

Trimestriel n° 321
OCTOBRE 2025

CNRS

LE JOURNAL



FAKE NEWS
Les ados peuvent
y résister

DOSSIER
**La science au défi
du gigantisme**

STÉPHANE MALLAT
Médaille d'or
du CNRS 2025

BONNES PRATIQUES
Scientifiques : comment
s'adresser aux médias



AGENTS DE LA FONCTION PUBLIQUE, CHEZ NOUS, VOUS ÊTES CHEZ VOUS.

Plus de 2 millions de Sociétaires ont choisi de nous faire confiance. Parce que nous connaissons bien les besoins des agents de la Fonction publique : première affectation, déménagement suite à une mutation, achat immobilier⁽¹⁾ et pour tous les autres moments de la vie qui comptent, la CASDEN se tient toujours à vos côtés.



**La banque coopérative
de la Fonction publique**

Rendez vous sur **casden.fr*** ou retrouvez nous chez



*Coût de connexion selon votre opérateur.

⁽¹⁾Offre soumise à conditions et dans les limites fixées par l'offre de crédit, sous réserve d'acceptation de votre dossier par l'organisme prêteur, la CASDEN Banque Populaire. Pour le financement d'une opération relevant des articles L 313 et suivants du code de la consommation (crédit immobilier), l'emprunteur dispose d'un délai de réflexion de 10 jours avant d'accepter l'offre de crédit. La réalisation de la vente est subordonnée à l'obtention du prêt. Si celui-ci n'est pas obtenu, le vendeur doit rembourser les sommes versées.

CASDEN Banque Populaire Société Anonyme Coopérative de Banque Populaire à capital variable Siège social : 1 bis rue Jean Wiener 77420 Champs-sur-Marne Siren n° 784 275 778 RCS Meaux Immatriculation ORIAS n° 07 027 138 BPCE Société anonyme directoire et conseil de surveillance au capital de 207 603 030 euros. Siège social : 7, promenade Germaine Sablon 75013 PARIS Siren n° 493 455 042 RCS Paris Immatriculation ORIAS n° 08 045 100 Conception : becoming Crédits photos : SolAir Illustrations : © Frédéric Rebouina Document à caractère publicitaire et sans valeur contractuelle. Ne pas jeter sur la voie publique.

Rédaction :

3, rue Michel-Ange – 75794 Paris Cedex 16

Téléphone : 01 44 96 40 00**E-mail :** lejourn@cnrs.fr**Le site internet :** <https://lejournal.cnrs.fr>**Anciens numéros :**<https://lejournal.cnrs.fr/numeros-papiers>**Directeur de la publication :**

Antoine Petit

Directeur de la rédaction :

Jérôme Guilbert

Rédacteur en chef :

Saman Musacchio

Rédacteurs en chef adjoints :

Laure Cailloce, Yaroslav Pigenet

Rédacteurs :

Mehdi Harmi, Marina Julienne

Maxime Lerolle, Laurence Stenvot

Ont participé à ce numéro :Thomas Allard, Julien Bourdet,
Morgane Gillard, Martin Koppe, Émilie Martin,
Matthieu Stricot, Fabien Trécourt**Secrétaire de rédaction :**

Fabien Maréchal

Direction artistique :

David Faure

Iconographes :Anne-Emmanuelle Héry, Sophie Léonard
et Valérie Delchambre**Gestionnaire :**

Mathieu Chatellier

Assistant de direction :

Frédéric Roman

Impression :

Roto France Impression

25 rue de la Maison Rouge, 77185 Lognes

ISSN 2261-6446

Dépôt légal : à parution

Photos CNRS disponibles à :
contact-mediathèque@cnrs.fr
<https://images.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 :**L'observatoire souterrain de neutrinos
de Jiangmen (Juno), en Chine.

© Yuexiang Liu / IHEP – JUNO Collaboration

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

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

Suivez l'actualité de la recherche avec le CNRS



L'Année de l'ingénierie a fait sa rentrée officielle le 1^{er} octobre au musée du quai Branly-Jacques Chirac. Piloté par le CNRS, le ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche et l'Académie des technologies, l'événement a pour ambition de promouvoir les sciences et les métiers de l'ingénierie, et de sensibiliser les jeunes générations aux problématiques que l'ingénierie soulève et cherche à résoudre. Nous nous adressons plus précisément aux enseignants, aux collégiens et aux lycéens, avec une attention particulière pour les jeunes filles et les jeunes issus de territoires éloignés de centres scientifiques. Mais aussi aux élèves des classes élémentaires, aux étudiants et au grand public.

