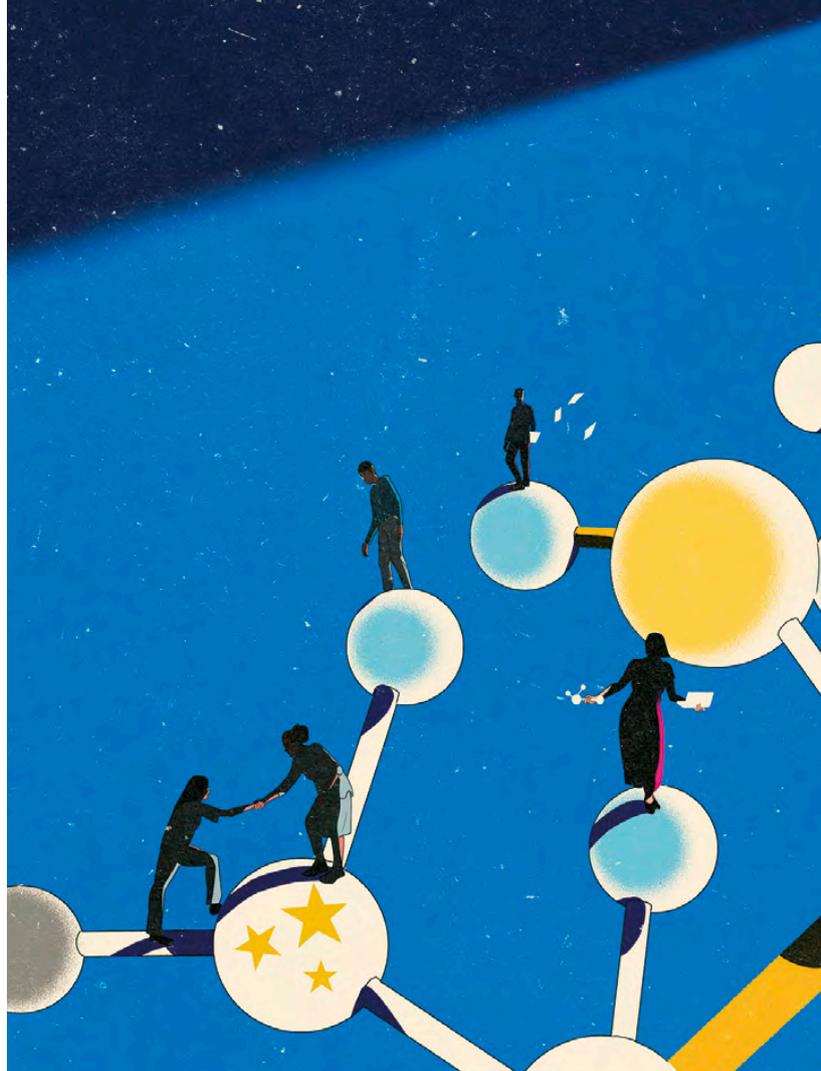


© DR

Patrick Hennebelle, chercheur en astrophysique au Département de physique des particules du CEA, a obtenu un ERC Synergy pour le projet Ecogal visant à développer une compréhension de l'écosystème galactique de la Voie lactée. « Nous avons présenté le projet deux fois », sourit le chercheur. Ecogal, doté de 12 M€, regroupe une quarantaine de parti-

cipants venant d'Allemagne, de France et d'Italie que dirigera le chercheur. « Une partie de la somme va par exemple être utilisée pour le développement d'instruments lourds tels que le télescope Alma au Chili. » Déjà lauréat d'un ERC Consolidator, l'astrophysicien souligne l'importance de répéter son oral de jury. « Il faut s'entourer de scientifiques au gros bagage, capables de saisir la logique scientifique de n'importe quel projet scientifique, le tout avec du sens critique. » En effet, le jury est composé d'une vingtaine de scientifiques provenant de nombreux domaines et « il faut être capable de leur donner des réponses précises et concises ».

L'ERC Synergy soutient des groupes de 2 à 4 scientifiques, de pays membres ou associés, dont l'objectif est de « s'attaquer à des problèmes de recherche redoutables, qui couvrent plusieurs disciplines scientifiques », avec un budget allant jusqu'à 14 M€.



Tatiana Theodoropoulou a obtenu un ERC Consolidator qui débutera en 2021 pour son projet Mermaid, portant sur la relation des sociétés humaines avec le milieu marin en Méditerranée dans le passé. « L'idée est d'obtenir des résultats et des réponses face au dérèglement climatique », explique la chercheuse en archéologie environnementale au laboratoire Cultures et environnements. Préhistoire, Antiquité, Moyen Âge*. Et c'est aussi l'un des objectifs d'une bourse européenne : « contribuer et être en contact avec les décideurs et la société ».

La chercheuse s'est tournée vers le Consolidator qui est pour elle « le meilleur moyen de monter une équipe pluridisciplinaire, le tout avec les moyens nécessaires, pour explorer des approches qui n'ont pas encore été tentées. » Elle souligne également l'importance de prévoir un aspect de diffusion avec le grand public au sein d'un projet, « un point très important pour l'Europe ».

Tatiana Theodoropoulou

► ERC Consolidator



© DR

* Unité CNRS/Université Côte d'Azur.

L'ERC Consolidator (doctorat obtenu il y a 7 à 12 ans) soutient le meilleur de la recherche exploratoire dans trois grands domaines : sciences humaines et sociales, physique et ingénierie et sciences de la vie, avec un budget allant jusqu'à 2 M€.



EVerZom

► EIC Accelerator

© FREDÉRIQUE PLACINS/PHOTOTHÈQUE



La start-up EVerZom – qui développe un procédé innovant de bio-production de vésicules extracellulaires pour des applications thérapeutiques en médecine régénérative – a obtenu un EIC Accelerator d'un montant de 2,5 M€. Un financement qui permettra une

« montée en puissance de ses capacités de production industrielle », explique Amanda Silva Brun (photo), co-fondatrice de la start-up. Par-delà la somme, l'EIC Accelerator, très compétitif, « est pratiquement un label, en tout cas une marque d'excellence ». La chercheuse en biothérapie et bioproduction au laboratoire Matière et systèmes complexes*, lauréate d'un projet ERC et co-fondatrice de deux start-up auxquelles elle accorde 20 % de son temps a toujours été tournée vers l'innovation : « dès ma thèse, j'avais déposé une demande de brevet. Cela m'a mis dans le bain ! »

* Unité CNRS/Université de Paris.

L'EIC Accelerator, bourse du Conseil européen de l'innovation, finance les innovations de rupture des PME et des start-up, avec un budget de 2,5 M€ et un investissement jusqu'à 15 M€.

Alice&Bob

► EIC Accelerator



© NIL HIPPELOT

La start-up Alice&Bob – qui a pour ambition de mettre au point, en cinq ans, un ordinateur quantique universel opérationnel grâce à un bit quantique novateur, capable d'auto-corriger ses erreurs – est lauréate de l'appel Accelerator du Conseil européen de l'innovation (EIC). « Nous faisons la course avec les principaux Gafa. On est poursuivi par Amazon qui

s'est lancé sur notre approche pour l'ordinateur quantique », explique Théau Peronnin (photo), co-fondateur de la start-up. Il souligne l'importance d'un « dossier mature » pour les appels à projets européens et le besoin de se faire épauler par un cabinet de conseil : « la bureaucratie reste complexe avec beaucoup d'éléments à fournir sur des échelles de temps courtes. » Avec une subvention de 2 M€ et une option d'investissement dans l'entreprise de 7 M€ de l'Europe, la start-up est actuellement en cours de levée de fonds. Pour Théau Peronnin, « il est très intéressant de voir ce rapprochement progressif de la recherche vers l'innovation ».

* Unité CNRS/Université Côte d'Azur.

L'EIC Accelerator, bourse du Conseil européen de l'innovation, finance les innovations de rupture des PME et des start-up, avec un budget de 2,5 M€ et un investissement jusqu'à 15 M€.

Régine Basséguy, du Laboratoire de génie chimique² à Toulouse, a bénéficié entre 2009 et 2013 d'un financement Initial Training Networks dans le cadre des actions Marie Skłodowska-Curie. Le réseau de formation Biocor ITN a réuni 18 équipes internationales autour de la biocorrosion et a permis de dynamiser la thématique scientifique, avec 16 bourses notamment pour 12 doctorants. « Nous étions un groupe de chercheurs européens persuadés qu'il fallait aller plus loin dans l'interdisciplinarité sur la thématique de biocorrosion et former les jeunes générations », explique la coordinatrice du projet,

Régine Basséguy

► Doctoral Networks¹



© DR

soulignant que les doctorants ont également bénéficié de cours pour donner une base similaire à chacun dans les différents domaines scientifiques impliqués. Aujourd'hui, Régine Basséguy est partenaire sur une nouvelle proposition de Doctoral Networks³. « L'idée est d'aller encore plus loin et de réduire le fossé entre le monde académique et le monde industriel », envisage-t-elle, alors que les Doctoral Networks donnent de multiples occasions aux doctorants de réaliser des stages avec les partenaires du réseau.

1. Anciennement Initial Training Networks 2. Unité CNRS/Institut national polytechnique de Toulouse/Université Toulouse Paul Sabatier. 3. L'Appel HORIZON-MSCA-2021-DN.

Les Doctoral Networks font partie des Action Marie Skłodowska-Curie et mettent en œuvre des programmes de doctorat par des partenariats à travers l'Europe et au-delà, pour former des doctorants hautement qualifiés et renforcer leurs capacités d'innovation et leur employabilité.



1. Acronyme pour Monitoring de la composition atmosphérique et des gaz à effet de serre à l'aide d'instruments déployés dans des campagnes de mesures. 2. Sept structures : Laboratoire de météorologie dynamique (LMD - CNRS/ENS-PSL/École polytechnique/ Sorbonne Université), Groupe de spectrométrie moléculaire et atmosphérique (GSMA - CNRS/Univ. de Reims Champagne Ardenne), Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement (LSCE - CNRS/Univ. Versailles St Quentin/ CEA), Laboratoire d'optique atmosphérique (LOA - CNRS/Univ. de Lille), Laboratoire

Des ballons dans le ciel de l'Arctique

TERRE ●

CLIMAT Connaître la répartition des gaz à effet de serre au-delà du cercle polaire arctique, là où le réchauffement climatique est deux fois plus rapide qu'ailleurs, c'est l'objectif de la mission Magic¹ 2021, pilotée par le CNRS² et le Centre national d'études spatiales (Cnes). La campagne internationale³ a eu lieu en août 2021, au centre spatial d'Esrange, à Kiruna, en Suède. Les hautes latitudes sont difficiles à observer par satellite, alors que les ballons permettent des mesures à plusieurs altitudes, jusque dans la stratosphère. Complétées par des relevés au sol et en avion, les données recueillies sur les émissions de gaz carbonique et de méthane, naturelles ou dues à l'homme, serviront aussi de point de départ aux futures missions spatiales de suivi des gaz à effet de serre.

TEXTE SOPHIE LÉONARD - PHOTOS THIBAUT VERGOZ/
MAGIC 2021/CNRS PHOTOTHÈQUE

1. Après le gonflage du ballon stratosphérique ouvert (BSO), le lâcher sera la partie la plus délicate du vol. Les ballonniers du Cnes doivent maintenir en position verticale un ensemble haut comme la tour Eiffel (300 mètres) et de plus de 4 tonnes. Ils sont tributaires des conditions météorologiques au sol et, ce jour-là, le vol a été repoussé au soir pour éviter le vent.

d'étude du rayonnement et de la matière en astrophysique et atmosphères (Lerma - CNRS/ Observatoire de Paris-PSL/Sorbonne Université/CY Cergy Paris Université), Laboratoire de physique et chimie de l'environnement et de l'espace (LPC2E - CNRS/Cnes/Univ. d'Orléans) et Service des avions français instrumentés pour la recherche en environnement (Safire - CNRS/Cnes/Meteo-France). **3.** Elle est soutenue par l'agence spatiale allemande (DLR), l'ESA, Eumetsat et la Nasa.

2. Les zones humides sont d'importantes sources naturelles de dégagement de méthane, l'un des principaux gaz à effet de serre. La campagne Magic 2021 cherche à mieux comprendre et analyser les sources et puits de gaz à effet de serre naturels et anthropiques en région circumpolaire.



3. La nacelle, structure en aluminium faite sur mesure par le Cnes, dépasse à peine 512 kg, ce qui reste léger pour un ballon pouvant transporter 1,2 tonne jusque dans la stratosphère. Elle embarque 210 kg d'instruments de mesure des gaz à effet de serre.

4. Une autre nacelle est apportée vers son ballon accessoire avant leur accrochage à un ballon stratosphérique de la mission Climat du Cnes. Le ballon accessoire sert à alléger la nacelle lors du décollage et l'empêche d'être traînée au sol.





5. Gonflé à l'hélium, le ballon stratosphérique ouvert (BSO) emporte la nacelle Carmencita et son petit ballon accessoire. L'enveloppe du BSO est 100 à 200 fois plus volumineuse que la bulle d'hélium qu'elle contient, car le gaz se dilatera au fur et à mesure du vol et de la baisse de la pression atmosphérique.



6. Delphine Combaz et Lilian Joly (GSMA) préparent un ballon léger dilatable (BLD) qui emportera un spectromètre à diode laser léger Amulse.





7. Cyril Crevoisier (LMD), chercheur principal de la mission, et Jean-Philippe Desbios (Safire), coordinateur, sont devant l'ATR42, un avion instrumenté pour la première fois avec deux lidars. C'est l'un des trois avions de la mission, utilisés pour recouper les mesures par ballons.



8. Yao Té et Pascal Jeseck (Lerma) mesurent la concentration des gaz à effet de serre dans une colonne d'air en un endroit précis du passage des avions, près d'un lac. Cette zone humide est source naturelle d'émissions de méthane.





9 et 10. Les nacelles et les ballons légers embarquent de nombreux instruments de mesure des gaz à effet de serre. Les routes étant rares dans la région, une compagnie d'hélicoptère rapatrie les nacelles et les instruments équipés de balises GPS après leur chute au sol, parfois à des dizaines de kilomètres du centre spatial. Ci-contre, Claire Cénac et Julio Lopez (LMD) récupèrent un échantillonneur atmosphérique Aircore light. Ci-dessous, Axel Guedj (LMD) et Claire Cénac n'ont que 3 heures pour récupérer cet autre échantillonneur et mesurer les concentrations en gaz.



11. Delphine Combaz (GSMA) tient une bouteille ultrasophistiquée, qui revient d'un voyage à 40 km d'altitude au-dessus de l'Arctique suédois et qui contient un précieux échantillon d'air intact à analyser.

Quand le CNRS fait

Les 29 et 30 novembre 2021, le CNRS célèbrera la création de son 200^e laboratoire commun en activité, entre l'une de ses unités et une entreprise, lors d'un événement organisé au palais Brongniart à Paris. Tour d'horizon des points forts et des impacts de la relation entre recherche publique et entreprises.

DOSSIER RÉALISÉ PAR ANAÏS CULOT



Dans le laboratoire commun E2P2L, sur le site Solvay de Shanghai (Chine), spécialisé en chimie et catalyse.

laboratoire commun avec les entreprises



Ce sont des centaines de produits, procédés et innovations technologiques qui ont vu le jour dans les laboratoires communs¹ (LabComs) du CNRS et de ses partenaires académiques. Des pansements qui stimulent la cicatrisation, des fibres optiques adaptées aux environnements extrêmes ou encore des diffuseurs de phéromones pour lutter contre les parasites agricoles, ne sont que quelques illustrations concrètes de ces partenariats si prisés entre unités de recherche dont le CNRS assure une tutelle et entreprises. Un laboratoire commun est « *ce qui se rapproche le plus d'un mariage* », explique Carole Chrétien, directrice des relations avec les entreprises (DRE) du CNRS. Les acteurs impliqués pilotent ensemble des recherches encadrées par une feuille de route d'une durée de 3 à 5 ans. Ils partagent des moyens humains, financiers et matériels pour résoudre un même défi scientifique dans un cadre stable et renouvelable.

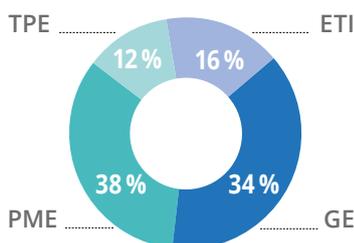
**DES GRANDS
GROUPES
AUX TPE...**

Nombre d'unités CNRS concernées

144 unités ont un LabCom

soit **12 %** des unités dont le CNRS assure une tutelle

**Répartition
par catégorie d'entreprise**



TPE : Très Petite Entreprise / ETI : Entreprise de Taille Intermédiaire / PME : Petite ou Moyenne Entreprise / GE : Grande Entreprise

**Nombre de LabComs avec
les principaux partenaires**

TotalEnergies	12
Michelin	8
Stellantis	8
EDF	7
Safran	7
Thales	7
Solvay	5
Naval Group	3
St Gobain	3
CILAS (ArianeGroup)	3
Groupe Airbus	3

1. L'appellation « laboratoire commun » regroupe les laboratoires communs bilatéraux, les LabComs de l'Agence nationale de la recherche (ANR), les chaires industrielles ANR ou non, les équipes mixtes de recherche avec l'industrie, les unités mixtes de recherches (UMR) et les International Research Laboratories (IRL) industriels.

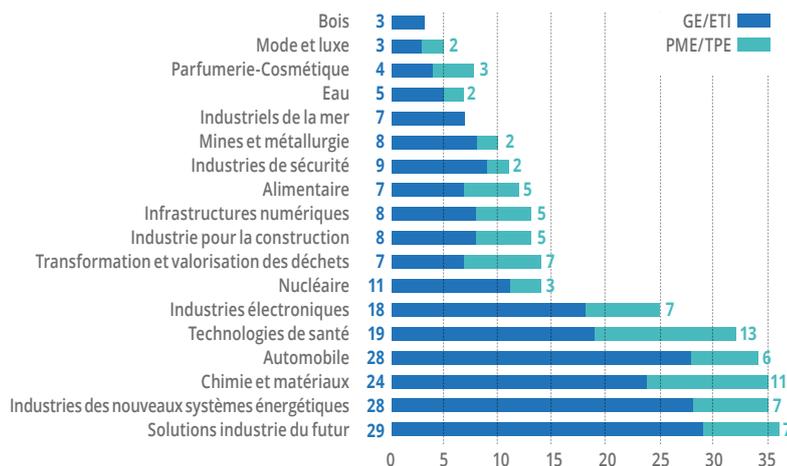
Mais ne pas s'y tromper, les deux partenaires se connaissent souvent de longue date avant de franchir le pas. Certains même depuis le début de l'aventure des laboratoires communs (*lire encadré ci-dessous*). Désormais, ce format attire un grand nombre d'industriels. Le CNRS célébrera, les 29 et 30 novembre prochains, la signature de son 200^e LabCom actif, réunissant le Laboratoire de spectroscopie pour les interactions, la réactivité et l'environnement (Lasire)² et le groupe TotalEnergies (*lire encadré p. 33*). Ils seront présents lors d'une soirée exceptionnelle qui rassemblera des représentants de nombreuses entreprises comme Michelin, Safran, Thales ou Stellantis, et plus largement des acteurs du monde socio-économique réunis pour échanger autour de ces collaborations fructueuses. Une journée d'exposition complétera l'événement pour présenter les résultats d'une quinzaine de laboratoires communs et leur apport à leurs entreprises partenaires.