Encore trop souvent, l'ingénierie est perçue comme un facteur du changement climatique. L'industrie et la technologie peuvent être l'objet de méfiance, de défiance ou de critique des futilités de certains marchés. Et s'il peut exister des exemples qui justifient en partie ces considérations, cette perception repose aussi sur une connaissance incomplète des réalités actuelles.

□ Promouvoir les sciences et les métiers de l'ingénierie. □

Nous allons tenter de corriger cette image en démontrant combien l'ingénierie est utile à la société. Aujourd'hui présente tout autour de nous, elle conjugue déjà des savoirs techniques issus de multiples disciplines scientifiques et se déploie dans de nombreux secteurs tels que l'énergie, la santé, l'espace, le sport, les transports, l'environnement, l'alimentation, les télécommunications, la culture, le bâtiment, et même l'industrie du jeu. Elle mobilise une palette de métiers très complémentaires : chercheurs, ingénieurs, designers, techniciens, opérateurs, ouvriers.

L'ingénierie a vocation à répondre à deux défis. D'abord, il s'agit de construire un

monde soutenable et responsable en apportant des réponses tangibles à de grands enjeux contemporains comme la limitation du changement climatique, la préservation des ressources, la santé des populations. Elle doit aussi renforcer l'autonomie stratégique de la France, rendre l'économie plus robuste et plus compétitive, et participer à la réindustrialisation.

Cette année de manifestations multiples doit couvrir quatre objectifs : créer des liens entre le monde de la recherche, de l'entreprise et de l'éducation ; accompagner les enseignants et participer à leur formation ; montrer la grande diversité des métiers et lutter contre les stéréotypes ; ré-impulser une culture de curiosité scientifique. Pour ce faire, nous déployons des actions, par exemple « Retour dans mon collège », une opération de médiation qui permet à des jeunes doctorants et ingénieurs de présenter leurs parcours et leurs choix d'orientation à des élèves, dans leur collège d'origine. Des actions labellisées sont aussi proposées par les partenaires et prendront des formes très variées : concours, colloque, exposition, forum, etc.

Outre son expertise scientifique et sa mission d'éclairer les décideurs, le CNRS joue un rôle majeur dans la diffusion des connaissances et l'attractivité des métiers scientifiques. Dans un contexte où les sciences sont parfois malmenées et l'industrie contestée pour ses externalités négatives, l'Année de l'ingénierie entend contribuer à ce grand chantier de restauration des imaginaires et des savoirs.

Lionel Buchaillet,
directeur de CNRS Ingénierie



© THIERRY HAGE / GORILLA PHOTOGRAPHIE



GRAND FORMAT

11

Grands instruments, la science XXL.....	12
L'épopée des géants	14
Cinq sites hors norme.....	19
Les infrastructures de recherche au défi de la transition environnementale.....	22
Les arbres du futur.....	26
Les nouveaux voyageurs du centre de la Terre	34



Stéphane Mallat, bâtisseur de ponts mathématiques et informatiques

EN PERSONNE 5

Stéphane Mallat, bâtisseur de ponts mathématiques et informatiques	6
Brèves	10



L'origine des mini-dunes élucidée

EN ACTION 39

Couronne solaire : ses températures révèlent leur mystère	40
L'origine des mini-dunes élucidée	42
Comment le chien a redécouvert l'Amérique	45
Impact sociétal de la recherche	46
Le mythe de la transition énergétique	48
À Fukushima, des tests de cognition pour les insectes	52
Guide de plongée en eaux médiatiques	54
Microalgues, grand danger.....	56



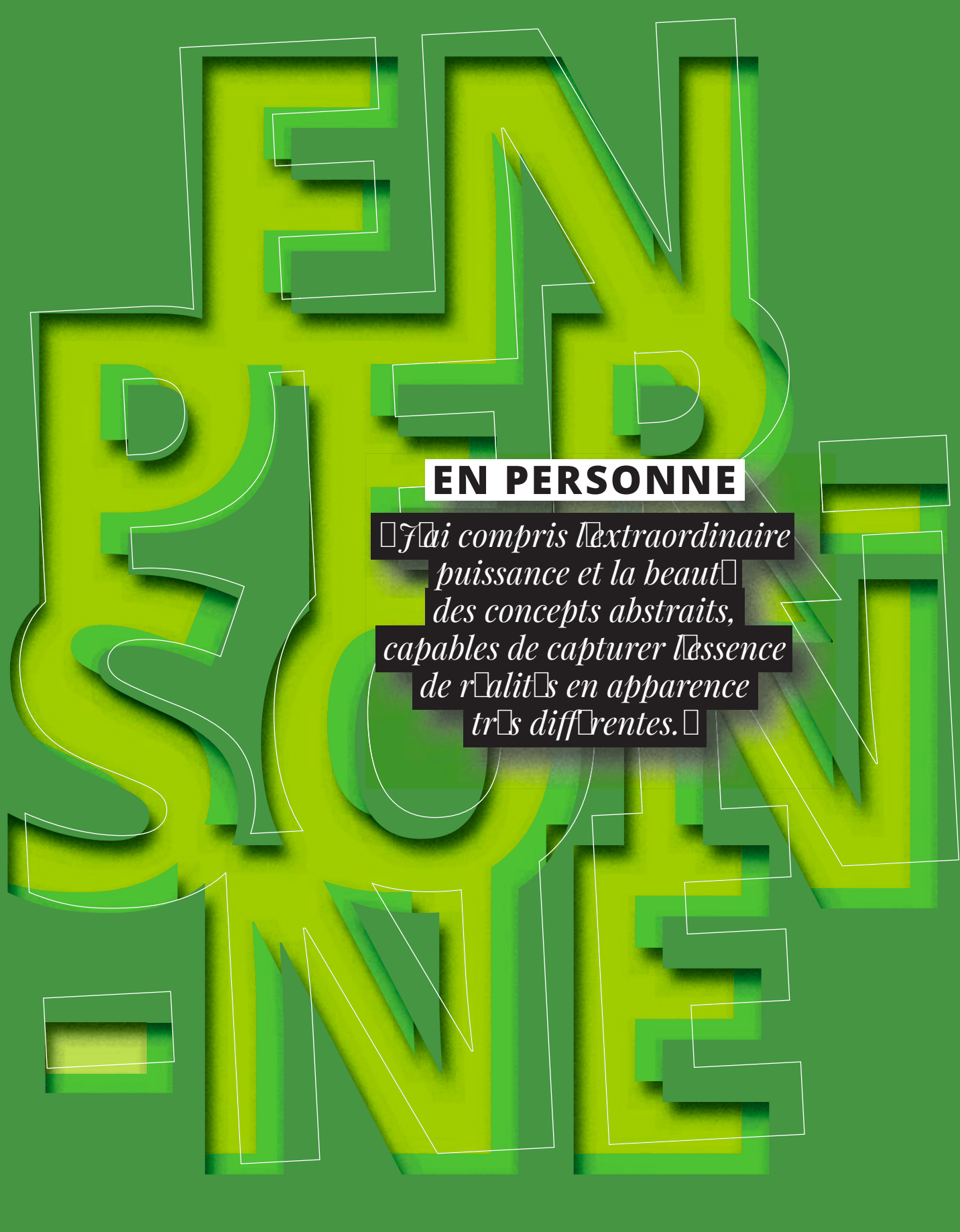
« Les émotions façonnent nos démocraties capitalistes »

LES IDÉES 59

Oui, les ados peuvent résister aux fake news	60
« Les émotions façonnent nos sociétés capitalistes »	63

LA CHRONIQUE

L'ingénierie au CNRS, pourquoi pas ?	66
--	----



EN PERSONNE

*« J'ai compris l'extraordinaire
puissance et la beauté
des concepts abstraits,
capables de capturer l'essence
de réalités en apparence
très différentes. »*

Stéphane Mallat, bâtisseur de ponts mathématiques et informatiques

« On imagine souvent les mathématiques comme un corpus de concepts abstraits, qui s'appliquent "d'en haut" à la réalité, souligne Stéphane Mallat. Mais, la plupart du temps, c'est l'inverse qui se produit : les problèmes du monde nous obligent à construire de nouveaux outils mathématiques. Or, pour les façonner, il faut "mettre les mains dans le cambouis", construire des ponts entre les abstractions mathématiques et les questions concrètes du monde. Et c'est justement là, sur cette frontière entre les deux, que je me sens bien. »

L'œuvre scientifique du chercheur de 62 ans, grand front surmonté de cheveux ébouriffés, regard doux et bleu et sourire généreux, l'atteste. Ses travaux ont profondément marqué les domaines des mathématiques appliquées au traitement du signal. Il est notamment l'inventeur d'un algorithme clé à l'origine du format JPEG 2000, et du décryptage mathématique des modèles d'apprentissage profond au cœur des intelligences artificielles.