Un rôle fondamental pour toutes les entreprises

« Si nous voulons des leaders économiquement et technologiquement souverains demain, cela nécessite un rapprochement entre la recherche publique et privée. C'est pourquoi nous voulons simplifier l'accès des entreprises au CNRS », rapporte Carole Chrétien. Actuellement, plus d'une unité sur dix du CNRS et de ses partenaires académiques dispose d'au moins un laboratoire commun. Et si ce type de recherche partenariale était historiquement lié à des grands groupes, les chiffres d'aujourd'hui illustrent une tout autre réalité : 66 % des laboratoires communs CNRS se font avec des ETI, PME et TPE³.

« Côté académique, ces structures permettent de réaliser des expériences scientifiques avec une technicité qui va au-delà des capacités de l'unité mixte », témoigne Giorgio Santarelli, ingénieur de recherche CNRS coresponsable du laboratoire commun Starlight+ entre le Laboratoire

Répartition des laboratoires communs par filières industrielles *



* Réponses multiples à une étude déclarative auprès des LabComs effectuée en 2021.

photonique, numérique, nanosciences (LP2N)⁴ et la PME Azur Light Systems, qui développe depuis 2014 des lasers à fibre haute puissance et très bas bruit pour des applications scientifiques et industrielles. Mais quel avantage pour les entreprises et notamment les grands groupes d'envergure internationale ? « La force de notre laboratoire commun est qu'il formalise une voie de recherche sur du long terme qui minimise l'impact du risque sur l'industriel. Celui-ci est déporté sur le chercheur qui a l'habitude de gérer le risque associé à la recherche fondamentale. Là où l'industriel voit des problèmes, nous voyons des questions d'intérêt scientifique », témoigne Jean-Louis Vercher, chercheur CNRS

LE TOURNANT DES ANNÉES 1980

« Dès 1945, plusieurs membres du conseil d'administration du CNRS souhaitent investir dans des laboratoires où recherche et industrie partageraient des scientifiques du privé et du public », expose Denis Guthleben, attaché scientifique au Comité pour l'histoire

du CNRS. Mais l'heure est plutôt à la reconstruction. Il faut attendre la loi d'orientation et de programmation pour la refondation de l'École de la République de 1982 pour qu'apparaissent les ancêtres des laboratoires communs. Le CNRS participe ainsi à la création de groupements d'intérêt public (GIP) avec de nombreux industriels : une filiale de Thomson, Rhône-Poulenc, Elf Aquitaine, Saint-Gobain, Renault, Air Liquide... « On voulait se rapprocher des poids lourds de l'industrie, car on pensait qu'ils étaient les premiers leviers de lutte face à la crise, renseigne Denis Guthleben. Le vivier des petites entreprises passait, par contre, complètement à la trappe, ce qui est loin d'être le cas aujourd'hui. »

2. Unité CNRS/Université de Lille. 3. Enquête réalisée en 2021 par la Direction des relations avec les entreprises du CNRS (DRE). 4. Unité CNRS/Institut d'optique graduate school/Université de Bordeaux. 5. Unité CNRS/Aix-Marseille Université. 6. Unité CNRS/Université Rennes 1. 7. Unité propre CNRS.

coresponsable de l'OpenLab Automotive Motion Lab entre l'Institut des sciences du mouvement Étienne-Jules Marey⁵ et Stellantis, dont les travaux portent sur l'étude du comportement humain au sein des véhicules dans le cadre de la transition vers la voiture autonome.

Les laboratoires communs peuvent-ils également offrir de nouvelles opportunités à de plus petites structures ? La réponse est à nouveau positive, comme l'indique Caroline Darcel, ingénieure principale chez Itasca Consultants et coresponsable du LabCom Fractory – centré sur la modélisation des impacts et des risques environnementaux – en partenariat avec Géosciences Rennes⁶ (*lire p. 38*). « *La labellisation LabCom a eu un rôle important pour notre image, car nos interlocuteurs industriels nous connaissent désormais comme la Fractory, ce qui nous a donné une identité forte sur laquelle nous avons su capitaliser et intéresser d'autres industriels qui ne seraient pas venus vers nous si nous n'avions été qu'un industriel ou un laboratoire de recherche* », explique-t-elle.

Enfin, ils peuvent accélérer le développement d'une jeune pousse sur un marché compétitif. « *En tant que start-up, on se lève le matin en pensant qu'on a une idée que personne n'a jamais eue*, témoigne Arnaud Favareille, directeur général d'Iteca et coresponsable du LabCom Mach4 spécialisé dans le jumeau numérique, un double virtuel de machines industrielles qui permet de les piloter à distance. *Notre collaboration avec l'Institut Pprime⁷ a permis de valider notre vision unique du jumeau numérique à destination de*

...

Le LabCom CR2ME entre l'UMR Lasire et TotalEnergies caractérisera d'un point de vue chimique de nouveaux matériaux appliqués au secteur de l'énergie.



© SABRINA NEHMARCNRS IMAGES 2021

L'ÉNERGIE AU CŒUR DU 200^e LABORATOIRE COMMUN

« *Nous avons une relation de confiance de longue date avec le CNRS qui est un partenaire stratégique de notre croissance dans les énergies nouvelles et sur les thématiques du développement durable* », déclare Marie-Noëlle Semeria, directrice de la R&D de la compagnie TotalEnergies. C'est pour aller au cœur de la matière dans ces énergies décarbonées que l'entreprise lancera, fin novembre, le Centre de résonance magnétique électronique pour les matériaux et l'énergie (CR2ME) localisé à Lille. Ce laboratoire commun avec le Laboratoire de spectroscopie

pour les interactions, la réactivité et l'environnement (Lasire)¹, son partenaire d'une dizaine d'années, caractérisera d'un point de vue chimique de nouveaux matériaux plus durables appliqués au secteur de l'énergie. Au cœur de la collaboration : une expertise unique sur la résonance paramagnétique électronique (RPE). « *Cette technique permet d'étudier des électrons non appariés, c'est-à-dire qui commencent à se déplacer librement au sein d'un matériau, et qui sont des marqueurs de son vieillissement et de sa dégradation* », explique

Hervé Vezin, directeur du Lasire. « *Bénéficiaire de l'expertise unique du Lasire en RPE est pour nous un important facteur de différenciation qui vient renforcer notre démarche d'innovation dans les énergies renouvelables et l'électrique* », souligne Marie-Noëlle Semeria. La RPE sera ainsi utilisée pour améliorer la fiabilité et la sécurité de batteries tout-solide² dédiées aux véhicules électriques – technologie au cœur des développements de Saft, filiale de la compagnie TotalEnergies. Mais elle servira également à l'étude du vieillissement de panneaux solaires, au recyclage des plastiques ou encore à la fabrication de biocarburants pour l'aviation. Le laboratoire

commun, d'une durée de quatre ans, s'appuiera sur une équipe d'une quinzaine de personnes. « *De plus, grâce à un financement dans le cadre du Contrat Plan État Région Chemaect de la région Hauts-de-France, nous disposerons d'un nouvel instrument dès 2022 : un spectromètre RPE de 263 GHz. Celui-ci permettra des analyses encore plus précises des espèces chimiques présentes dans un échantillon, donc de mieux comprendre le vieillissement des matériaux pour en fabriquer de nouveaux plus performants. Cet équipement, unique en France et seulement le troisième au monde, sera un atout majeur pour conserver un coup d'avance* », précise Hervé Vezin. ||

1. Unité CNRS/Université de Lille. 2. Ces batteries contiennent des électrolytes solides plutôt que liquides, ce qui les rend plus sûres.

...
l'industrie et de la formation. Les chercheurs nous ont guidés à travers l'état de l'art, les brevets existants... Et grâce à eux, j'estime qu'on a gagné aux alentours de 5 ans de développements R&D.»

De l'attractivité aux résultats de qualité

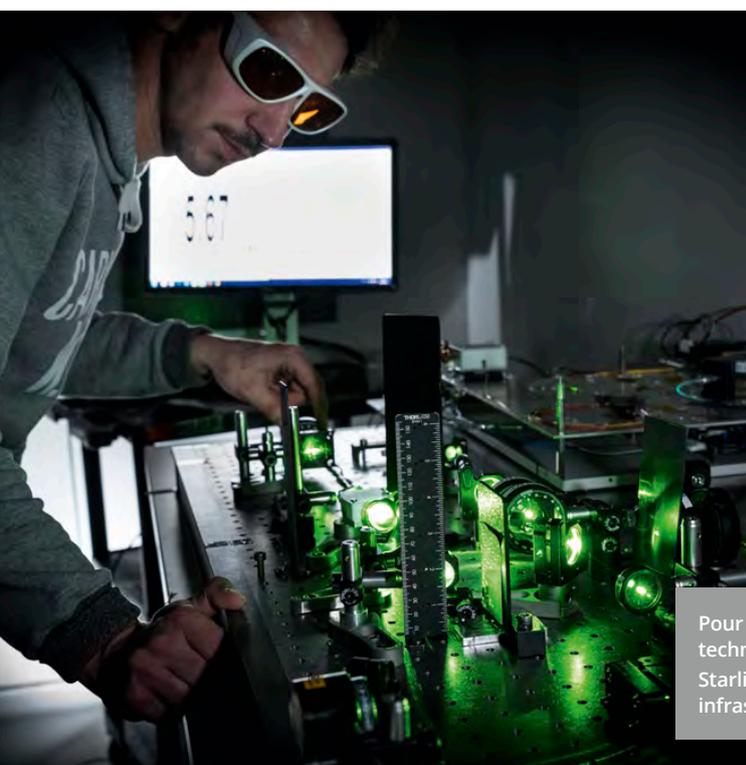
Ces laboratoires communs fonctionnent également à l'étranger. Le groupe Solvay, qui a bâti depuis 1990 plusieurs unités mixtes industrielles avec le CNRS en France, a également adopté ce format aux États-Unis et plus récemment en Chine en créant l'Eco-Efficient Products & Processes Laboratory (E2P2L)⁸. Cet établissement, installé sur le site de Solvay à Shanghai, représente la partie amont de sa R&D en chimie et catalyse. « *La recherche fondamentale est indispensable à la compréhension et à l'idéation pour nos équipes qui traduisent cette science en applications*, témoigne Patrick Maestro, directeur scientifique de Solvay. *En tant que groupe international, nous souhaitons avoir le même niveau de compréhension de la science dans l'ensemble de nos laboratoires. Les International Research Laboratories (IRL)⁹ du CNRS ont été un excellent moyen de tirer vers le haut notre infrastructure en Chine, qui a démarré après nos structures européennes et devait donc rapidement se développer.* » Et pourquoi la Chine ? Simple-ment, car c'est une zone clé du développement de Solvay et que la recherche sur la catalyse – thématique au cœur de l'IRL – y est de grande qualité et progresse très vite.

Par ailleurs, collaborer avec des chercheurs de haut niveau apporte davantage de visibilité. « *Être associé au CNRS a facilité notre ouverture sur le monde académique local et valorisé l'image de Solvay sur la production de recherches de haut niveau* », ajoute le directeur scientifique du groupe belge. Cette visibilité vient principalement des productions issues de ces collaborations. En France comme à l'étranger, les laboratoires communs génèrent bien évidemment des produits, des emplois, des publications scientifiques et des brevets. Le CNRS est d'ailleurs le premier codéposant français de brevets avec les entreprises (soit 30 % de ses brevets). De plus, la réussite de ces partenariats est contagieuse. Une quinzaine d'unités du CNRS et de ses partenaires académiques accueillent ainsi plus de trois laboratoires communs. « *Un phénomène d'émulation qui s'explique par une valorisation importante des personnes impliquées et ce qu'elles apportent à leur laboratoire, leur entreprise, mais aussi à leur écosystème régional* », remarque Cédric Lebailly, responsable du Service partenariat et valorisation de la recherche du CNRS en Limousin Poitou-Charentes.

La recherche, moteur de la relance française

Mais c'est aussi pour voir plus loin, avec plus d'ambition – notamment sur des enjeux stratégiques et sociétaux – que ces structures prennent de l'envergure aujourd'hui. « *Les stratégies des Programmes et équipements prioritaires de recherche (PEPR)¹⁰, lancés sur des grandes thématiques comme l'hydrogène, la cybersécurité ou le quantique, soulignent bien le besoin d'inclure la recherche dans la vie des entreprises* », remarque Carole Chrétien. Plusieurs laboratoires communs mènent déjà des recherches sur ces thématiques phares. Par exemple, Matelho, collaboration entre l'Institut Charles Gerhardt Montpellier¹¹ et Bulane, développe des matériaux et des procédés dédiés à la production d'hydrogène. Une autre, entre Femto-ST¹² et Aurea Technology, travaille sur différentes technologies des systèmes quantiques (distribution quantique de clé, cryptographie, etc.).

Néanmoins, plusieurs types de rapprochements seront nécessaires pour répondre à l'ensemble des défis du XXI^e siècle. « *Nous devons créer de nouveaux lieux de rencontre, multiplier les points d'accès*, déclare Carole Chrétien. *Des investissements colossaux sont alloués pour débloquer les verrous technologiques de grands pans de l'économie de demain et c'est grâce à la recherche fondamentale que les entreprises françaises pourront être de la partie.* » II



© JEAN-CLAUDE MOSCHETTI/ALP2N/IRST-TFCNRS PHOTO THÈQUE

Pour développer de nouvelles technologies laser, le LabCom Starlight+ utilise les infrastructures du LP2N.

8. IRL CNRS/Rhodia opérations. 9. Ces outils structurent en un lieu identifié la présence significative et durable de scientifiques et d'un nombre limité de partenaires de recherche français et étrangers. 10. Les PEPR visent à construire ou consolider un leadership français dans des domaines scientifiques considérés prioritaires aux niveaux national ou européen, et (susceptibles d'être) liés à une transformation technologique, économique, sociétale, etc. 11. Unité CNRS/Université de Montpellier/École nationale supérieure de chimie de Montpellier. 12. Institut Franche-Comté électronique, mécanique, thermique et optique – sciences et technologies (CNRS/Comue Université de Bourgogne Franche-Comté).



À l'aide de capteurs physiologiques et comportementaux, L'OpenLab Automotive Motion Lab étudie le comportement humain en situation de conduite pour préparer les voitures autonomes.

« Nous créons en moyenne un laboratoire commun tous les quinze jours »

Jean-Luc Moullet, directeur général délégué à l'innovation du CNRS, nous livre son analyse sur ce qui fait la particularité des laboratoires communs et leur pérennité.

Le CNRS vient de signer son 200^e laboratoire commun en activité. Quelle est la tendance autour de cette forme de partenariat et comment l'expliquez-vous ?

Jean-Luc Moullet. Ces dernières années, nous avons observé une augmentation du nombre de créations de laboratoires communs entre le CNRS et ses partenaires académiques, et des entreprises de toute taille. Alors que le CNRS comptabilisait 22 nouvelles créations en 2016, 34 ont été signées en 2019. Aujourd'hui, nous créons donc en moyenne un laboratoire commun tous les quinze jours.

Cette tendance illustre le besoin d'ancrage des relations établies entre les industriels et le monde académique dans un cadre structurant et pérenne. Un LabCom se traduit en effet par une feuille de route définie sur cinq ans en moyenne, qui fixe une

ambition commune sur un thème scientifique dont l'importance est partagée. Il détermine également des moyens permettant de répondre à cette ambition. Enfin, cette forme de collaboration offre un cadre souple qui permet d'accommoder dans le temps différents projets se rapportant à ce thème scientifique et de les faire évoluer dans le cadre d'une gouvernance commune. Un LabCom est donc plus ambitieux et plus exigeant qu'un contrat de collaboration de recherche, ce qui explique aussi que sa création reste plus occasionnelle en comparaison du millier de collaborations de recherches signées tous les ans avec l'industrie. Cela renforce son caractère privilégié.

À première vue, il est difficile d'imaginer qu'un laboratoire commun, qui est la forme de recherche

partenariale la plus intégrée, puisse correspondre à la fois aux exigences de partage de connaissance de la recherche publique et aux intérêts économiques des entreprises. Quelles sont les particularités de ces structures qui soutiennent leur réussite ?

J.-L. M. Aucune collaboration ne commence directement par la création d'un laboratoire commun. Derrière ces structures, il y a avant tout un lien humain et des personnes qui veulent unir leurs efforts. Leur création fait souvent suite à plusieurs années de prestations scientifiques, de co-encadrements de thèses, de contrats de collaborations de recherche, etc. Le temps est donc un allié. Il permet à chaque partenaire de s'acculturer à l'autre et à ses besoins. La réussite des LabComs se construit donc autour de personnes qui se connaissent, qui ont appris à s'estimer et ont bâti une relation de confiance.

Un laboratoire commun est construit sur une thématique, qui répond à la fois à des enjeux scientifiques ambitieux et clairs, mais aussi à des enjeux industriels de long terme. Le choix de cette thématique est donc crucial pour les deux parties, ce qui nécessite de bien comprendre les compétences existantes et les motivations de chacun. Les projets sont ensuite co-construits au sein du LabCom et s'inscrivent naturellement dans cette thématique scientifique d'intérêt conjoint. Une fois en place, le

mode de fonctionnement du laboratoire commun, garanti par une gouvernance, une stratégie et des moyens partagés, renforce cette proximité entre monde académique et monde industriel. L'ensemble permet de conduire une recherche de grande qualité, ce qui est tant apprécié qu'attendu de la part de nos partenaires industriels. Albert Fert en est un très bon exemple puisqu'il a remporté le prix Nobel de physique en 2007 pour sa contribution à la spintronique¹, alors qu'il travaillait dans un laboratoire commun entre le CNRS et Thales.

Au-delà de cette reconnaissance, exceptionnelle s'il en est, l'intérêt des LabComs est bien entendu de faciliter le transfert des résultats de recherche vers l'industrie. La proximité entre le



Jean-Luc Moullet,
directeur général délégué
à l'innovation du CNRS.

monde académique et le monde industriel joue, ici, un rôle de catalyseur. Les résultats de recherche, qui répondent à ces orientations déterminées en amont et conjointement avec nos partenaires industriels, vont ensuite apporter une valeur ajoutée directe au cycle de développement des produits des entreprises. Certains en rupture, et d'autres plus incrémentaux. Ces résultats de recherche vont venir se fondre à un ensemble d'innovations provenant de l'entreprise. C'est aussi cela la recherche partenariale : apporter une brique à l'édifice pour aboutir à des produits hybrides nés d'expertises aussi bien académiques qu'industrielles.

Quelles sont les ambitions du CNRS quant à l'avenir des laboratoires communs ?

J.-L. M. Notre ambition globale est d'abord de répondre aux besoins scientifiques exprimés par nos partenaires industriels. Si la forme du laboratoire commun est une réponse adaptée à ces besoins, ce que l'on pense, alors notre objectif est double. Il s'agit, en premier lieu, de pérenniser nos partenariats actuels. De ce point de vue, le renouvellement des laboratoires communs qui arrivent à terme est un très bon indicateur de satisfaction des entreprises. Il n'est pas exclusif car un LabCom doit aussi pouvoir s'arrêter, notamment lorsque la thématique poursuivie a été suffisamment explorée. Nous sommes particulièrement heureux de constater que certains laboratoires communs existent depuis plus de 20 ans.

Au-delà, notre objectif de moyen terme est de doubler le nombre de laboratoires communs en activité, d'abord en approfondissant les liens avec nos partenaires actuels, mais aussi en développant des relations toujours croissantes avec de nouveaux partenaires industriels. C'est la mission qui est confiée à la Direction des relations avec les entreprises, qui à partir d'une stratégie fondée sur l'approche des filières industrielles, explore de nouvelles opportunités de partenariat avec les entreprises. ||

“La réussite des laboratoires communs se construit autour de personnes qui se connaissent, qui ont appris à s'estimer et ont bâti une relation de confiance.”

1. La spintronique est une technologie qui utilise les propriétés quantiques du spin de l'électron, avec des applications notamment dans le stockage de l'information.

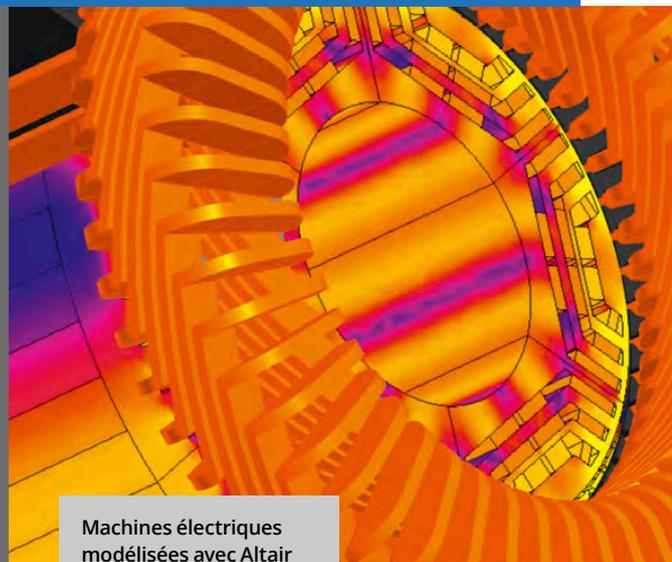
La réussite à la clé

Les LabComs ont su séduire petites, grandes et moyennes entreprises aux besoins et aux moyens pourtant si variés. Voici quatre exemples de collaborations fructueuses.

Avec Altair, un logiciel dans le top 3 mondial depuis trois décennies

Associés depuis plus de 40 ans, le Laboratoire de génie électrique de Grenoble* et le grand groupe Altair Engineering – acteur majeur du secteur du logiciel de simulation pour l'industrie – poursuivent le développement du programme Flux au sein de leur laboratoire commun depuis 2017. Celui-ci modélise les champs électromagnétiques et thermiques présents dans des machines ou des objets électriques, allant du simple composant au système électronique complet d'une voiture. Il aide ainsi à la conception de ces produits auxquels il apporte un meilleur rendement énergétique, un poids réduit ou encore une utilisation optimisée des matières premières. Les travaux plus récents de la collaboration visent à augmenter la précision et la vitesse des algorithmes du logiciel. Avec plus de 700 entreprises clientes, Flux est particulièrement prisé par le secteur automobile pour accompagner l'électrification des véhicules.

* Unité CNRS/Université de Grenoble Alpes/Grenoble INP.



Machines électriques modélisées avec Altair Flux en 3D.

© ALTAIR ENGINEERING INC.

Avec Manoir Industries, un partenariat pour des aciers high-tech

© MANOIR INDUSTRIES



Opération de coulée par centrifugation.

Le Groupe de physique des matériaux* et le spécialiste de la transformation des métaux, Manoir Pitres (filiale de Manoir Industries), ont développé de nouveaux alliages métalliques à haute performance grâce au laboratoire commun de recherche Ipers créé en 2016. La résistance de ces alliages en font d'excellents matériaux pour construire des fours supportant des conditions extrêmes, utilisés notamment dans les domaines de la pétrochimie et du nucléaire. En 2017, les recherches communes ont abouti à l'invention et la commercialisation d'un alliage plus résistant et économe en énergie appelé Manaurite® XA14, dont les ventes représentent un tiers des tubes de vapocraquage de l'entreprise. De nouveaux travaux portent désormais sur la détection de l'usure et du vieillissement des alliages directement sur des fours en activité chez les clients de Manoir Pitres.

* Unité CNRS/Insa Rouen/Université Rouen Normandie/Normandie Université.

Avec Poujoulat, bientôt 10 ans de collaboration sur la sécurité incendie

L'Institut Pprime¹ et le groupe Poujoulat, leader européen des conduits de cheminée et sorties de toit en inox, sont associés depuis 2012 et ont formé le laboratoire commun Optifum en 2018. Leur collaboration vise à améliorer l'un des dispositifs d'isolation mis au point par l'industriel : le système Coqisol. L'objectif : réduire les pertes d'air et de chaleur dans les conduits de cheminée. Plus de 150 000 systèmes Coqisol ont été vendus depuis le début du partenariat et tous les conduits vendus par le groupe en sont désormais équipés. Commercialisé dans toute l'Europe, le dispositif a permis au groupe de se positionner stratégiquement face à l'évolution du marché à travers les normes européennes. Les travaux de la collaboration se sont depuis élargis à diverses questions autour de l'étanchéité et de la sécurité incendie de ces conduits.

1. Unité propre CNRS.



Essai de tenue thermomécanique du conduit de cheminée en sollicitation extrême au feu.

Avec Itasca Consultants S.A.S, une meilleure connaissance des risques de stockage en profondeur

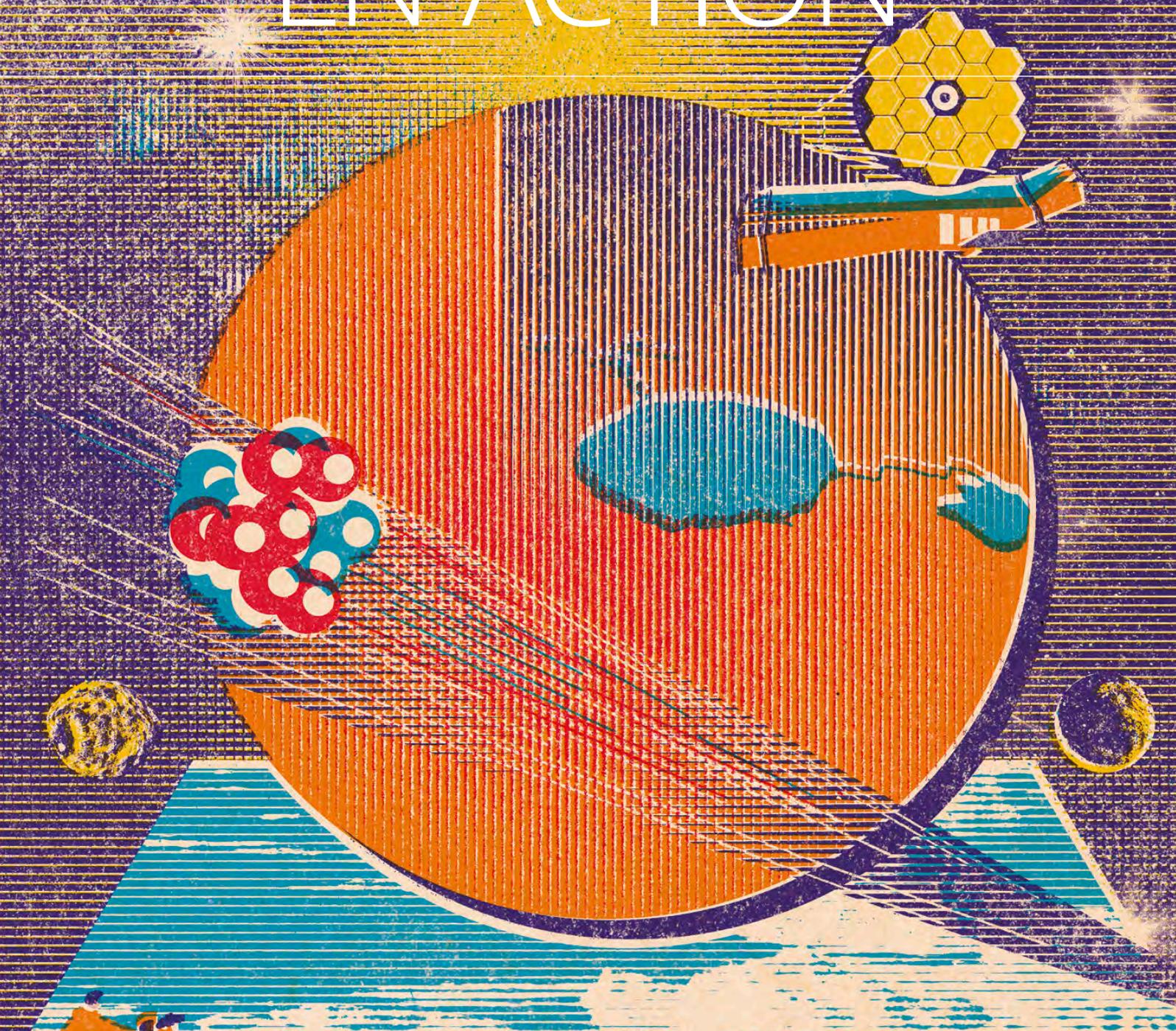
Les milieux géologiques fracturés sont des zones souterraines complexes qui fournissent des conditions de profondeur et d'isolation propices à l'enfouissement de déchets nucléaires. Spécialisée dans la modélisation des sols et la géomécanique à destination entre autres des industries minières, l'entreprise Itasca Consultants S.A.S comble le manque d'expertise et de solutions techniques sur l'étude de ces environnements. Son développement a été soutenu par son association avec Géosciences Rennes¹ et l'Observatoire des sciences de l'Univers de Rennes², partenaires de l'entreprise au sein du laboratoire commun Fractory créé en 2018. Cette collaboration a notamment conduit au développement de deux plateformes informatiques et une meilleure modélisation des risques liés à l'enfouissement des déchets nucléaires. Une réussite qui a entraîné le doublement du chiffre d'affaires de l'entreprise sur son secteur des milieux géologiques fracturés.

1. Unité CNRS/Université Rennes 1. 2. Unité CNRS/Université Rennes 1/Université Rennes 2/Inrae/Institut Agro.

Simulation des écoulements hydrauliques sur une topographie haute-résolution (bassin versant de Cruz, États-Unis), réalisée avec la plateforme RIVER.lab.

© PHILIPPE DAVY

EN ACTION



*Les scientifiques scrutent l'Univers
comme la peinture flamande,
conçoivent des génomes artificiels et
modélisent la banquise qui se fissure.*

Le télescope James Webb à la découverte de l'Univers ancien

UNIVERS

ASTROPHYSIQUE Après de nombreux contretemps, le télescope spatial James Webb devrait enfin être lancé le 18 décembre. Ses instruments ont été conçus pour observer les objets les plus lointains.

PAR MARTIN KOPPE

Il est annoncé comme cent fois plus puissant que Hubble, opérationnel depuis maintenant trente et un ans. Lorsqu'il déploiera son miroir de 6,50 mètres d'envergure, il deviendra le plus grand observatoire en orbite. C'est peu dire que le télescope spatial James Webb (JWST) de la Nasa, dont le lancement est prévu pour le 18 décembre, est attendu par la communauté astronomique mondiale... La préparation n'aura pas été simple : il est si large qu'il aura fallu des trésors d'ingénierie pour le plier avec ses dix-huit miroirs hexagonaux, afin qu'il tienne dans la coiffe d'un lanceur *Ariane V*. Mais le jeu en vaut la chandelle : il devrait offrir des possibilités inédites d'examen de galaxies aussi lointaines qu'anciennes ou de systèmes planétaires dans notre Voie lactée. Plusieurs équipes du CNRS sont impliquées dans ce programme.

L'infrarouge pour voir loin

« Le JWST comble un manque entre Hubble, qui ne s'aventure que dans le proche infrarouge, et les télescopes spatiaux Herschel et ISO¹ de l'Agence spatiale européenne (ESA), qui plongent dans l'infrarouge lointain, avance Daniel Rouan, directeur de recherche émérite au Laboratoire d'études spatiales et d'instrumentation en astrophysique². Ce nouveau télescope offrira des observations à des longueurs d'onde comprises entre un demi et trente micromètres, avec d'énormes gains de sensibilité. Ces rayonnements permettent de scruter des objets plutôt froids, comme la poussière et le gaz interstellaire des galaxies, dont la nôtre, les planètes, mais aussi des galaxies très lointaines. Pour ces dernières, qui ne sont pas froides, l'expansion de l'Univers provoque en effet un décalage apparent des émissions d'énergie vers l'infrarouge. »

Certaines molécules sont également plus faciles à détecter dans ces fréquences. L'hydrogène, le principal composant du milieu interstellaire, est par exemple presque invisible en dehors de ces émissions de la bande infrarouge. Pour des observations au niveau du sol, les rayonnements infrarouges en provenance de l'espace sont absorbés par l'atmosphère. C'est d'ailleurs cette

absorption qui est à l'origine de l'effet de serre causé par des gaz comme le dioxyde de carbone et la vapeur d'eau.

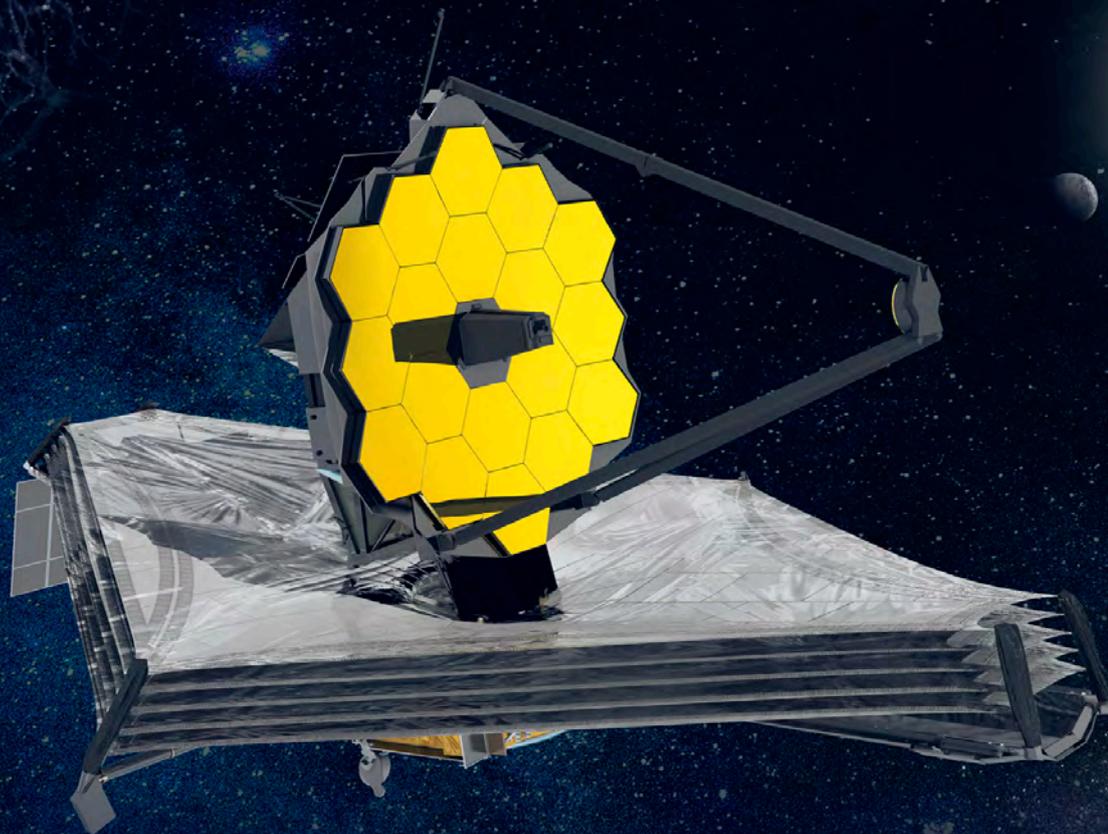
À 1,5 million de kilomètres de la Terre, à une distance quatre fois celle de la Terre à la Lune, le JWST s'affranchira de ces vicissitudes. Enfin, cet environnement l'aidera à maintenir une température suffisamment basse pour que le rayonnement thermique du JWST émis dans l'infrarouge ne brouille pas le signal utile.

Scruter le cœur des galaxies

JWST sera équipé de quatre instruments. NIRCам, NIRSpec et Niriss sont respectivement une caméra, un spectromètre multiobjet et un spectromètre grand champ spécialisés dans le proche infrarouge. Développé en Europe avec une forte participation du Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives, Miri³ est quant à lui une caméra et un spectromètre agissant dans l'infrarouge moyen de 5 à 28 micromètres de longueur d'onde.

« Miri est très important car il couvre un domaine de longueur d'onde unique et crucial pour l'astrophysique. Très versatile, il réalise à la fois de l'imagerie et une spectroscopie qui permet de détecter des raies d'énergie bien particulières », souligne Daniel Rouan. Le chercheur espère scruter le cœur des galaxies abritant un trou noir supermassif, ainsi que des exoplanètes. Pour imager ces dernières, on doit utiliser des coronographes pour masquer la lumière de leur étoile. Daniel Rouan a d'ailleurs inventé le principe de trois des quatre coronographes de Miri. NIRCам vise des longueurs d'onde inférieures à cinq micromètres. Quant

1. *Infrared space observatory*, observatoire spatial infrarouge. 2. Unité CNRS/Observatoire de Paris-PSL/Sorbonne Université/Université de Paris. 3. *Mid-infrared instrument*. 4. Unité CNRS/Université Toulouse Paul Sabatier/Cnes. 5. Unité CNRS/Observatoire de la Côte d'Azur.



► Vue d'artiste du télescope spatial James Webb (JWST).

à NIRSpec, il peut obtenir le spectre de plusieurs objets à la fois, là où Miri les étudie un par un. Niriss combine les possibilités des trois autres.

Remonter aux origines de l'Univers

Si les équipes qui ont participé à la création des instruments du JWST bénéficieront d'un temps d'observation garanti, les autres devront postuler à des appels d'offres. C'est ainsi que le projet d'Olivier Berné, chercheur CNRS à l'Institut de recherche en astrophysique et planétologie⁴, a été sélectionné parmi une centaine de propositions. « Nous nous intéressons à la nébuleuse d'Orion, car le consensus scientifique actuel considère qu'elle présente un environnement semblable à celui de la formation de notre Système solaire, à proximité d'étoiles particulièrement massives », explique Olivier Berné. L'observer permettrait d'étudier la composition des gaz et des poussières avant l'effondrement des nuages stellaires qui aboutit à la formation d'une étoile et du disque planétaire. « Nous voulons comprendre les ingrédients de départ nécessaires à la cuisine qui mènent jusque-là », explique le chercheur.

L'équipe disposera de 35 heures d'observation en septembre 2022. « Nous nous préparons depuis 2014 avec des simulations et des observations depuis le sol, raconte Olivier Berné. Tous les réglages des observations doivent être le mieux optimisés pour récupérer les meilleures données possible quand ce sera notre tour, un peu comme pour prendre une photo professionnelle. La différence est que nous devons régler un télescope de plus de six tonnes, situé à 1,5 million de kilomètres, avec une précision de la taille d'un cheveu pour

capturer un maximum de photons. Mais nous allons gagner tellement de détails en retour que j'aime dire que nous allons passer d'un tableau impressionniste à du réalisme hollandais ! »

Nicole Nesvadba, chercheuse CNRS au laboratoire J.-L. Lagrange⁵ et en charge du programme « temps ouvert » du JWST, a quant à elle obtenu trois créneaux. « Nous travaillons sur les trous noirs supermassifs situés au cœur des quasars : des noyaux très actifs et lumineux des galaxies, dévoile-t-elle. Ces objets pourraient déterminer la formation d'étoiles et la croissance en masse de leurs galaxies hôtes les plus massives, et nous voulons comprendre comment. Le JWST nous permettra d'observer ces processus à travers presque toute l'histoire de l'Univers, jusqu'aux tout premiers de ces trous noirs. »

Les chercheurs ont ainsi hâte de voir le JWST en fonction. Le projet a en effet pris un retard considérable et certaines équipes attendent depuis des années de reprendre la mission. « Le premier planning prévoyait un lancement en 2008, souligne Daniel Rouan. Certains industriels américains ont eu des estimations assez "particulières" des coûts et le Congrès a bien failli tout arrêter en réponse. Les équipes européennes, académiques comme industrielles, ont livré à temps tous les instruments dont elles étaient responsables. » Plus de vingt ans après le début du projet, James Webb est enfin prêt à devenir un acteur incontournable de l'observation spatiale. ||



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

Une ambition commune pour la recherche française

+ Lire l'intégralité de l'entretien sur CNRS Info : <https://bit.ly/3b003F6>

ENTRETIEN Le 22 juillet, François Jacq, administrateur général du CEA et Antoine Petit, président-directeur général du CNRS, ont signé un nouvel accord-cadre. Une occasion pour les deux dirigeants de partager leur vision des enjeux actuels de la recherche en France.