Titulaire de la chaire de science des données au Collège de France et chercheur à l'École normale supérieure, membre de l'Académie des sciences, de la National Academy of Engineering américaine, cosignataire de

En alliant abstraction théorique et retombées concrètes, Stéphane Mallat a marqué de son empreinte les mathématiques et les sciences informatiques. Depuis le format de compression d'images JPEG 2000 jusqu'aux fondements mathématiques de l'intelligence artificielle, il a façonné des outils devenus incontournables. Il est lauréat 2025 de la médaille d'or du CNRS.

PAR ÉMILIE MARTIN

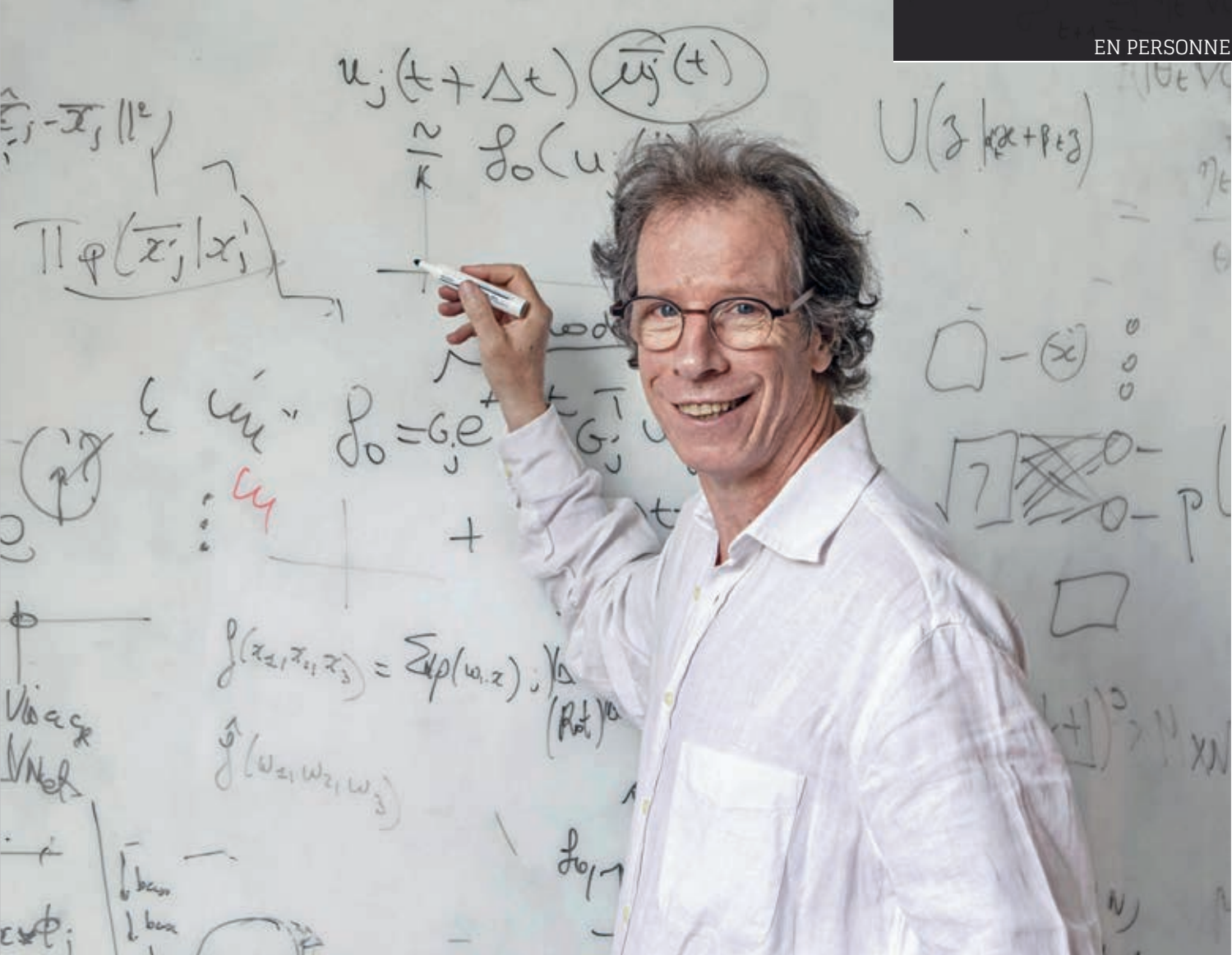
10 brevets, lauréat de la médaille de l'innovation du CNRS et de nombreuses autres distinctions internationales, Stéphane Mallat s'est vu décerner le 11 septembre la plus prestigieuse de toutes les récompenses scientifiques françaises : la médaille d'or du CNRS.