PROPOS RECUEILLIS PAR SYLVIE RIVIÈRE ET LAURENCE STENVOT

Signé pour une durée de 5 ans, le nouvel accord de recherche CEA-CNRS vient renforcer une collaboration de longue durée et déjà fructueuse. Quelles en sont les ambitions ?

François Jacq. Notre accord atteste de cette volonté de mobilisation commune. Il a été construit pour nous permettre, ensemble, de relever un certain nombre de grands défis sociétaux dans un paysage de la recherche en mutation. Au travers de programmes de recherche communs, mais aussi via les Programmes et équipements prioritaires de recherche (PEPR) que nous copilotons (technologies quantiques - cybersécurité - hydrogène décarboné), avec Inria pour deux d'entre eux. Plus que l'accord lui-même, c'est la coopération enthousiaste et ouverte, quotidienne et concrète, qui existe entre nos deux organismes, que je souhaite souligner.

Antoine Petit. Cet accord est symboliquement important, à la fois en interne et vis-à-vis des pouvoirs publics, par le message qu'il porte : les deux plus grands organismes de recherche français, qui figurent parmi les plus importants au niveau international, affichent une convergence de vue. François et moi, nous nous connaissons maintenant depuis une quinzaine d'années, et je peux témoigner de la liberté et du climat de confiance dans nos échanges. Cette entente bénéficie également à nos équipes. C'est une vertu pour que le système fonctionne.

F. J. Les cultures et les positionnements de nos établissements ne sont pas les mêmes. Nos approches sont complémentaires, celle du CEA étant peut-être davantage tournée vers des enjeux d'interface avec le monde économique, de technologie, d'innovation, tout en s'enrichissant d'une science de base reconnue au plan international.

Quels sont pour vous les grands enjeux actuels pour la recherche française ?

F. J. Nos sociétés contemporaines évoluent dans un monde marqué par de profondes ruptures scientifiques et technologiques, avec, par exemple, l'irruption massive du numérique. La situation est aussi paradoxale : la recherche est à la fois perçue comme positive parce qu'elle contribue au savoir et à l'innovation tout en suscitant parfois la méfiance, soit par les conséquences des découvertes, soit par les incertitudes qui demeurent. La manière dont la recherche s'adapte à ces évolutions, dans un contexte de défis sociétaux que sont les transitions écologique, énergétique, numérique et de la médecine du futur, est fondamentale.

A. P. Un véritable enjeu est aussi de préserver l'excellent niveau global de la recherche française à l'international. La compétition mondiale en recherche est beaucoup plus féroce qu'il y a trente ans. L'exemple le plus frappant est celui de la Chine, qui est devenu un très grand pays scientifique. Nous devons y être attentifs, car le risque de décrochage de la recherche française, voire européenne, dans certains domaines est réel.

Le paysage de la recherche française se transforme avec des nouvelles universités clusters comme Paris-Saclay, ou encore un rapprochement entre le monde industriel et la recherche académique... Que pensez-vous de ces évolutions ?

A. P. Les mentalités évoluent. Les chercheurs travaillent beaucoup plus volontiers avec les industriels qu'il y a trente ans, et les industriels comprennent mieux tout l'intérêt de travailler avec un organisme de recherche tel que le CNRS. Développer des relations plus étroites avec les industriels, tout en assumant notre métier de base qui consiste à faire de la recherche fondamentale, est devenu au fil des ans l'une de nos priorités. Les grands défis de société ou les grandes questions industrielles ne peuvent s'aborder avec des approches mono-disciplinaires. Ils nécessitent des coopérations entre les sciences, y compris bien sûr les sciences humaines et sociales. Au sein du CNRS, qui a la



© CURIE FRÉLILLON / CNRS PHOTO THÉÂTRE

chance d'avoir un spectre très large, faire travailler ensemble les équipes de nos dix instituts est un enjeu majeur car c'est une force.

F. J. Se placer à l'interface entre les acteurs (de la recherche académique au monde industriel) est une compétence que le CEA a développée de longue date. Il réunit d'ailleurs en son sein une grande diversité d'approches. Au-delà, même si nous disposons de technologies et de savoir-faire, cela ne suffit pas. Encore faut-il pouvoir créer les conditions qui permettent d'en tirer tout le profit. L'exemple récent de l'essai de création d'une filière française de production d'hydrogène décarboné est en cela emblématique, avec l'alliance entre le CEA et un industriel comme Schlumberger. L'écosystème grenoblois est aussi une très belle réussite où le CEA a joué un rôle de catalyseur, je pense. Les politiques de sites et l'émergence de clusters, comme l'université Paris-Saclay ou l'université Grenoble Alpes, dans lesquelles le CEA est partie prenante, marquent désormais le paysage et sont un atout. Ces lieux, qui réunissent des compétences variées, donnent une force d'impact et une capacité de mobilisation autour des grands enjeux, mais aussi pour inventer de nouvelles approches.

A. P. La création de ces universités de grande taille est en effet une chance pour la recherche française. Et le CNRS se réjouit de leur montée en puissance dans les classements internationaux. Nous sommes fiers d'en être des partenaires privilégiés. Il nous faut maintenant développer des collaborations plus individualisées et reposant davantage sur des stratégies scientifiques partagées.

► François Jacq et Antoine Petit, au siège du CNRS à Paris, le 22 juillet 2021.

On constate depuis plusieurs années une défiance à l'égard de la parole publique, et plus récemment des experts, y compris des scientifiques. Comment y répondre ?

F. J. La défiance à l'égard de la parole publique, des experts, y compris des scientifiques, n'est pas un sujet nouveau. Face à cela, nous devons réexpliquer les mécanismes du fonctionnement de la recherche : la réalité de la pratique scientifique, sa complexité, sa progression par le débat, la controverse. Et réfléchir à la manière de porter les savoirs et de les partager, en sortant d'une posture de « savoir immaculé ». Dans cette réflexion, les sciences humaines et sociales peuvent nous aider.

A. P. Constate-t-on plus de défiance ? Je n'en ai jamais vu la démonstration. Internet et les réseaux sociaux ont simplement davantage mis en avant des opinions. Mais je crois que les citoyens ont une vraie soif de savoir. Pour autant, tout n'est pas discutable : la Terre n'est pas plate ! À nous de mieux expliquer ce qu'on sait, ce qu'on ne sait pas. La science, c'est le doute permanent. L'expertise scientifique collective, c'est-à-dire validée par les pairs, qui se construit et s'accumule au fil du temps, est aussi une notion essentielle à comprendre et à partager. Des institutions comme le CNRS ou le CEA pourraient se porter garants de cette expertise, même si cela serait une grande responsabilité pour nous. ||



© ERWAN AMICE/LEMAR/CNRS PHOTOTHÈQUE

La mécanique de la banquise

MATIÈRE

TERRE

GÉOPHYSIQUE Les grands modèles climatiques sont basés sur une imbrication de modèles plus spécifiques, en constante interaction. Mais ceux décrivant le comportement de la banquise se sont révélés obsolètes... des chercheurs en façonnent de nouveaux, à l'aide de concepts issus de la mécanique.

PAR MARTIN KOPPE

Entre 1994 et 2017, la planète Terre a perdu 28 000 milliards de tonnes de glace¹. Cette fonte catastrophique, alimentée par le changement climatique, prend différentes formes. Si la banquise ne représente qu'une petite partie de cette perte, surtout en comparaison aux calottes glaciaires bien plus épaisses, son déclin joue un rôle important sur le climat des hautes latitudes : elle sert en effet d'isolant entre l'océan et l'atmosphère.

De plus, la banquise, constituée d'eau de mer gelée, ne présente pas les mêmes caractéristiques que les glaciers ou le pergélisol, le sol gelé en permanence. Elle est aussi soumise à

des efforts spécifiques, comme les vents et les courants marins, qui entraînent sa dérive, sa déformation et sa fracturation. La banquise se dégrade donc différemment. « Si on aborde la fonte de la banquise sans tenir compte des dynamiques et de la mécanique spécifiques à la glace d'eau de mer, on ne peut absolument pas comprendre le phénomène, appuie Jérôme Weiss, physicien à l'Institut des sciences de la Terre² et lauréat de la médaille d'argent du CNRS 2021. On sous-estime alors l'ampleur et l'évolution de la dégradation de la banquise, que ce soit sur quelques années ou sur plusieurs décennies. »

Les grands modèles climatiques reposent sur toute une série de modèles plus spécifiques interagissant entre eux. Ceux-ci peuvent représenter les courants marins, le vent, les réactions des polluants et des gaz à

1. *The Cryosphere*, 15, 233-246, 2021. <https://doi.org/10.5194/tc-15-233-2021> 2. Unité CNRS/Université Savoie Mont-Blanc/IRD/Université Grenoble Alpes. 3. Dansereau, V., Weiss, J., Saramito, P. et Lattes, P., "A Maxwell-Elasto-Brittle rheology for sea ice modeling", *The Cryosphere*, 10, 1339-1359, 2016. <https://doi.org/10.5194/tc-10-1339-2016>.

► Banque en fragmentation sur la côte nord-est du Groenland.

effet de serre dans l'atmosphère... et aussi, donc, les mécanismes propres à la banquise. « *Le schéma classique de modélisation rhéologique de la banquise ne fonctionne malheureusement pas correctement, car il n'est pas basé sur la bonne physique, souligne Jérôme Weiss. De plus, ceux qui ont conçu ces modèles, dans les années 1970, ne disposaient ni des données ni des moyens numériques auxquels nous avons à présent accès.* » Le chercheur et ses collègues ont donc allié bases de données et concepts issus de la mécanique pour tenter de comprendre le phénomène.

Données en milieux extrêmes

Les données utilisées pour étudier le comportement de la banquise proviennent de deux grandes sources, issues de campagnes scientifiques souvent compliquées par l'immensité et les conditions extrêmes de l'Arctique et de l'Antarctique. D'abord, des bouées fixées sur la glace de mer envoient des coordonnées GPS tandis qu'elles dérivent avec la banquise. Elles captent également des informations météorologiques comme la température de l'air ou la vitesse du vent. Ensuite, de manière plus ponctuelle, d'autres équipes placent des capteurs de contrainte en forant la glace. Ces tubes enregistrent la compression et la déformation de la banquise.

Le voilier *Tara*, à l'origine consacré à l'exploration des pôles, a en tout cas fourni les meilleures données sur la mécanique de la banquise. La goélette a navigué au nord de la Sibérie pour se laisser volontairement prendre dans les glaces, puis a dérivé avec elles pendant un an et demi, jusqu'à atteindre le détroit de Fram qui sépare le Groenland du Svalbard. Les équipes à bord du navire sont ainsi restées à proximité des capteurs pour assurer leur maintenance, obtenant davantage d'informations qu'en les abandonnant à la merci d'un environnement hostile.

« *Le principe de base de la mécanique des solides est d'étudier les liens entre les contraintes appliquées à un objet et les*

déformations qu'il subit, et ainsi d'établir un modèle rhéologique, décrit Jérôme Weiss. La combinaison de différentes bases de données prises sur le terrain nous aide justement à le faire. »

Premier schéma de modélisation

La façon dont les balises se dispersent au cours du temps permet en effet d'établir un véritable champ de déformation. Reste à rassembler ces informations pour développer un modèle rhéologique utilisable. « *Je ne suis pas à la base un modélisateur, j'ai donc dû collaborer avec des mathématiciens pour surmonter certains problèmes ardu, précise Jérôme Weiss. C'est grâce à plusieurs doctorants que nous avons pu développer notre premier schéma de modélisation de la mécanique de la glace de mer, testé et validé par les observations sur le terrain* ».

Il n'a cependant pas encore été implémenté dans des modèles climatiques à cause de difficultés numériques et conceptuelles. Les chercheurs sont en effet souvent limités par la puissance de calcul que réclament les simulations les plus détaillées. Elles doivent malgré tout respecter les résolutions et contraintes des modèles dans lesquelles on souhaite les insérer.

Si les glaciers et les calottes polaires s'écoulent, sous l'effet de leur propre poids, de manière très lente et relativement homogène dans le temps et l'espace, la banquise est bien plus difficile à modéliser. Elle est constamment parcourue de fractures qui apparaissent et se referment. L'ouverture de telles fractures forme des chenaux d'eau libre, qui peuvent ensuite regeler, formant une nouvelle glace qui est moins épaisse et ne présente pas les mêmes propriétés que la banquise alentour.

Mécanique de l'endommagement

La fermeture de ces chenaux et la compression des plaques de glace peuvent également faire jaillir des crêtes de plusieurs mètres de large et d'épaisseur, bien connues des explorateurs des pôles qui effectuent



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

parfois de longs détours pour les contourner. « *Une modélisation exacte des effets des fractures et crêtes de compression aurait demandé une puissance de calcul irréaliste, poursuit Jérôme Weiss. Nous avons choisi d'utiliser la mécanique de l'endommagement, défini comme la dégradation des propriétés élastiques d'un matériau.* »

La déformation de la banquise est ainsi interprétée comme un amollissement moyen de celle-ci, où les endroits les plus mous, et donc les plus endommagés, correspondent aux fractures. Ces éléments ne supportent pas les efforts qui sont appliqués à la banquise et les redistribuent aux alentours : la rupture se propage alors de proche en proche.

« *Nous générons quelque chose qui colle aux observations satellites et de terrain, avec une résolution de l'ordre du kilomètre* », se réjouit Jérôme Weiss. Deux de ses anciens étudiants ont d'ailleurs récemment obtenu un financement de 10 millions de dollars, de la part d'une fondation américaine, afin de proposer un nouveau schéma qui sera directement transposable aux modèles climatiques. ▮

► La goélette *Tara* enchâssée dans la banquise arctique lors de sa dérive transpolaire, en avril 2007.



Sur la piste des génomes artificiels

VIVANT

NUMÉRIQUE



© D.R.

BIOINFORMATIQUE C'est une recherche dont l'originalité n'est pas passée inaperçue : des scientifiques ont créé des génomes artificiels extrêmement réalistes grâce à des réseaux de neurones artificiels. Explications avec Flora Jay qui a coordonné ces travaux.

PROPOS RECUEILLIS PAR SEBASTIÁN ESCALÓN

Votre domaine de recherche est au croisement de l'informatique et de la génétique. Quelles sont les grandes questions que vous vous posez ?

Flora Jay¹. Pour préciser, je dirai que mon champ de recherche est entre l'informatique, la génétique, mais aussi les mathématiques et la statistique. À partir de données génétiques, j'essaie de reconstruire l'histoire démographique des populations. Par exemple, comment des espèces ou des populations se sont séparées puis de nouveau mélangées, ou comment certains facteurs ou événements ont conduit à la sélection de certaines versions des gènes. Dans mes recherches, il y a des aspects écologiques, historiques, médicaux.

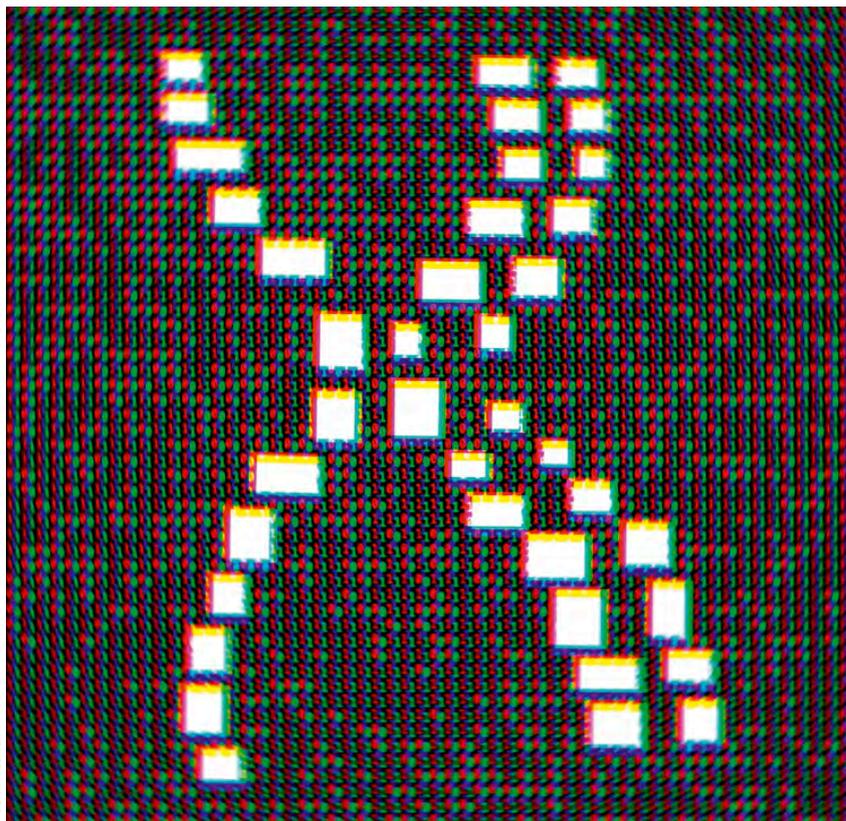
Vous avez publié cette année une recherche² qui a fait sensation puisque vous avez réussi à créer des morceaux de génomes réalistes, conçus grâce à des réseaux de neurones artificiels. Pourriez-vous nous rappeler tout d'abord ce que sont ces réseaux ?

F. J. Un réseau de neurones est un modèle statistique qui permet d'apprendre et d'approcher des fonctions complexes. En l'entraînant sur un jeu

de données, il peut apprendre à réaliser des tâches difficiles. Par exemple, supposons que vous voulez l'entraîner à reconnaître un chat d'un chien sur des images. Au début, le réseau choi-

▲ Illustration montrant un chromosome émergent du bruit.

sit au hasard et se trompe une fois sur deux. Mais, à force de se tromper et de se corriger, il finit par apprendre à les distinguer. Avec Burak Yelmen, premier auteur du papier, nous nous sommes demandé si ces méthodes de *machine-learning* (apprentissage machine) pourraient nous aider à imiter des données génétiques. Nous sommes parvenus à entraîner un réseau de neurones sur une grande base de génomes, la biobanque estonienne, et une fois entraîné, nous avons pu créer des portions de génomes réalistes. Ces bouts de



© BURAK YELMEN

1. Chargée de recherche CNRS au Laboratoire de recherche en informatique/Laboratoire interdisciplinaire des sciences du numérique (CNRS/Université Paris-Saclay). 2. "Creating artificial human genomes using generative neural networks", B. Yelmen, A. Decelle, L. Ongaro *et al.*, *Plos Genetics*, 4 fev. 2021. <https://doi.org/10.1371/journal.pgen.1009303>

génomés gardent les traits caractéristiques des génomes d'origine, mais en réalité, ils n'appartiennent à aucun individu véritable.

Vous obtenez une sorte de portrait-robot des génomes de la base de données ?

F. J. Pas tout à fait. Un portrait-robot cherche à imiter le visage de quelqu'un. Ici, on n'imité pas un génome en particulier. On obtient des séquences réalistes, impossibles à distinguer d'un vrai génome, mais qui n'appartiennent à personne. Nous sommes plus proches de ces visages synthétiques, créés par ordinateur, qui n'existent pas dans la réalité.

Quelles sont les applications possibles de ces génomes artificiels ?

F. J. De nombreuses banques génétiques, en particulier privées, ne permettent pas l'accès à leurs données aux chercheurs pour des raisons financières, mais parfois aussi de confidentialité. En effet, lorsqu'on a beaucoup de génomes et si la population d'où ils sont issus n'est pas très grande, on peut finir par reconnaître à qui ils appartiennent à partir des liens familiaux et d'informations comme l'âge ou des traits caractéristiques. Cela pose des problèmes éthiques car, à partir de génomes, on peut remonter de manière plus ou moins fiable à des informations confidentielles comme l'ascendance génétique, des liens de parentalité, des risques augmentés d'avoir une maladie. Or, les données publiques ont permis de nombreuses découvertes en génétique des populations et il serait heureux que les chercheurs puissent aussi utiliser les données privées.

Notre méthode pourrait apporter une solution. Grâce à l'apprentissage machine, on pourrait construire des génomes artificiels qui procurent des informations importantes sur la population étudiée, mais qui n'appartiennent à aucun individu véritable. Ces génomes artificiels pourraient alors servir à la recherche biomédicale ou génétique des populations, ou autres.

De quelle manière ?

F. J. Prenons par exemple un chercheur qui s'intéresse à la part de génome de Néandertal qu'il y a dans une population contemporaine. Si, pour des raisons de confidentialité, il n'a pas accès aux données génétiques réelles de cette population, il pourrait utiliser comme proxy nos génomes artificiels. Créés à partir des données génétiques de cette population, ils en garderaient les caractéristiques, et devraient donc aussi garder la trace de cet ADN ancien.

Y-a-t-il une autre application à ces méthodes ?

F. J. C'est encore très prospectif, mais grâce à l'entraînement de réseaux de neurones, on peut identifier des régions atypiques sur lesquelles s'est peut-être exercée une pression de sélection. Par exemple, la mutation qui permet la digestion du lactose pourrait ainsi ressortir, ou alors des régions liées à la résistance à des pathogènes. Une fois identifiées, les chercheurs pourraient se pencher plus en détail sur ces régions.

Quelle suite allez-vous donner à ce travail ?

F. J. Burak Yelmen vient de rejoindre le laboratoire et, avec l'équipe Tau d'Inria, nous avons plein d'idées. Par exemple, nous voulons trouver une méthode élégante afin de passer de portions de génomes de quelques millions de paires de bases à un génome artificiel complet qui en contiendrait environ trois milliards. Nous voulons aussi développer des indicateurs qui permettent d'évaluer le degré de réalisme des génomes artificiels et de nous assurer qu'il n'y a pas de fuite d'information à partir de génomes réels.

Un autre volet de mes travaux avec les réseaux de neurones est de les utiliser dans la recherche sur les bactéries, en collaboration avec Jean Cury. Le but est d'utiliser ces méthodes d'apprentissage statistique pour suivre l'évolution de populations bactériennes et voir l'impact d'événements comme l'arrivée de nouveaux antibiotiques. II

En bref

Covid-19

Mois après mois, la recherche reste mobilisée pour accroître les connaissances sur le SARS-CoV-2 et lutter contre l'épidémie, comme en attestent les nombreux résultats publiés ces dernières semaines par les équipes du CNRS.

Dans la revue *Nature* du 21 octobre, des scientifiques ont par exemple montré qu'une primovaccination avec deux vaccins différents serait plus efficace qu'une vaccination avec deux vaccins identiques. Une autre collaboration a conçu un chatbot permettant de répondre de manière personnalisée aux questions des personnes curieuses ou hésitantes à se faire vacciner, et démontré son efficacité dans un article publié le 28 octobre dans la revue *Journal of Experimental Psychology: Applied*. Une collaboration internationale a de son côté identifié pour la première fois un effet direct du coronavirus sur les vaisseaux sanguins du cerveau ; un résultat publié le 21 octobre dans *Nature Neuroscience* qui interroge notamment sur les conséquences à long terme de la maladie.

À suivre :

>> cnrs.fr/fr/cnrsinfo/coronavirus-sur-le-front-scientifique
>> lejournel.cnrs.fr/covid19

INNOVATION

L'appel Accelerator de l'European Innovation Council (EIC) a pour objectif de soutenir des start-up et petites entreprises. Parmi les 65 start-up retenues lors du dernier appel, 12 start-up sont françaises dont cinq issues de laboratoires du CNRS et de ses partenaires : Alice & Bob et EVerZom (lire p. 23), Qubit Pharmaceuticals, Lactips et Aenitis. Elles recevront des financements allant de 2 à 10 millions d'euros afin d'assurer leur développement.

PARTENARIAT

Le CNRS et Météo-France ont renouvelé le 13 octobre leur convention-cadre signée en 2016. D'une durée de cinq ans, elle vient renforcer la nature et l'intensité de leur collaboration sur le développement de la connaissance de la prévision météorologique, du changement climatique et de la qualité de l'air. Les deux institutions partagent déjà deux unités de recherche ainsi que des infrastructures de recherche communes, et collaborent au sein de nombreux programmes de recherche.



Le mystère résolu des Zen stones

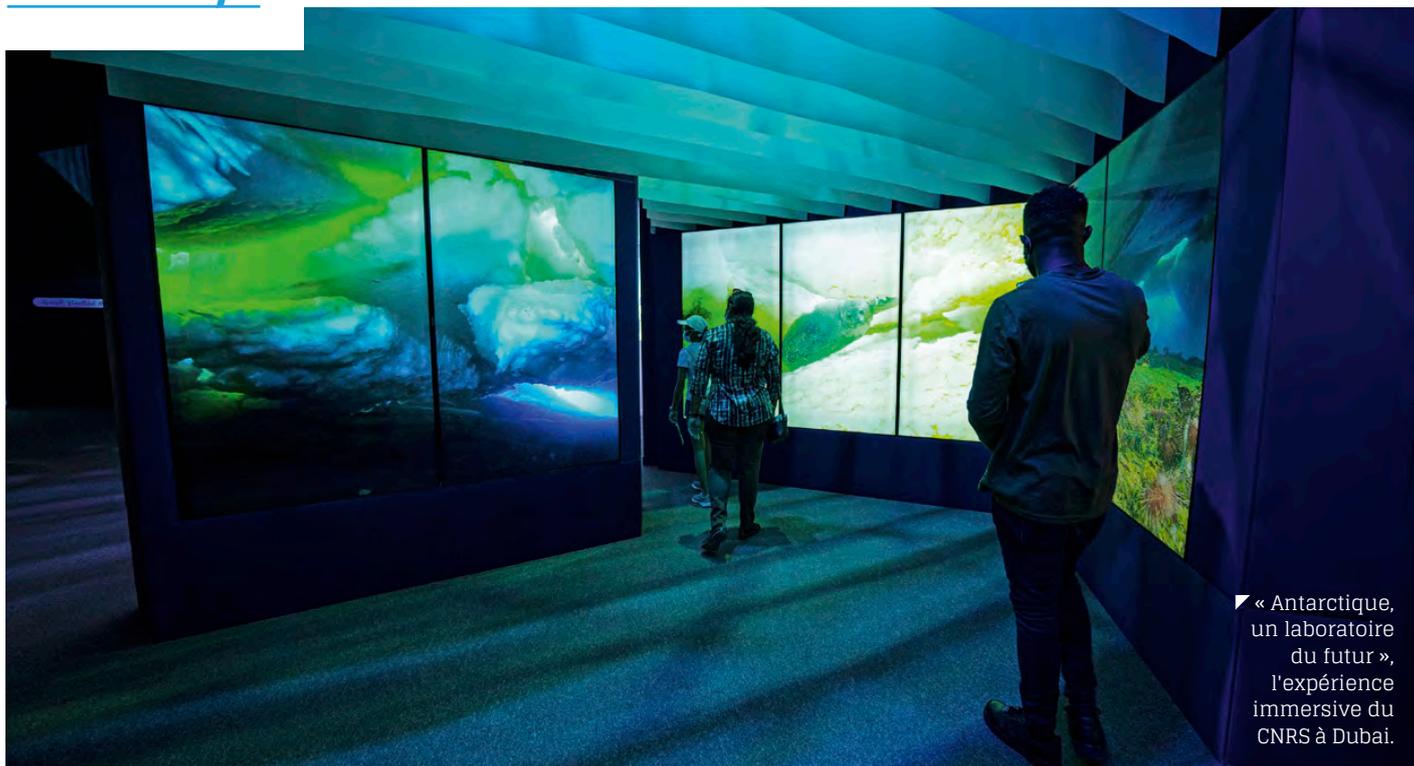
MATIÈRE

TERRE

Telles des œuvres d'art trônant dans un musée, certains galets se retrouvent, dans la nature, sur un piédestal de glace sans intervention humaine. Ces « Zen stones », nommées en référence aux galets en équilibre dans les jardins japonais, apparaissent à la surface des lacs gelés, notamment celle du lac Baïkal (Russie). Ces structures sont le résultat d'un phénomène de sublimation, qui fait passer un corps, ici la glace, de l'état solide à gazeux sans

l'intermédiaire liquide. C'est ce que viennent de démontrer des chercheurs du CNRS et de l'université Claude Bernard Lyon 1¹ en reproduisant ce phénomène en laboratoire : l'ombre du galet limite le rayonnement solaire nécessaire à la sublimation de la glace, permettant ainsi de sculpter le piédestal. Ces travaux, qui ont permis de mettre en évidence et de comprendre l'un des rares phénomènes de sublimation dans un contexte naturel sur Terre, ont été publiés dans la revue *PNAS*².

1. Les chercheurs impliqués travaillent au Laboratoire de physique (CNRS/ENS de Lyon). 2. <https://doi.org/10.1073/pnas.2109107118>



► « Antarctique, un laboratoire du futur », l'expérience immersive du CNRS à Dubaï.

© GUILAUME ARGENTO

Le CNRS met l'Antarctique à l'honneur à l'Exposition universelle

L'exposition universelle a ouvert ses portes à Dubaï le 1^{er} octobre dernier, et l'affluence est au rendez-vous au Pavillon France. En un mois, celui-ci avait déjà accueilli quelque 315 000 personnes ! Celles-ci ont eu l'occasion de découvrir « Antarctique, un laboratoire du futur », expérience immersive conçue par le CNRS pour faire découvrir les recherches menées sur place et leurs enjeux majeurs. Une occasion pour l'organisme d'affirmer son engagement dans les recherches dédiées aux pôles...

Éthique

Le 21 septembre, le Comité d'éthique du CNRS (Comets) a publié un avis sur les multiples formes prises par la communication scientifique dans le contexte de la pandémie de Covid-19. Cet avis aborde notamment la manière dont la crise a impacté la communication au sein de la communauté scientifique et montre « combien la pertinence de la communication offerte au public par l'entremise de

diverses sources d'information a été déterminante dans la perception que les citoyens ont eue de la crise et dans leur adhésion au discours scientifique ». Il aborde aussi l'articulation entre la mission des experts et les impératifs des décideurs, sans éluder les difficultés rencontrées par les chercheurs eux-mêmes lorsqu'ils sont confrontés à la défiance des citoyens envers la science et à l'émergence d'un « populisme scientifique ».

Médiation

Le 8 novembre, Antoine Petit, PDG du CNRS et Bruno Maquart, président d'Universcience, ont annoncé le renouvellement de l'accord-cadre qui lie les deux institutions, et ce jusqu'en octobre 2025. Cet accord confie au CNRS le rôle de partenaire scientifique de référence du futur Palais de la Découverte 2025.

Partenariats

Différentes signatures ont eu lieu ces dernières semaines entre le CNRS et ses partenaires. Le 25 octobre, l'organisme a ainsi signé trois conventions : avec l'Inalco, avec l'université Côte d'Azur, ainsi qu'une convention-cadre avec la communauté d'agglomération Sophia Antipolis. Le lendemain, une convention-cadre était signée avec la communauté d'agglomération de La Rochelle. Le 7 octobre, le CNRS a renouvelé ses partenariats avec l'Institut polytechnique de Paris et l'université Paris-Saclay pour la période 2020-2025. Le 21 septembre, c'est un protocole de coopération qui a été signé par Antoine Petit, PDG du CNRS, et Hervé Morin, président de la Région Normandie, pour renforcer les capacités de recherche et d'innovation sur le territoire normand. Enfin, une convention de partenariat a été signée avec les établissements d'enseignement supérieur et de recherche du site toulousain le 3 novembre.

Quand Van Eyck inventait la réalité virtuelle

NUMÉRIQUE

HISTOIRE DE L'ART À l'aide de l'informatique, un chercheur est parvenu à élucider la technique de la perspective du peintre flamand Van Eyck, alors qu'elle était jusqu'ici considérée comme l'apanage des artistes italiens de la Renaissance.

PAR MARTIN KOPPE

L'histoire des lignes n'a rien de linéaire, l'importance dans l'art des proportions et de la profondeur a fortement fluctué selon les siècles et les cultures. À la Renaissance, la précision géométrique de la perspective s'est imposée comme un élément essentiel des tableaux et des fresques, mais aussi en architecture ou pour la sculpture. La question a été en particulier traitée par l'historien de l'art Erwin Panofsky, figure tutélaire de la discipline, dans son essai de 1927 *La perspective comme forme symbolique*.

Des artistes mathématiciens ?

« Au début de la Renaissance italienne, Brunelleschi¹ et Alberti² ont décrit la perspective dans l'art comme une transcription géométrique des lois de l'optique, explique Gilles Simon, enseignant-chercheur à l'université de Lorraine, au Laboratoire lorrain de recherche en informatique et ses applications³. Ils sont pour cela partis des travaux d'Euclide, en y ajoutant un plan de projection entre l'objet représenté et l'œil du spectateur. »

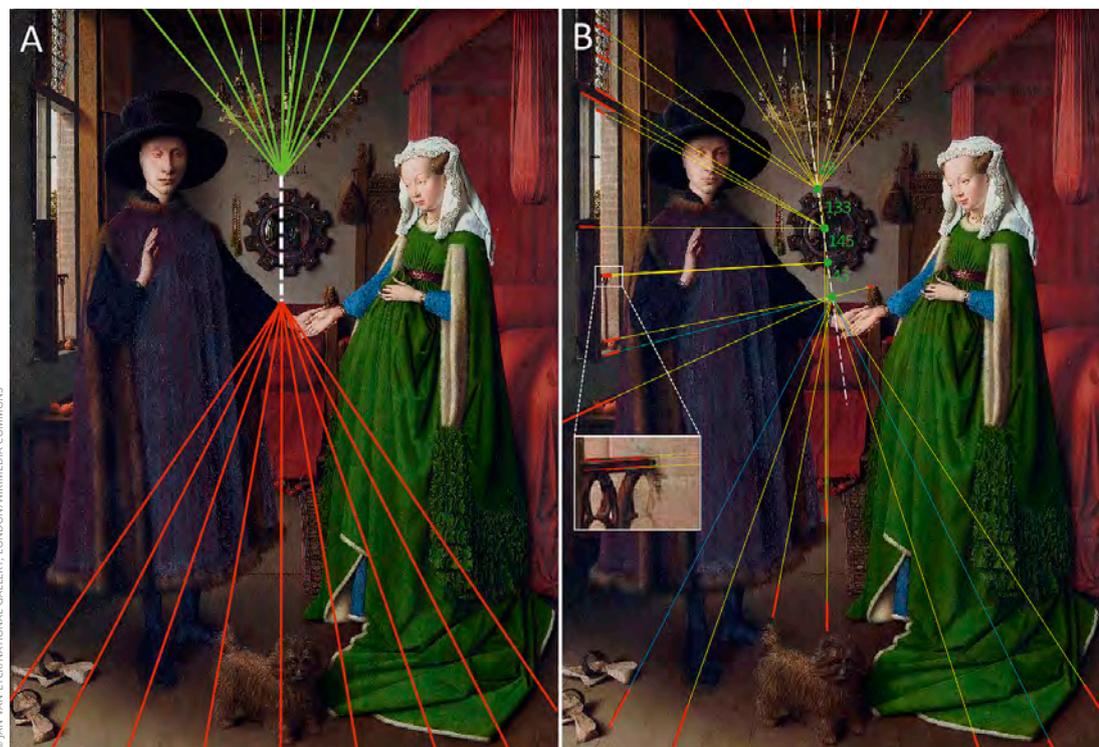
Une perspective rigoureuse se construit à partir de plusieurs règles mathématiques, comme la présence dans une œuvre d'art de lignes de fuite convergeant en un point unique. Une technique née des maîtres du

Quattrocento, et qui semblait inconnue des autres artistes avant que l'influence de la Renaissance italienne ne parvienne jusqu'à eux. Ainsi, pour Panofsky, le peintre flamand Jan Van Eyck (1390-1441) tentait de s'approcher, de manière empirique, d'une perspective la plus correcte et réaliste possible, mais ignorait les lois géomé-

triques y menant. Van Eyck était pourtant célèbre pour sa rigueur. Il est un des premiers à avoir utilisé la peinture à huile, une technique dont il a élaboré de nouvelles recettes pour obtenir une peinture qui sèche moins vite, et qui lui permettait donc d'apporter plus de détails.

Algorithmes et points de fuite

« En allant admirer le retable de Gand, peint par Van Eyck, j'ai été très impressionné par la perspective sur la fontaine du panneau de l'Adoration de l'Agneau mystique. Je me suis dit qu'il fallait creuser. » Le chercheur est en effet un spécialiste de la détection des lignes et des points de fuite dans les photographies



1. Filippo Brunelleschi (1377-1446) est notamment l'architecte du dôme de la cathédrale Santa Maria del Fiore à Florence. 2. Leon Battista Alberti (1404-1472), architecte, a entre autres conçu les façades du palais Rucellai et de la basilique Santa Maria Novella, à Florence. 3. Unité CNRS/Univ. de Lorraine/Inria. 4. <https://s2021.siggraph.org/>

et les vidéos. Ses algorithmes servent par exemple à rectifier les objets déformés par un mauvais angle de vue, ou à guider dans l'espace les systèmes de pilotage autonome. « *Dès que je vais dans un musée, je vérifie malgré moi si la perspective des tableaux semble correcte ou non* », s'amuse le chercheur. Il a alors adapté certains de ses algorithmes de détection de points de fuite afin de les déployer sur cinq tableaux de Van Eyck, peints entre 1432 et 1439. On retrouve parmi eux son œuvre la plus célèbre, la peinture sur bois des *Époux Arnolfini* dont la perspective est l'objet d'un bon siècle de débats.

En effet, l'identification de ce qui compte ou non comme une ligne de fuite reste très subjective, chaque historien de l'art peut en ajouter ou exclure certaines, y compris inconsciemment. « *J'ai intégré l'incertitude dans les mesures des arêtes, afin d'obtenir une carte probabiliste des points de fuite possibles*, détaille Gilles Simon. *J'ai également utilisé une ancienne méthode informatique pour faire ressortir les pics de probabilités les plus significatifs.* »

Une « machine à perspective »

Il a ainsi montré que les *Époux Arnolfini* était composé de quatre bandes horizontales, possédant chacune un point centrique régulièrement espacé le long d'un axe incliné parcourant le tableau dans sa hauteur. À l'intérieur de ces bandes, la perspective obéit parfaitement aux lois géométriques dont on pensait que seuls quelques maîtres italiens avaient alors le secret. Si cette organisation n'a pas été retrouvée dans *l'Adoration de l'agneau mystique*, les cinq tableaux étudiés partagent tous un schéma en arête de poisson qui n'avait jamais été identifié avant les travaux de Gilles Simon.