« Incarner des idées »

Très tôt, le jeune Stéphane se révèle féru de maths – « *une bulle dans laquelle je me sentais bien* » –, mais elles sont à ses yeux trop éthérées pour qu'il envisage d'en faire son métier. Enfant, il aime « *construire des choses, incarner des idées, comme un ingénieur* », en pratiquant la menuiserie. « *Si je suis revenu aux maths, c'est d'ailleurs à la faveur d'intuitions issues d'applications. J'ai alors compris l'extraordinaire puissance et la beauté des concepts abstraits, capables de capturer l'essence de réalités en apparence très différentes.* »

Après un cursus sans faute à Polytechnique, il s'envole pour l'Université de Pennsylvanie (États-Unis), où, en 1988, il soutient une thèse en maths appliquées au traitement

*La question de la représentation
parcimonieuse se pose
dans tous les domaines.*



► Stéphane Mallat travaille des modèles mathématiques pour la génération de données par réseaux de neurones.

d'images sous la direction de Ruzena Bajcsy – « une pionnière du domaine », à une époque où le numérique explose. Une image de 1 000 x 1 000 pixels contient 1 million de valeurs numériques. Chaque pixel est un nombre compris entre 0 (noir) et 255 (blanc). Comment extraire de l'information d'une telle avalanche d'octets ? Sa directrice de thèse propose à Stéphane Mallat d'essayer en modifiant la résolution des images.

Tout au long de sa thèse, puis durant les huit années suivantes, au prestigieux Institut Courant de New York, il s'emploie à révéler des principes qui gouvernent l'extraction d'information de toutes sortes de données numériques (images, sons, électrocardiogrammes...), avec un objectif en tête : représenter des données de grande taille comme une superposition d'un nombre minimum de structures élémentaires.

En quête des structures essentielles

Cette question de représentation parcimonieuse se pose dans tous les domaines. En musique, par exemple, une mélodie polyphonique est constituée d'une succession de briques élémentaires que sont les notes. Dès le début

de sa carrière, Stéphane Mallat se met en quête de ces structures essentielles capables de représenter avec parcimonie n'importe quel type de données. La sérendipité va le mettre sur le chemin de ces briques élémentaires.

Sur la plage, un été, un ami lui parle des travaux du mathématicien Yves Meyer sur les « ondelettes » – en mathématiques, une ondelette est une courbe qui oscille sur un petit domaine puis s'annule.

Intrigué, Stéphane Mallat se procure l'article, qui démontre notamment que l'on peut représenter n'importe quelle courbe complexe comme une superposition d'ondelettes très particulières. Le problème mathématique posé par Yves Meyer était de comprendre s'il était possible de construire d'autres types d'ondelettes pouvant produire des décompositions plus parcimonieuses¹.

« J'ai trouvé une solution à cette question mathématique à partir du problème de traitement d'images posé par Ruzena Bajcsy, précise Stéphane Mallat. En traitement d'images, les ondelettes peuvent s'interpréter comme des détails qui

1. Ou, dit en langage mathématique : « construire des nouvelles bases orthogonales avec des ondelettes ».

Le langage mathématique des ondelettes a engendré une norme mondiale.

augmentent progressivement la résolution des images. En suivant ce chemin, j'ai introduit la théorie des analyses à différentes résolutions, qui permet de construire toutes les ondelettes mathématiques. Ainsi, l'intuition issue du traitement d'images m'a donné la solution du problème mathématique, mais c'est l'abstraction mathématique qui m'a permis de comprendre comment calculer la "transformée en ondelettes". » Autrement dit : un algorithme rapide qui réécrit n'importe quelle donnée numérique – par exemple, une image constituée de millions de pixels – en une superposition d'un nombre bien plus réduit d'ondelettes décrivant chacune une variation locale de l'image.

Puissant, capable de rapidement compresser des images sans perte d'information, l'algorithme de Mallat est au cœur de nombreuses applications qui émergent au tournant du millénaire, dont le standard de compression d'images JPEG 2000. Sous la houlette du chercheur, le langage mathématique des ondelettes a ainsi

engendré une norme mondiale utilisée non seulement dans les logiciels, mais aussi dans beaucoup de bases de données médicales, météorologiques, astronomiques...

Déjà auréolé de succès et reconnu dans le monde entier comme un scientifique avec lequel il faut désormais compter, le bâtisseur de ponts continue sur sa fulgurante lancée. Il entend pousser plus loin encore la sobriété dans la représentation des données dont il est l'artisan.

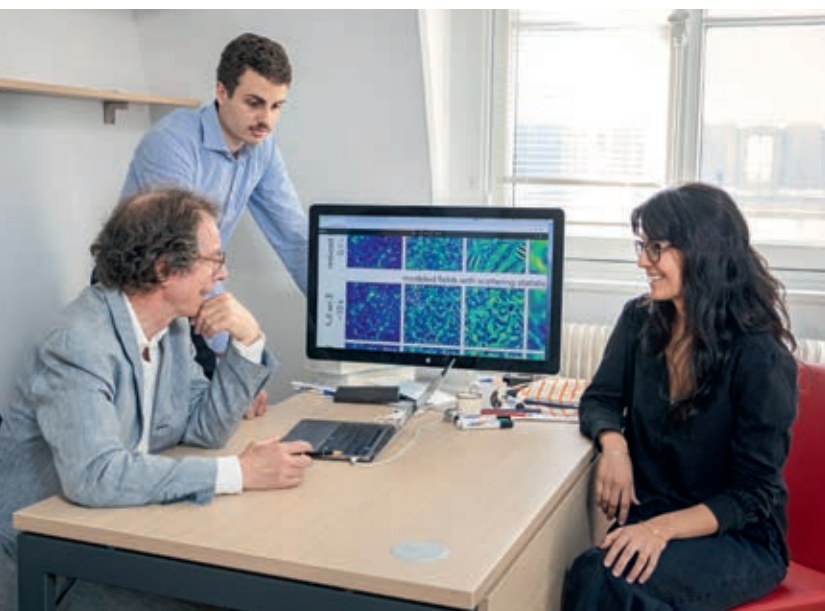
« D'enseignant-chercheur à CEO »

De retour en France, alors directeur du département de mathématiques de l'École polytechnique depuis 1998, il introduit le concept très innovant de « dictionnaire mathématique », lequel comprend un grand nombre de briques élémentaires, plus spécialisées que des ondelettes. Parmi elles, les « bandelettes » permettent de représenter les images et la géométrie des contours de façon plus efficace encore. Et poussent le chercheur à changer de vie.