Ces derniers ont été rendus publics lors de la conférence internationale ACM in Computer Graphics and Interactive Techniques⁴, qui s'est déroulée

du 9 au 13 août 2021. Gilles Simon y présente également une reconstitution en 3D de la perspective multiple du tableau, et explique comment Van Eyck s'y est pris. Le peintre aurait ainsi utilisé une véritable « machine à perspective » composée de quatre œilletons équidistants, un pour chaque bande, disposés verticalement.

« *Il commence par dessiner une première bande, tout en haut ou tout en bas, à travers un œilleton, détaille le chercheur. Mais à cause du phénomène de parallaxe, l'image se décale lorsqu'il passe au second œilleton. Il compense cela en suivant un axe du décor, puis fait de même avec les bandes restantes. La géométrie 3D empêche cependant un alignement parfait. On aperçoit ainsi encore un peu de décalage dans le tableau final, en particulier au niveau du chandelier dont l'aspect s'explique par le fait qu'il se tient à cheval sur deux bandes.* »

Un précurseur de la réalité virtuelle

Si Brunelleschi employait autour de 1420 un panneau de bois percé d'un œilleton, Van Eyck n'en reste pas moins un des pionniers de l'utilisation de systèmes optiques pour rendre la perspective et tenir compte de notre vision stéréoscopique. Cette approche peut être considérée comme les prémices de la réalité virtuelle, et sera simplifiée soixante-dix ans plus tard par Léonard de Vinci.

Fort de sa découverte, Gilles Simon applique à présent sa méthode à d'autres œuvres, au-delà de Van Eyck, et s'attend à de nouvelles surprises quant à l'usage de la perspective. Il souligne également que sa technique pourrait aider à authentifier certains tableaux. Les algorithmes qu'il utilise restent cependant difficiles d'accès, mais il souhaite concevoir une interface qui les rendra utilisables par les historiens de l'art. « *Ils sont encore peu nombreux à s'intéresser à l'informatique*, déplore le chercheur, *mais j'espère que des travaux comme les miens vont les pousser à employer nos outils. Cela fait une bonne trentaine d'années que nous avons développé des solutions qui pourraient les aider à résoudre leurs problèmes géométriques.* » ||

► Reconstruction manuelle (A) et à l'aide de vision artificielle (B) des lignes de fuite des *Époux Arnolfini* (1434, Londres, National Gallery).

En bref

PROGRAMMES EXPLORATOIRES

Parmi les dispositifs prévus par le 4^e programme d'investissements d'avenir pour soutenir la recherche et l'innovation, les Programmes et équipements prioritaires de recherche (PEPR) exploratoires visent des secteurs scientifiques ou technologiques en émergence. Dans le cadre de la première vague de cet appel à projets, quatre projets ont été retenus, tous pilotés par le CNRS ou copilotés avec ses partenaires, pour un montant total de 200 M€ : le projet Diademe sur les matériaux innovants, FairCarbon dédié au cycle de carbone, le programme MolecuArXiv qui vise le stockage de données massives sur ADN et polymères artificiels et enfin OneWater centré sur l'eau.

PALMARÈS

L'Étudiant, en partenariat avec Harris Interactive et Epoka, a révélé en octobre les résultats d'un sondage réalisé auprès de 5 500 jeunes au printemps 2021. Le classement place le CNRS au 3^e rang des entreprises préférées des étudiants ingénieurs, derrière Thales et Airbus Group.

ATTRACTIVITÉ

Le 13 octobre, Business France – agence nationale qui œuvre pour l'internationalisation de l'économie française – et le CNRS ont acté leur volonté de s'associer pour promouvoir les atouts scientifiques de la France à l'étranger. Ce partenariat prévoit notamment la mise en place d'un programme d'actions et d'événements conjoints sur des thématiques de pointe.

NEWSLETTERS

Une nouvelle newsletter bimensuelle a été lancée par le CNRS : « CNRS Interne », véritable relai des actualités et informations pratiques affichées sur l'intranet de l'organisme. Les agents CNRS y sont automatiquement abonnés, ceux travaillant dans une unité CNRS pouvant s'abonner sur simple demande. Elle est envoyée en alternance avec « CNRS Hebdo », newsletter qui devient donc également bimensuelle.

Mars

Le cratère Jezero était bien un lac

Après des années de préparation et l'angoisse des phases de décollage et d'atterrissage, la publication des tout premiers résultats d'une mission spatiale représente toujours un moment excitant. Ceux de Perseverance, publiés le 7 octobre dans la revue *Science*¹, ne dérogent pas à la règle : comme on s'en doutait, le cratère Jezero, le site de plus d'une trentaine de kilomètres de diamètre où s'est posé le rover en février, a bien accueilli un véritable lac il y a plusieurs milliards d'années de cela.

Car malgré leurs nombreux apports, les observations orbitales n'avaient pas permis pas de discerner les surfaces verticales telles que les falaises, pour confirmer cette hypothèse. Seul un rover avec des caméras embarquées peut les étudier directement. La mission Mars 2020 de la Nasa, épaulée par une équipe internationale, avait ainsi fixé deux grands objectifs à Perseverance.

« Le rover doit nous aider à comprendre la géologie et le climat ancien de Mars, et tenter de détecter des traces de vie passée qui pourraient encore être préservées, explique Nicolas Mangold, directeur de recherche au CNRS au Laboratoire de planétologie et géodynamique² et premier auteur de l'article. Pour cela, le rover Perseverance doit échantillonner des roches de natures et d'époques variées. » La vaillante machine s'intéresse ainsi aux roches sédimentaires formées en présence (ou non) d'eau et aux échantillons de croûte plus anciens, tels que ceux que l'on retrouve dans le cratère Gale que le rover Curiosity

UNIVERS

ASTROPHYSIQUE Les premières données récoltées par Perseverance, rover de la Nasa qui s'est posé sur le sol martien en février, montrent qu'un lac vaste et profond existait sur la planète rouge il y a 3,6 milliards d'années.

PAR MARTIN KOPPE

continue d'explorer. Perseverance doit également sélectionner une quarantaine d'échantillons, les tout premiers à être ramenés sur Terre. Ce retour inédit sera effectué par deux autres missions collaboratives entre l'Europe et les États-Unis encore en cours de montage et prévues pour le début des années 2030.

Un lac alimenté par une rivière

En attendant, Perseverance ne chôme pas et ses premiers résultats scientifiques confirment donc d'abord que le cratère de Jezero était bien un lac il y a environ 3,6 milliards d'années, alimenté par une rivière via un delta. Le lac circulaire s'étendait sur 35 kilomètres de diamètre et atteignait plusieurs dizaines de mètres de profondeur. Cette validation in situ des données orbitales n'a rien d'anodin. Le rover Spirit, arrivé sur Mars en 2004, n'est ainsi jamais parvenu à prouver que son lieu d'atterrissage, le cratère Gusev, était un ancien lac.

1. "Perseverance rover reveals ancient delta-lake system and flood deposits at Jezero crater, Mars", N. Mangold et al., *Science*, 7 octobre 2021. DOI : 10.1126/science.abc4051 2. Unité CNRS/Université de Nantes/Université d'Angers. 3. Unité CNRS/Université Toulouse Paul Sabatier/Cnes.



© NASA/JPL-CALTECH

► Illustration du cratère Jezero, tel qu'il a pu être il y a 3,6 milliards d'années.

► Illustration du rover Perseverance de la mission Mars 2020.



© CNES/OLGROS DAVID, 2021

Ensuite, Perseverance a montré que de gros blocs et galets, de plus d'un mètre de large, ont été déplacés dans les dépôts fluviaux au sommet du delta. Ce n'est possible qu'avec un débit d'eau très important. « *Ce phénomène suggère fortement l'existence d'une transition hydrologique abrupte, liée à une transition climatique qui a marqué la fin du lac*, précise Nicolas Mangold. *Cela pourrait s'expliquer par un refroidissement dû à un glacier ou à une phase d'aridification. Sur Terre, certains déserts subissent en effet des épisodes de crues soudaines qui apparaissent et disparaissent en quelques heures.* »

Ces découvertes ont été rendues possibles par l'étude de strates sédimentaires sur la colline Kodiak, localisée dans l'ancien delta. Mais alors que Perseverance a atterri à deux kilomètres de sa cible initiale, ses sept instruments embarqués lui ont malgré tout permis de travailler à distance. SuperCam, son instrument principal, est une

impressionnante caméra qui observe et analyse des roches. Elle peut même analyser des objets d'une dizaine de centimètres à plusieurs kilomètres de distance du rover.

SuperCam superstar

« *SuperCam a la particularité de combiner cinq techniques différentes*, détaille Sylvestre Maurice, chercheur à l'Institut de recherche en astrophysique et planétologie³ et coresponsable scientifique de l'appareil. *Une première permet de connaître la composition chimique élémentaire des roches, deux analysent la minéralogie et une caméra fournit d'excellentes images à distance; enfin un microphone a pu enregistrer les premiers sons de Mars. Il a fallu concilier les contraintes de chaque partie pour les faire tenir en un seul instrument, aussi original que complexe.* »

SuperCam offre cependant un très petit champ de vision. Au total, Perseverance est bardé d'une vingtaine de caméras, dont Mastcam-Z qui a aussi aidé à obtenir ces premiers résultats. Tout ce matériel doit survivre au lancement de la fusée, au parcours interplanétaire, à l'atterrissage et aux conditions martiennes où les cycles jour/nuit sont accompagnés de changements brutaux de température. Les équipes françaises ont pu s'appuyer sur leur savoir-faire, puisqu'elles ont développé un instrument similaire, mais plus simple, l'appareil ChemCam. Il équipe le rover Curiosity, sur Mars depuis neuf ans.

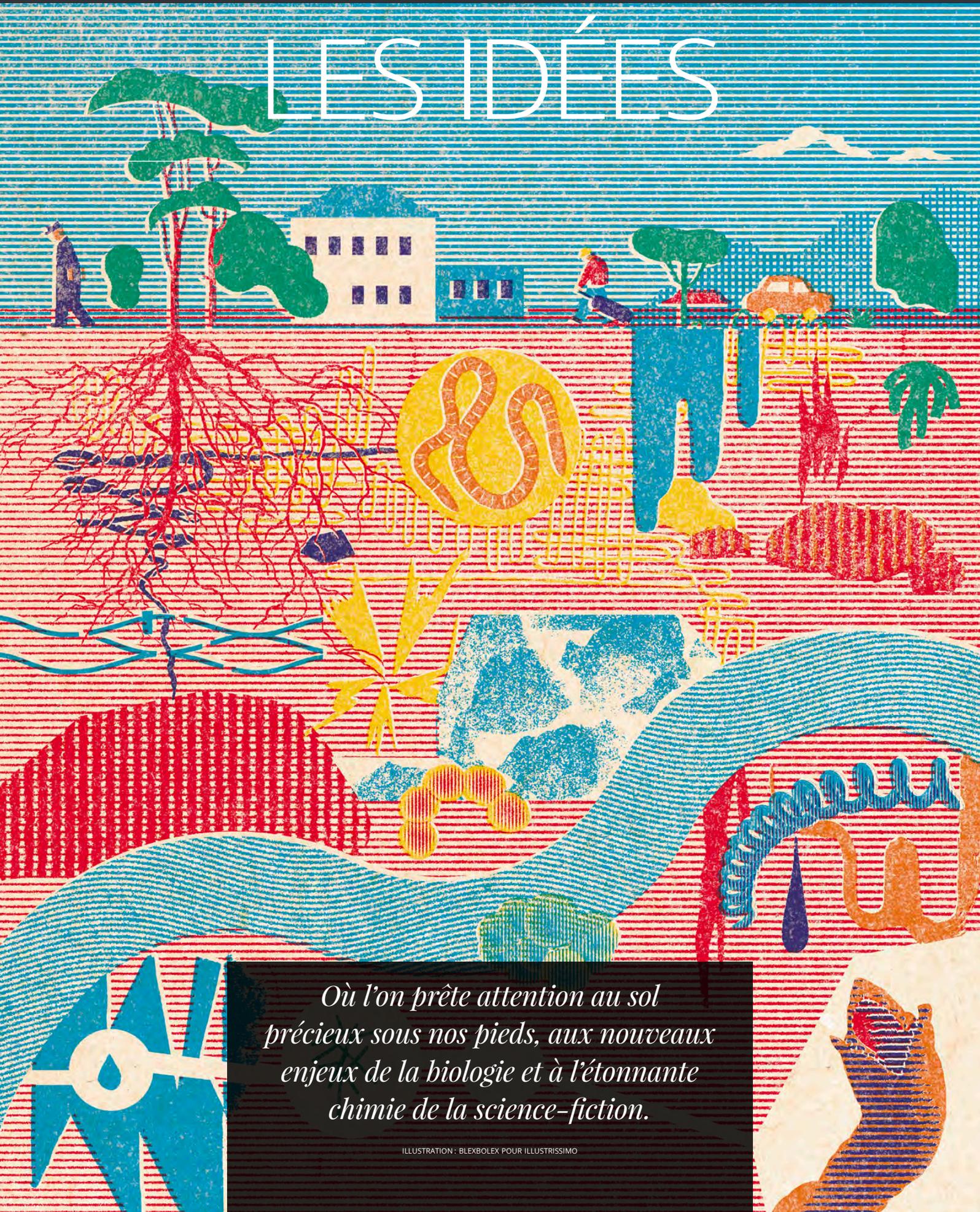
Environ 300 personnes ont travaillé en France sur SuperCam au sein du Centre national d'études spatiales, du CNRS, des universités et d'industriels. « *Nous nous inscrivons dans la continuité de l'important engagement français sur les missions martiennes à la surface de Mars*, souligne Sylvestre Maurice. *La communauté française est très engagée sur la mission Insight, dont elle a fourni le sismomètre, et sur la mission européenne ExoMars dont le lancement prévu pour septembre 2022.* »

Objectif delta

« *Nous sommes rassurés d'avoir déjà trouvé ce que nous étions venus chercher, mais ce genre de résultats apporte toujours plus de nouvelles questions de que réponses*, poursuit Nicolas Mangold. *À partir de ces résultats, nous envisageons de faire traverser l'ancien delta à Perseverance pour analyser en détail les strates observées, et notamment les sédiments fluviaux situés au sommet pour comprendre l'origine de la transition climatique et analyser les gros blocs probablement transportés depuis la croûte ancienne.* »

Les équipes doivent donc établir un itinéraire qui permettra au rover d'accéder à toutes les couches géologiques du cratère Jezero. Il pourra alors dévoiler l'environnement dans lequel l'eau arrivait dans le delta avant de se jeter dans le lac. Mais pour l'instant, Perseverance peut profiter d'une pause. En effet, comme tous les deux ans, Mars se retrouve pendant trois semaines à l'opposé du Soleil par rapport à la Terre, ce qui coupe toute communication. ||

LES IDÉES



Où l'on prête attention au sol précieux sous nos pieds, aux nouveaux enjeux de la biologie et à l'étonnante chimie de la science-fiction.

Mathématiques : 100 ans d'union

NUMÉRIQUE

L'Union mathématique internationale (IMU) a fêté son centenaire fin septembre à Strasbourg. Prochain rendez-vous : le congrès international en juillet, à Saint-Pétersbourg.

PAR SOPHIE FÉLIX

Les 27 et 28 septembre derniers, avec un an de retard pour cause de pandémie, la communauté internationale des mathématiciens s'était donné rendez-vous à Strasbourg pour souffler les cent bougies de l'Union mathématique internationale.

Un centenaire et un congrès

« L'IMU est une organisation scientifique internationale dont l'objectif est de soutenir et de promouvoir les mathématiques, les mathématiciens et mathématiciennes dans le monde entier. Elle est la société savante mondiale de notre discipline », explique Bertrand Rémy, enseignant-chercheur dans l'Unité de mathématiques pures et appliquées (UMPA)¹ et président du Comité national français des mathématiques qui copilotait cette cérémonie anniversaire. « C'est à Strasbourg même qu'elle a été fondée le 20 septembre 1920, rappelle-t-il. Même si l'IMU d'aujourd'hui – qui siège maintenant à Berlin – a en fait été recréée après la Seconde Guerre mondiale, le centenaire de la fondation permet de mesurer le chemin parcouru en montrant que l'Union cherche désormais à inclure les scientifiques de tous les pays. »

Organisation non gouvernementale – qui compte 90 pays membres – et à but non lucratif, l'IMU est l'organisatrice du plus célèbre évènement de la planète pour la discipline : le Congrès international des mathématiciens (ICM), où sont remis des prix prestigieux comme la médaille Fields et le prix Gauss, et dont la prochaine édition doit se tenir durant l'été 2022, à Saint-

Pétersbourg, en Russie. Les conférenciers sont désormais connus et de nombreux Français font partie des élus dont Alice Guionnet, directrice de recherche au CNRS au sein de l'UMPA et membre de l'Académie des sciences, et Laure Saint-Raymond, professeure à l'Institut des hautes études scientifiques et membre du Laboratoire Alexander Grothendieck², qui seront même conférencières plénières.

Des initiatives à promouvoir

Depuis sa fondation, l'Union a progressé en termes de représentativité des mathématiciens et mathématiciennes : depuis 2015 par exemple, un comité pour la place des femmes œuvre en son sein pour améliorer la

visibilité des mathématiciennes, encourager la mise en réseau et fournir des informations fiables sur le sujet. Mais la parité dans le domaine et dans les instances représentatives est encore loin d'être atteinte.

L'IMU veut aussi s'ouvrir d'un point de vue géographique : le continent africain n'est ainsi pas encore assez impliqué en termes institutionnels. « La diffusion des sciences est également une priorité : mettre les recherches mathématiques à la portée du grand public est très important, poursuit Bertrand Rémy. Des initiatives nationales sont lancées régulièrement, comme en France avec la Maison des mathématiques et de l'informatique de l'université de Lyon qui est entièrement pilotée par des enseignants-chercheurs passionnés. Faire connaître les carrières aux jeunes doit aussi permettre de préparer le futur. La Commission internationale de l'enseignement mathématique se donne ainsi pour mission d'améliorer les conditions d'enseignement des maths à travers le monde. Enfin, l'accès libre aux avancées de recherche en mathématiques est un sujet d'actualité : les publications ouvertes se développent, en particulier en France. »

▲ Alessio Figalli, mathématicien italien, a reçu la médaille Fields lors de l'ICM 2018 à Rio, au Brésil.



1. Unité CNRS/ENS Lyon. 2. Unité CNRS/IHES.

Les nouvelles frontières du vivant



© PALOMA LAUDET

VIVANT

ENTRETIEN On pensait qu'avec la découverte de l'ADN et les progrès fulgurants de l'imagerie au XX^e siècle, la biologie avait déjà fait sa révolution. Bien au contraire, nous dit Catherine Jessus à l'occasion du lancement de l'Année de la biologie : les limites du vivant ne cessent de reculer.

PROPOS RECUEILLIS PAR LAURE CAILLOCE

Depuis quand la biologie « moderne » existe-t-elle ?

Catherine Jessus¹. La biologie telle qu'on la pratique aujourd'hui résulte de la fusion, à la fin du XIX^e siècle, de deux grands courants nés dans l'Antiquité : les naturalistes, qui n'ont eu de cesse depuis Aristote de décrire et d'inventorier méthodiquement le vivant et les médecins physiologistes qui, d'Hippocrate à Claude Bernard, se sont attachés à comprendre le corps humain : à quoi sert le sang, comment le cœur marche, etc. Ces deux courants se rejoignent à l'orée du XX^e siècle lorsque les naturalistes s'emparent des méthodes expérimentales des physiologistes pour les appliquer à la zoologie et à la botanique.

Qu'est-ce qui a permis les grandes avancées de cette toute nouvelle science au XX^e siècle ?

C.J. Le moteur essentiel repose sur de formidables progrès en termes d'outils. Les pas de géant faits par l'imagerie et la microscopie durant tout le XX^e siècle ont permis de voir jusqu'à l'intérieur de la cellule elle-même. L'avènement de la biologie moléculaire dans les années 1950 a livré des

connaissances fondamentales sur le génome, sa structure, son fonctionnement, et ouvert la voie à sa manipulation. Avec l'arrivée ces vingt dernières années de la méta-génomique, nous avons désormais la vision de l'ensemble des génomes contenus dans un échantillon prélevé dans l'environnement – une petite révolution permise par l'avènement du big data (le traitement des données de masse) qui lève le voile sur l'infinie diversité du monde microbien...

Quels sont les grands enjeux pour les biologistes du XXI^e siècle ?

C.J. Je citerais l'exploration du monde microbien, qui inclut des organismes vivant dans des milieux extrêmes et de nouvelles formes de vie inattendues ; l'étude des moteurs de l'évolution, au-delà des seules mutations génétiques ponctuelles ; le fonctionnement des génomes ; l'étude des interactions, que ce soit entre êtres vivants ou entre les êtres vivants et leur environnement ; enfin, les fonctions cognitives et le cerveau, mais aussi le système immunitaire, un sujet trop vaste pour être abordé en quelques mots.

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

Commençons par la définition de ce qui fait la vie même... Qu'est-ce qui a changé ces dernières années ?

C.J. Jusqu'au début du XXI^e siècle, on considérait que le vivant ne pouvait se développer dans des milieux de vie qualifiés d'extrêmes : au-delà de certains seuils de température, de pression, de salinité... en l'absence de lumière ou d'oxygène, la vie était jugée impossible. La découverte d'organismes vivants dans des lacs ou des geysers bouillants, dans l'obscurité des abysses ou dans des milieux acides comme le site volcanique de Dallol en Éthiopie, oblige à reposer la question « qu'est-ce que le vivant ? ». Ces organismes extrémophiles, des micro-organismes pour l'essentiel, devraient également pouvoir nous éclairer sur les origines de la vie sur Terre, il y a 3,8 milliards d'années, et sur ce que nous avons à chercher sur d'autres planètes... Mais les étudier pose de vrais défis aux chercheurs car pour l'instant, on est incapable de les cultiver en laboratoire.

Venons-en au monde microbien, justement, dont vous dites qu'il est une véritable *terra incognita*...

C.J. Le monde microbien continue de nous échapper, même dans des environnements plus proches et familiers. Grâce à l'expédition Tara Oceans conçue par le biologiste Éric Karsenti, on a notamment découvert qu'une myriade de micro-organismes peuplent les océans : ainsi, on estime que 60 % des bactéries présentes sur la Terre sont dans les mers, or on en

1. Directrice de recherche CNRS au Laboratoire de biologie du développement (CNRS/Sorbonne Université). Elle a dirigé l'Institut des sciences biologiques du CNRS de 2013 à 2019.



© JASMIN MERDAN/GETTY IMAGES

connaît à peine 5 % ! Il reste un énorme travail d'inventaire à mener, proche de ce qu'ont pu réaliser les naturalistes du passé. Il faut aussi changer de regard sur ces micro-organismes : on a tendance à les voir uniquement comme des pathogènes, alors qu'ils jouent bien au contraire un rôle majeur dans l'équilibre de la planète.

Qu'en est-il des moteurs de l'évolution ? Pourquoi est-il important de s'y intéresser ?

C. J. On a longtemps pensé que c'étaient les mutations ponctuelles de gènes qui permettaient de créer de nouvelles espèces. Mais ce n'est en réalité qu'un outil parmi d'autres pour créer du nouveau. La principale source d'innovation vient de la modification de vastes pans de génomes, permis par les échanges ou les fusions de génomes entre espèces, par exemple. On sait ainsi que c'est l'association d'une archée et d'une bactérie qui a permis de « fabriquer » la première cellule eucaryote. La bactérie qui s'était introduite dans l'archée a progressivement perdu son autonomie et a permis la genèse des compartiments membranaires, en particulier la mitochondrie, qui caractérisent les eucaryotes. Même chose pour l'apparition

▼ **Bactéries sous une lumière UV. Le monde microbien et son infinie diversité reste un continent à explorer pour les biologistes.**

ARCHÉE

Les archées, des unicellulaires dépourvus de noyau, constituent la 3^e branche du vivant aux côtés des bactéries et des eucaryotes.

EUCARYOTE

Les eucaryotes sont les organismes unicellulaires ou multicellulaires dont les cellules contiennent un noyau.

des plantes : c'est un eucaryote entré en symbiose avec une bactérie capable d'utiliser la lumière pour fabriquer de l'énergie, qui a donné naissance à la première micro-algue. C'est encore ce même mécanisme qui explique pourquoi les mammifères ont un placenta qui permet à l'embryon de se développer à l'intérieur même de l'individu maternel : ce placenta a pu se mettre en place grâce à l'apport de gènes d'un rétrovirus à un animal qui pondait des œufs.

Les interactions : l'un des autres grands défis de la biologie...

C. J. Les associations sont nécessaires à la vie. Tout être vivant est soit contenu dans un être plus grand, soit contient des êtres plus petits – aucun n'existe de manière isolée. Le microbiote intestinal en est une bonne illustration : composé d'archées, de bactéries, de virus et de levures, il peut peser jusqu'à 2 kg et fonctionne comme l'un de nos organes – ce qui pose au passage de vraies questions sur ce qui est le « soi » et le « non soi ». Ce microbiote est indispensable au fonctionnement de notre système digestif, mais il permet aussi la maturation de notre système immunitaire et sécrète des molécules cruciales qui

agissent sur le fonctionnement de nos organes. Tout déséquilibre dans ce système est source de perturbations : ainsi une bactérie du microbiote qui se met à proliférer, profitant de l'affaiblissement d'autres espèces microbiennes, peut très vite devenir maligne. En réalité, nous sommes en train de découvrir que le vivant est un monde complexe où tout est question de dose et d'équilibre, que ce soit à l'échelle d'un individu, d'une population ou de tout un écosystème. C'est cette complexité que nous devons aujourd'hui aborder. Le temps où l'on étudiait de façon isolée telle cellule, tel tissu, tel organe, tel individu... est révolu : les biologistes doivent étudier aujourd'hui des réseaux constitués de myriades d'acteurs. II



2021-2022 : Année de la biologie

Organisée par le CNRS et le ministère de l'Éducation nationale, l'Année de la biologie fournit aux enseignants mais aussi à un public plus large l'opportunité de mettre en perspective leurs savoirs au regard des dernières découvertes scientifiques.

>> anneedelabiologie.cnrs.fr

« *Mein Kampf* reste une source irremplaçable pour la compréhension du nazisme »

SOCIÉTÉS



© HERMANCE TRAY

HISTOIRE Après cinq années de travail ayant réuni douze spécialistes du nazisme, une nouvelle édition critique de *Mein Kampf* a paru en juin dernier. L'historien Florent Brayard, codirecteur du volume, nous en explique l'intérêt scientifique.

PROPOS RECUEILLIS PAR MATTHIEU STRICOT

Comment avez-vous travaillé pour retranscrire un ouvrage à la symbolique aussi lourde ?

Florent Brayard 1. Nous avons travaillé de la même manière que pour toute autre source historique, mais en essayant, étant donné les enjeux, d'être plus rigoureux encore. En premier lieu, il fallait proposer une traduction française de *Mein Kampf* aussi exacte que possible. Nous avons ensuite adapté l'annotation critique exceptionnelle réalisée par l'Institut für Zeitgeschichte 2. Enfin, nous sommes allés plus loin que nos collègues allemands en proposant non seulement une longue introduction générale, mais aussi une introduction spécifique pour chacun des 27 chapitres de l'ouvrage. En résumé, *Historiciser le mal* comprend donc trois livres en un, d'une importance équivalente : une nouvelle traduction du texte d'Hitler, un appareil critique fort de 2 800 notes et l'ensemble des introductions.

Dès 2015, lors de l'annonce par Fayard de ce projet éditorial, des voix se sont élevées pour dénoncer

la mise en lumière de *Mein Kampf*. Ces polémiques ont-elles du sens à l'heure d'Internet ?

F. B. Je ne le crois pas, dans la mesure où le livre d'Hitler était d'ores et déjà largement disponible : l'édition de 1934 était commercialisée depuis des décennies, et surtout il était possible, en trois clics, de télécharger une version numérique. Ce que nous voulions, c'était en proposer pour la première fois une édition critique, scientifique, comme il est d'usage pour toutes les grandes sources historiques. Et nul ne peut contester le rôle qu'a joué *Mein Kampf* dans l'histoire du sanglant XX^e siècle. Je me réjouis que notre ouvrage ait été finalement très bien accueilli à sa sortie en juin dernier, y compris par la plupart de nos détracteurs. La raison et j'ajouterais même la science ont fini par l'emporter.

***Mein Kampf* est un livre d'un genre indéfini, qui combine des éléments biographiques, programmatiques et idéologiques. De quelle manière Adolf Hitler écrivait-il ?**

F. B. Hormis les chapitres très narra-

tifs, au début du premier volume, où l'auteur raconte sa jeunesse et sa participation à la Grande guerre, *Mein Kampf* est très mal écrit, redondant et pénible à lire. Hitler y développe un discours populiste qui consiste à fournir des explications simplistes et mensongères à des problèmes complexes. Ce qu'il veut, c'est convaincre son lecteur de la véracité d'un certain nombre d'énoncés : il existerait une hiérarchie « raciale », avec au sommet la « race aryenne » ; la « race » juive serait quant à elle responsable à la fois du malheur du monde et de la défaite allemande de 1918 ; l'Allemagne devrait conquérir un « espace vital » aux dépens des peuples slaves ; il conviendrait de mettre à bas la démocratie parlementaire, etc. Telle est la « vision du monde » nazie : on ne la connaît que trop bien, puisqu'elle a tragiquement guidé la politique d'Hitler après 1933. Or, tous ces éléments constitutifs se trouvaient déjà clairement affirmés en 1925-1926.

Comment s'est déroulée la collaboration avec le traducteur ?

F. B. Nous avons eu la chance de travailler avec Oliver Mannoni et de partager avec lui un haut degré d'exigence qui nécessitait d'inventer des nouvelles manières de travailler. L'important était de veiller à ce que le texte final soit le plus exact possible

1. Directeur de recherche au CNRS, au Centre de recherches historiques (CNRS/EHESS). 2. L'édition allemande, dirigée par Christian Hartmann et trois autres historiens sous l'égide de l'Institut für Zeitgeschichte (Institut d'histoire contemporaine), à Munich, est parue en janvier 2016.



► Le livre d'Adolf Hitler a été publié à l'origine en 1925-1926.

programmatische. Car, après tout, l'ouvrage annonce, entre autres, la fin de la démocratie parlementaire, l'éradication des partis politiques, la dissolution des syndicats, la remilitarisation, l'invasion de la Pologne puis de l'URSS, la persécution des Juifs et la mise en place d'une politique eugéniste. Concernant la Shoah, le lien est moins direct, puisque *Mein Kampf* n'annonce pas à proprement parler le meurtre des Juifs d'Europe. Pour autant, l'auteur y expose ce que j'appellerais des « catégories de pensée » qui lui permettront, le moment venu, de concevoir cette politique génocidaire, en particulier en décrivant les Juifs comme des ennemis de l'intérieur qu'il conviendrait de mettre hors d'état de nuire en cas de danger.

Certains affirment qu'insister sur l'importance de *Mein Kampf* risque de favoriser l'hitlérocentrisme au détriment des petites mains du nazisme. Est-ce un réel débat ?

F. B. Personne ne prétend qu'Hitler a envahi seul la Pologne puis l'URSS, avec la baïonnette au bout du fusil, ou que c'est lui qui a construit à mains nues les fameuses autoroutes ! Le phénomène nazi résulte bien sûr de dynamiques profondes dans lesquelles de nombreux acteurs sont impliqués. Pour autant, cela n'a pas de sens de nier ou de minimiser le rôle d'Hitler dans cette catastrophe. Le nazisme n'aurait pu advenir sous cette forme sans Hitler et l'atroce radicalité du régime n'est pas concevable sans lui. Telle est la raison pour laquelle il est si important de disposer enfin d'une édition critique de *Mein Kampf*. Après tout, jamais un dictateur n'avait pas pris soin, avant ou après lui, de décrire à ce niveau de détail ce qu'il voulait faire. Son livre est donc une source irremplaçable pour la compréhension du nazisme. ||

et qu'il n'améliore en rien l'original allemand. Nous avons donc révisé conjointement, ligne à ligne, son premier jet en essayant de le rendre moins littéraire et aussi proche que possible de la source, y compris dans ses nombreux défauts.

Du collègue au lycée, cette édition permettra-t-elle aux professeurs du secondaire de renouveler et approfondir l'étude du livre ?

F. B. Je l'espère ! C'est au premier chef pour eux que nous avons travaillé. Avec l'appareil critique et les introductions, ils disposeront de toutes les informations nécessaires pour construire un propos cohérent. Fayard a d'ailleurs offert un dixième du tirage, soit 1 000 exemplaires, aux bibliothèques et centres de documentation et d'information qui en ont fait la demande. C'est une manière de pallier le problème du prix, nécessairement élevé, de cet ouvrage de 900 pages grand format. À terme, nous allons également proposer une version en ligne, sans doute dans le cadre d'un partenariat avec l'Institut für Zeitgeschichte. Pour en revenir aux enseignants, le Mémorial de la Shoah souhaite organiser des formations autour de l'usage de *Mein Kampf* dans le secondaire : c'est une excellente idée.

En quoi *Mein Kampf* reste-t-il un document fondamental pour comprendre le nazisme et la genèse de la Shoah ?

F. B. En 1925, Hitler se trouve dans le creux de la vague : son putsch a lamentablement raté, il a été condamné et se trouve en prison, son parti a été dissous. Pourtant, le fait même qu'il se lance dans un projet littéraire aussi ambitieux montre bien qu'il espère toujours disposer un jour des moyens de mettre en œuvre sa « vision du monde » raciste, autoritaire et belliciste. *Mein Kampf*, c'est en quelque sorte la description d'une utopie – l'utopie nazie – qu'Hitler veut faire advenir. D'où sa forte dimension



À lire :
Historiciser le mal.
Une édition critique
de *Mein Kampf*,
F. Brayard et
A. Wirsching (dir.),
O. Mannoni (trad.),
Fayard, juin 2021,
100 €.



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

Dune : anatomie de l'Épice



MATIÈRE

CHIMIE L'Épice, substance aux pouvoirs extraordinaires décrite dans *Dune*, roman de 1965 adapté au cinéma, possède des propriétés qui rappellent celles de molécules bien réelles.

Passionné de science-fiction, le chimiste Fabrice Chemla a mené l'enquête sur sa composition possible.

PROPOS RECUEILLIS PAR KHEIRA BETTAYEB

Quels sont vos liens avec *Dune* ?

Fabrice Chemla¹. Je suis passionné du roman éponyme publié pour la première fois en 1965 par l'Américain Frank Herbert², et dont l'adaptation est sortie au cinéma en septembre. À l'âge de 17 ans, je suis tombé en arrêt devant la couverture de l'édition de poche de 1980, qui montre un visage avec des yeux fascinants d'un bleu intense. Cette couverture est devenue extrêmement célèbre dans le milieu de la science-fiction. À l'époque, j'ai été littéralement happé par cette saga. Plus récemment, afin de tenter d'identifier des analogues terrestres de cette substance fictive et mystérieuse, l'Épice, j'ai mené en tant que chimiste une sorte d'enquête et répertorié les indices semés par Frank Herbert concernant son apparence et ses propriétés. Cet exercice a donné lieu à divers articles parus dans plusieurs ouvrages³.

Qu'est-ce exactement que l'Épice ?

F. C. L'Épice est un des éléments centraux de la saga *Dune*, qui se passe

dans un empire interstellaire d'un futur très lointain. Produite seulement sur la planète Dune et consommée par les « Navigateurs de la Guilde interplanétaire » depuis leur enfance, l'Épice est dotée de plusieurs propriétés miraculeuses. Tout d'abord, elle a un effet « anti-âge » qui triple l'espérance de vie. Ensuite, c'est un « nootrope », à savoir une substance qui augmente l'acuité intellectuelle. Enfin, elle a des propriétés hallucinogènes et « enthéogènes » (qui donne l'inspiration sacrée), qui permettent de prédire l'avenir et ainsi de détecter et éviter les obstacles potentiellement fatals dans l'hyperespace, moyen de transport fictif utilisé par les Navigateurs pour réaliser des voyages interstellaires ou intergalactiques à des échelles de temps humaines.

Que dit le roman de sa composition et de ses caractéristiques chimiques ?

F. C. En fait, on n'y trouve aucun nom précis de molécules ou de structures

chimiques. Et pour cause : Frank Herbert n'était pas chimiste ! En revanche, l'auteur indique qu'il s'agit d'un « Mélange » – autre nom de l'Épice –, produit après fermentation des déjections du ver des sables, une créature imaginaire endémique de la planète Dune. Il précise aussi que l'Épice est solide, qu'elle présente une odeur caractéristique de cannelle, et une couleur changeante selon l'environnement (bleu, violet ou brun-rouge).



À lire :
Étonnante chimie. Découvertes et promesses du XXI^e siècle,
Claire-Marie Pradier
(dir.), CNRS Éditions,
avril 2021, 328 p., 22 €.

Qu'est-ce que vos connaissances en chimie ont permis de déduire de ces indices ?

F. C. Premièrement, le fait que l'Épice soit un mélange indique qu'elle est vraisemblablement composée de plusieurs molécules – et non d'une seule. Ensuite son odeur de cannelle indique la présence d'aldéhyde cinnamique (trans-cinnamaldéhyde ; de formule chimique C₉H₈O), une substance que l'on retrouve dans l'essence de cannelle. Quant à sa couleur changeante, elle permet d'imaginer que

1. Enseignant-chercheur à l'Institut parisien de chimie moléculaire (CNRS/Sorbonne Université). 2. Nouvelle édition : *Dune*, F. Herbert, Robert Laffont, octobre 2020. 3. *Dune. Exploration scientifique et culturelle d'une planète-univers*, Le Béal, oct. 2020. « Dune – Le MOOK », L'Atalante & Leha, nov. 2020. *Étonnante chimie. Découvertes et promesses du XXI^e siècle*, CNRS Éditions, avril 2021.



© COLLECTION CHRISTOPHEL © WARNER BROS. - LEGENDARY ENTERTAINMENT - VILLENEUVE FILMS

l'Épice renferme un colorant naturel de la famille des anthocyanes, des composés présents naturellement dans de nombreux végétaux terrestres bleus, rouges ou bruns (aubergine, raisin muscat, myrtille, cassis, etc.). Ces composés ont également une couleur variable selon leur degré d'acidité, ou pH : rouge quand le pH est acide, violet quand il est basique, etc. Les connaissances actuelles en chimie suggèrent donc que l'Épice pourrait contenir du cinnamaldéhyde et un anthocyane.

À quoi pourrait être dû l'effet anti-âge de l'Épice ?

F. C. Plusieurs substances terrestres peuvent présenter cette vertu... dont les anthocyanes ! En effet, ces molécules font partie d'une classe de composés dits flavonoïdes, connus pour protéger les cellules des radicaux libres nocifs (effet antioxydant), et ainsi du vieillissement cellulaire. Dans l'état actuel des connaissances, les flavonoïdes ne permettent pas de ralentir le vieillissement de l'organisme. Mais on peut imaginer que l'Épice contient un anthocyane avec une structure particulière qui lui per-

mettrait d'être efficace aussi dans ce sens, et donc de rallonger la vie.

Quid de ses étonnantes propriétés cognitives ?

F. C. Pour ce qui est de sa capacité à stimuler l'acuité intellectuelle, nombre de substances terrestres, dont le café, le thé ou le chocolat, sont connues pour avoir ce type d'effet. Mais on ne peut pas proposer une substance précise ici, car malheureusement, il n'y a pas assez d'informations sur ce sujet dans le livre. Concernant ses propriétés hallucinogènes et enthéogènes, toutes les descriptions dans la saga permettent de faire un parallèle avec différents psychotropes hallucinogènes terrestres – qui, par définition, sont capables d'altérer la perception de la réalité et de provoquer des hallucinations.

Lesquels précisément ?

F. C. Certains sont des substances naturelles illicites en France mais traditionnellement utilisées dans certaines cultures lors de pratiques religieuses ou mystiques, par exemple pour entrer en contact avec des esprits. C'est le cas de la psilocy-

► Scène du film *Dune* réalisé par Denis Villeneuve (2021). Une partie des secrets de l'Épice se cache dans le sable qui recouvre la planète.

bine, issue de champignons hallucinogènes du genre *Psilocybe* et utilisée par les Aztèques du Mexique. On peut aussi citer la DMT (N,N-diméthyltryptamine), présente dans le yagé, un breuvage hallucinogène séculaire à base de lianes du genre *Banisteriopsis*, consommé par nombre de tribus indigènes d'Amazonie ; ou encore l'ibogaïne, extraite de la plante gabonaise iboga (*Tabernanthe iboga*). Mais les effets hallucinogènes et enthéogènes de l'Épice pourraient aussi être induits par un analogue d'une substance synthétique, également illicite en France : le LSD (diéthylamide de l'acide lysergique).

Par quel mécanisme ces substances provoquent-elles des hallucinations ?

F. C. Grâce à un motif structural chimique appelé « tryptamine » ($C_{10}H_{12}N_2$), présent dans tous ces composés. Ce motif existe aussi dans un neurotransmetteur clé, impliqué dans la régulation de l'humeur (joie, dépression...) : la sérotonine. Il permet à cette molécule d'activer ses récepteurs spécifiques à la surface des neurones. Comme toutes les substances hallucinogènes citées plus haut possèdent aussi un motif tryptamine, elles peuvent se fixer sur les récepteurs cérébraux de la sérotonine. Ce faisant, elles peuvent modifier non seulement l'humeur (voilà pourquoi certains de ces hallucinogènes sont désormais testés pour le traitement des dépressions sévères) mais aussi – et surtout – les états de conscience. D'où les hallucinations survenant après leur consommation, rappelant celles induites par l'Épice de Dune. ||

TERRE

VIVANT



Le sol, cet inconnu qu'on piétine...

Par Marc-André Selosse¹, biologiste, professeur au Muséum national d'histoire naturelle à Paris.

Il comporte 25 % de la biodiversité connue et 75 % de la biomasse terrestre. Il construit la fertilité du monde, régule le cours des rivières et le climat. Ne cherchez pas loin, juste sous vos pieds : c'est le sol ! Longtemps, il a été vu comme le support des végétaux ou de nos constructions, nourrissant chimiquement les plantes : en accord avec cela, l'agriculture conventionnelle y met des engrais minéraux. On lui portait peu d'attention : réputé sale, peut-être parce qu'on y enterre nos morts, il est opaque et fait de composants invisibles, minéraux (comme les argiles) ou vivants (les microbes, bactéries et champignons). L'essor actuel de la microbiologie moléculaire et l'automatisation du séquençage génétique, qui identifie les espèces et leur métabolisme par l'ADN, ont été une révolution.

Une biodiversité en symbiose

Des milliers de nouvelles espèces de champignons, de bactéries et de prédateurs unicellulaires comme les amibes ont été découvertes dans le sol. Un monde microbien pesant 5 à 10 tonnes par hectare vit sous nos pieds ! La géosmine, substance qui donne à la terre son odeur caractéristique, est d'ailleurs un produit bactérien.

1. Membre de l'Institut de systématique, évolution, biodiversité (CNRS/Sorbonne Université/MNHN/EPHE), il est également professeur aux universités de Gdansk (Pologne) et Kunming (Chine), et membre de l'Académie d'agriculture de France.



À lire :

L'origine du monde. Une histoire naturelle du sol à l'attention de ceux qui le piétinent,
M.-A. Selosse, Actes Sud,
sept. 2021, 480 p., 24 €.

Petites histoires naturelles. Chroniques du vivant,
M.-A. Selosse,
Actes Sud/France Inter,
oct. 2021, 192 p., 17,50 €.

Cette biodiversité fait vivre le sol. La matière organique morte qui y tombe est décomposée par des microbes qui s'en nourrissent. Au passage, ils en restituent le carbone (sous forme de CO₂), l'azote (sous forme de nitrates) ou le phosphore (sous forme de phosphates) qui pourront à nouveau nourrir les plantes. Pasteur célébrait déjà ce rôle des microbes : « sans eux la vie s'arrêterait, parce que l'œuvre de la mort serait incomplète ». Ils altèrent également les fragments rocheux en les dissolvant grâce à une acidification locale qui accélère la libération de minéraux (potassium, phosphore, fer, etc.), ainsi rendus disponibles pour les plantes. Enfin, les pores du sol stockent des gaz atmosphériques, notamment l'azote, utilisé par certaines bactéries pour fabriquer leurs protéines. À leur mort, leur contenu retourne au sol... et est à l'origine de l'azote présent dans le sol et dans les plantes.

Complétant l'œuvre des lombrics, les racines des plantes et les filaments microscopiques des champignons puisent en profondeur des ressources puis les restituent plus en surface à la mort de l'organisme : un rôle vital quand les sols sont dépourvus de vers,

comme en Amérique du Nord. En outre, les racines de 90 % des plantes s'associent à des champignons du sol en une coopération appelée mycorhize : les champignons assimilent des ressources minérales éloignées de la racine qu'ils cèdent à la plante en échange de ses sucres. La plante est ainsi en symbiose avec la vie microbienne du sol.

Un effet régulateur

Mais le sol déploie aussi ses effets... hors de lui-même. D'abord, en régulant le cycle des eaux. À la différence de la roche nue, il retient l'eau des pluies, limitant les crues ; puis il la relâche lentement, chargée de minéraux, ce qui assure la fertilité des eaux douces et des littoraux, expliquant que la pêche y soit meilleure qu'au large. Le sol interagit aussi avec le climat. D'une part parce qu'il réduit l'effet de serre en stockant le carbone de la matière organique enfouie loin de l'air. D'autre part, parce qu'il peut aussi contribuer à cet effet : quand un sol manque d'oxygène, des bactéries y survivent avec des respirations particulières qui produisent du méthane ou des oxydes d'azote, de puissants gaz à effet de serre (GES)... C'est ce qui arrive en ce moment aux sols gelés des zones arctiques, qui fondent en une soupe gorgée d'eau.

Hélas, nos pratiques ignorent trop souvent la dynamique vivante des sols. C'est notamment le cas du labour. À court terme, il assure la fertilité en



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

brassant les minéraux, en désherbant et en aérant le sol. Mais au passage, il tue bien des êtres vivants, vers et filaments des champignons par exemple. Il facilite par aération la respiration et la décomposition de la matière organique ; or celle-ci est un liant des composants du sol. À long terme, combiné à la destruction des racines, cela augmente l'érosion d'un facteur dix ! L'effet positif du labour est donc transitoire : après plusieurs siècles, tout est perdu. Inversement, des pratiques sans labour, connues dans l'Amérique précolombienne ou en agriculture dite de conservation, réduisent l'érosion...

Des consciences à éveiller

Le lien entre sol et climat constitue un véritable enjeu car nos pratiques contribuent au réchauffement global. La disparition de la matière organique des sols agricoles, entre labour et régression des apports de fumiers, réduit le stockage de carbone. L'irrigation crée des poches sans oxygène favorisant l'émission de GES, surtout après des apports de nitrates qui sont les précurseurs des oxydes d'azote. Pourtant, en enfouissant nos déchets organiques (bien triés) dans les sols, nous pourrions y stocker du carbone, tout en luttant contre l'érosion. En augmentant de 0,4 % par an la teneur en carbone de tous les sols du monde, on fixerait l'équivalent du CO₂ produit annuellement par l'humanité ! Le sol produit de l'effet de serre alors qu'il pourrait le réduire : notre ignorance nous prive d'un outil précieux.

En France, la surface des sols se réduit chaque décennie de l'équivalent d'un département. Pourtant, les sols sont impossibles à créer : on peut les déplacer, mais il faut un millénaire pour générer un nouveau sol fertile. L'Union européenne lutte en ce sens : le programme "Caring for Soil is Caring for Life" vise 75 % de sols en bon état en 2030. Mais l'objectif reste difficile à atteindre. Pour mieux préserver cette présence invisible qui nous veut du bien, il est urgent d'éveiller les consciences des citoyens. ||

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

À LIRE

Évolution

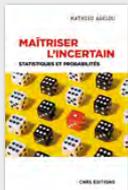


Pourquoi les mammifères ont-ils (presque) tous sept vertèbres cervicales ?

Pourquoi le lac Victoria héberge-t-il une telle diversité de poissons cichlidés ? Comment la pieuvre autoédite-t-elle régulièrement son génome ? Reprenant la tradition de la vulgarisation naturaliste « à la Stephen Jay Gould », Hervé Le Guyader, l'un des grands noms de la biologie évolutive française, s'appuie sur un florilège d'histoires naturelles plus ou moins insolites mais toujours révélatrices des ressorts cachés de l'évolution.

Ma Galerie de l'évolution. Le vivant de A à Z, Hervé Le Guyader, Le Pommier, sept. 2021, 394 p., 22 €.

Maths



« Il y a trois sortes de mensonges : les mensonges, les sacrés mensonges et les statistiques ».

Partant de cette citation célèbre dont l'auteur le plus probable est Mark Twain, le physicien Mathieu Agelou nous apprend à mieux comprendre, savoir interpréter et éviter les pièges de ces outils qui tentent de maîtriser l'incertain : la statistique et sa grande sœur, la probabilité.

Maîtriser l'incertain. Statistiques et probabilités, Mathieu Agelou, CNRS Éditions, sept. 2021, 232 p., 22 €.

Covid-19



La distance à l'autre liée aux restrictions sanitaires que nous a imposée la pandémie de Covid-19 a constitué une expérience tant personnelle que collective totalement inédite. Quelles traces cela laissera-t-il sur nos vies intérieures et nos interactions avec les autres ? Dans cet ouvrage, la sociologue Anne Muxel décrit et explique les effets immédiats et durables de cette pandémie sur nos façons d'être et de faire.

L'Autre à distance. Quand une pandémie touche à l'intime, Anne Muxel, Odile Jacob, oct. 2021, 304 p., 22,90 €.

Société



Déclenché par la parution du livre de Camille Kouchner, *La Familia*

Grande, qui évoque l'inceste commis par son beau-père sur son frère, ce livre de Maurice Godelier adopte un point de vue résolument anthropologique sur l'inceste, après que psychologues et sociologues se sont beaucoup exprimés sur la question. Objet d'une prohibition universelle, que peut-on en dire à l'heure des familles recomposées, ou selon que les sociétés restreignent ou non la parenté aux seuls géniteurs de l'enfant ?

L'Interdit de l'inceste à travers les sociétés, Maurice Godelier, CNRS Éditions, oct. 2021, 124 p., 15 €.

Génétique



Lluís Quintana-Murci, du Collège de France, révèle comment la génétique, notamment les analyses d'ADN fossile, permet de retracer l'histoire de l'humanité. Il suit l'histoire du peuplement humain à travers le monde, de la sortie d'Afrique d'*Homo Sapiens* au peuplement récent de la Polynésie. Il rappelle que nous sommes le produit d'un métissage constant, et comment ces échanges ont modelé notre génome et notre résistance aux pathogènes. Instructif.

Le Peuple des humains. Sur les traces génétiques des migrations, métissages et adaptations, Lluís Quintana-Murci, Odile Jacob, oct. 2021, 331 p., 23,90 €.

Droit



Le droit pénal tel qu'il avait été pensé lors de la Révolution française a-t-il toujours

cours ? Officiellement, oui, et pourtant... Deux spécialistes montrent ici comment les évolutions successives au fil des siècles l'ont détourné de son esprit originel : juger des actes, et non des personnes ; émanciper la loi pénale des pouvoirs exécutifs et judiciaires ; ou encore éviter de pénaliser à outrance la société... Une véritable contre-révolution, sans violence ni fracas.

Droit pénal : la contre-Révolution silencieuse, Joël Moret-Bailly et Eliette Rubi-Cavagna, LGDJ, oct. 2021, 300 p., 28 €.



Nicolas Goepfert, chercheur au laboratoire Archéologie des Amériques (ArchAm) *

“Je me souviens...”

PROPOS RECUEILLIS PAR ANNE-SOPHIE BOUTAUD

...de cette expédition en 2017 dans le désert de Sechura, sur la côte pacifique péruvienne, quelques semaines après un événement El Niño. Nous menions une série de fouilles, à la croisée de l'archéologie et de l'anthropologie, pour comprendre les modalités d'adaptation humaine et animale dans cette région désertique. Valentina Villa, micromorphologue, relève et analyse les couches sédimentaires du site de Huaca Grande, un grand monticule de 190 mètres de long et 35 mètres de large, occupé pendant plus de 1 000 ans entre le V^e et le XV^e siècle. Ces prélèvements sont essentiels pour identifier les processus anthropiques et naturels qui ont

marqué les sols au cours du temps. Nous avons découvert que le site renfermait une accumulation de restes alimentaires, mais aussi de dépôts funéraires humains, de canidés et de camélidés. À 300 mètres de ce lieu, nous avons également mis au jour un site funéraire unique où de nombreuses inhumations ont été trouvées. L'histoire de la région se révèle ainsi à travers les indices laissés par les Lambayeque et les Chimús, des sociétés préhispaniques sans écriture.”

* CNRS/Université 1 Panthéon-Sorbonne/Ministère de la Culture/Inrap.

© CYRIL FRESILLON / ARCHAM / CNRS PHOTOTHÈQUE



de Denis Guthleben,
historien au CNRS

L'Europe, une solidarité de fait

L'Europe ! L'Europe ! L'Europe ! Alors que la France s'apprête à prendre pour six mois la présidence du Conseil de l'Union européenne, que ne va-t-on pas encore entendre à son sujet, entre condamnations déliantes et célébrations lénifiantes ? Loin des unes comme des autres, le CNRS a son mot à dire. Car l'Europe, nous en connaissons toutes les coutures, pour l'avoir non seulement étudiée, mais aussi pratiquée, encouragée, consolidée et parfois aussi critiquée tout au long de notre histoire.

Chacun chez soi ?

Il suffit de rappeler en préambule que le CNRS a vu le jour en octobre 1939 dans un monde qui venait de basculer dans l'abîme, et qu'il a vécu jusqu'en 1945 au rythme des tragédies et des persécutions de la Seconde Guerre mondiale, pour reconnaître que son parcours s'est inscrit d'emblée au cœur de l'histoire – dramatique – de l'Europe. Et alors que cette dernière n'était encore qu'un continent, et pas même un embryon d'organisation, le CNRS a semé sur son sol les premières graines de la coopération scientifique : dès janvier 1950, il signe une convention avec la Netherlands Organization for Scientific Research, et se rapproche ensuite du FNRS belge, du CNR italien, du Medical Research Council et du British Council britanniques...

“Dès janvier 1950, le CNRS a semé sur le sol européen les premières graines de la coopération scientifique.”

Ces accords restent encore précautionneux : ils fixent des limites strictes aux échanges d'informations et de chercheurs. Évoquant les étrangers accueillis « *dans les laboratoires français sous la direction de maîtres réputés* », le rapport d'activité du CNRS en 1953 précise qu'« *il est admis que ces travailleurs viennent dans notre pays pour y préparer une thèse ou effectuer un travail scientifique équivalent et qu'ensuite ils doivent rentrer chez eux* ». Surprenantes a posteriori, ces

réserves soulignent bien que les relations internationales relèvent davantage de l'acquis que de l'inné, y compris dans le champ scientifique ! Justement, elles se renforcent au fil des ans et au gré de projets ambitieux : à Grenoble, par exemple, la création de l'Institut Laue-Langevin marque un tournant dans le rapprochement franco-allemand, que les séquelles de la guerre ont longtemps contrarié.

Quand Bruxelles s'en mêle...

Après le bi- ou le multilatéral, le communautaire : là encore, le CNRS fait figure de pionnier... prudent ! Dès la fin des années 1960, l'idée commence à être débattue d'aller plus loin dans la coordination des efforts de recherche au sein d'une communauté pour l'heure encore cantonnée à six membres. En France, l'un des partisans les plus ardents de cette coordination n'est autre que le directeur général du CNRS, Hubert Curien. Bien qu'europpéen convaincu, il milite pour la création d'une institution indépendante de la Commission, trop technocratique à son goût... Plusieurs témoins se souviennent de l'antienne du physicien : « *Il ne faut pas que Bruxelles s'en mêle !* » Mais n'était-ce pas plutôt « s'emmêler » ? Qu'importe ! Le projet est mené à bien : annoncée lors d'une conférence à Gif-sur-Yvette en septembre 1973, la Fondation européenne de la science voit le jour l'année suivante.

La suite de l'histoire est connue : tandis qu'en France la loi d'orientation et de programmation de 1982 recommande avec inspiration une « *relance de la coopération européenne, ouvrant la voie à un véritable espace scientifique et technique européen* », dans la foulée l'Europe elle-même place la recherche au centre de ses préoccupations en initiant son dispositif de programmes-cadres. L'espace européen de la recherche vient bel et bien de prendre son envol, et le CNRS actionne tous les leviers pour favoriser son succès : à la pointe des établissements publics dans le cadre des PCRD, il initie dès 1985 ses propres programmes internationaux de coopération scientifique, ciblant dans un premier temps en priorité notre bon « Vieux » Continent.

Aujourd'hui encore, aujourd'hui plus que jamais, la déclaration que Jean Monnet a soufflée à Robert Schuman le 9 mai 1950 reste d'actualité : « *L'Europe ne se fera pas d'un coup, ni dans une construction d'ensemble : elle se fera par des réalisations concrètes créant d'abord une solidarité de fait* ». Ces réalisations-là scandent toute l'histoire européenne du CNRS depuis des décennies et, on ne peut que l'espérer, pour longtemps encore... II

CARNETS DE SCIENCE

La revue du CNRS #11

Entrez dans les coulisses
de la recherche

#11 actuellement
en vente
en librairie et Relay

200 pages / 12,50 €

CARNETS DE SCIENCE

La revue du CNRS

#11

DOSSIER

CLIMAT notre avenir en question



ABYSSES
VOYAGE EN MER
INCONNUE

DANS LES SECRETS
DE L'HIBERNATION
DES OURS

ALGORITHMES :
L'INJUSTICE
ARTIFICIELLE ?

LES DIALOGUES DE
L'INTESTIN ET DU
CERVEAU



Le deuxième siècle
D'EDGAR MORIN

www.carnetsdescience-larevue.fr



CNRS EDITIONS

RELEVEZ LES DÉFIS DE DEMAIN ! REJOIGNEZ LE CNRS



Du 7 décembre 2021 au 11 janvier 2022,
le CNRS recrute 250 chercheurs
et chercheuses

[carrieres.cnrs.fr](https://www.carrieres.cnrs.fr)