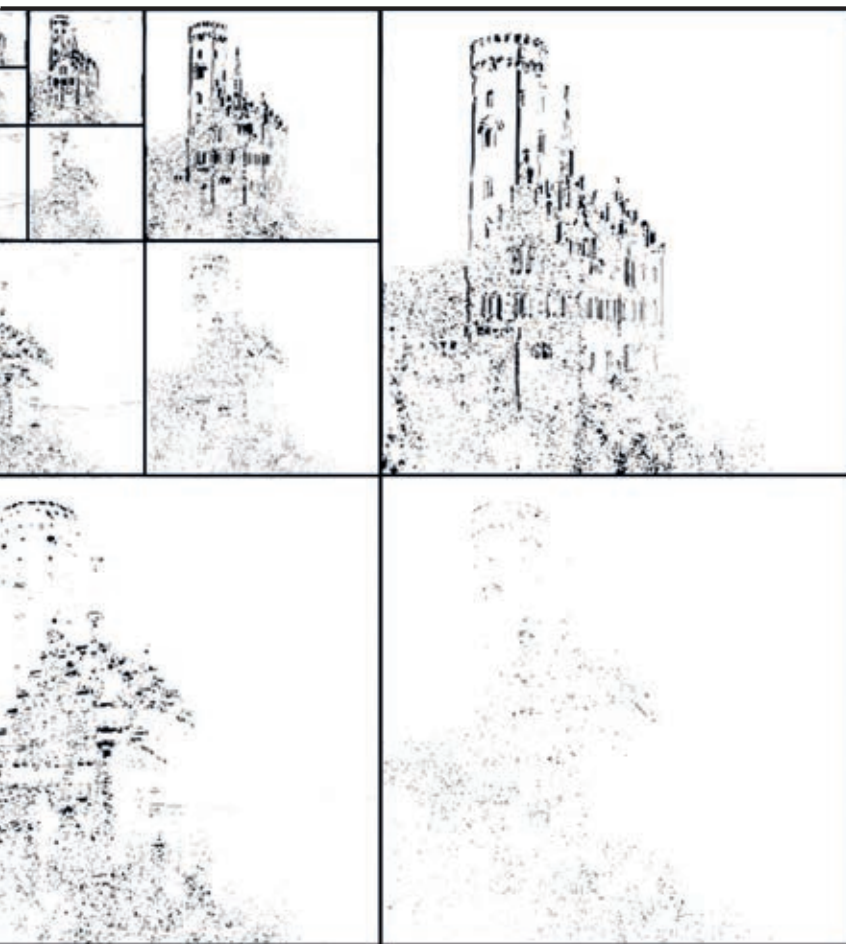
En 2001, avec trois de ses anciens doctorants, il fonde Let It Wave. La start-up exploite ces bandelettes capables d'affiner les images et, ainsi, d'offrir une meilleure résolution aux écrans plats. « *Quasiment du jour au lendemain, je suis passé d'enseignant-chercheur à CEO [P-DG, Ndlr] et j'ai découvert un nouveau monde : le marketing, la négociation des levées de fonds, l'angoisse que l'aventure s'arrête brutalement faute de subsides... C'était passionnant, mais, en changeant de monde, j'ai réalisé à quel point la recherche et l'enseignement me manquaient.* »

► Stéphane Mallat souligne l'importance des équipes pour « formuler les bonnes questions, partager les succès aussi bien que les coups durs ».

© PHOTO ANDRÉAS TILLY CC BY-SA 3.0 ; À DROITE, DÉPARTEMENT D'INFORMATIQUE DE L'ÉCOLE NORMALE SUPÉRIEURE - UM8548



© FRÉDÉRIQUE PIAS / CNRS IMAGES



► Transformée en ondelettes d'une image : on obtient une représentation parcimonieuse de l'image. Ses textures et ses contours sont codés en ondelettes par les points noirs (à droite) selon trois orientations, à différentes résolutions successives. Cette représentation est utilisée par le standard de compression d'images JPEG 2000.

Trop de concret, pas assez d'abstrait. Alors, après avoir avantageusement vendu Let It Wave, Stéphane Mallat retourne à Polytechnique, en 2007. Là, il crée des cours d'entrepreneuriat pour les étudiants. Une façon de passer le flambeau du bâtisseur.

En 2008, il découvre les résultats de Yann LeCun sur les réseaux de neurones profonds. « Je connaissais suffisamment les applications au traitement d'images pour réaliser que ces programmes informatiques inspirés du cerveau humain n'apportaient pas qu'un simple progrès, mais un véritable changement de paradigme. »

Stéphane Mallat plonge alors la tête la première dans le monde de l'intelligence artificielle. Son but : élaborer des modèles mathématiques pour comprendre les étonnantes performances des réseaux de neurones.

Ceux-ci apprennent à répondre à une question en analysant une donnée (par exemple, identifier l'animal présent sur une image). Durant leur entraînement, on leur fournit des millions d'exemples avec, à chaque fois, la bonne réponse (le nom de l'animal correspondant à chaque image). Tout comme un élève qui s'entraîne sur des exercices, le réseau apprend en modifiant ses réglages internes pour commettre moins d'erreurs.

« Mais comment parvient-il à calculer autant de bonnes réponses sur des nouvelles images qu'il n'a jamais vues ? C'est un mystère, car ces problèmes sont très complexes, insiste le chercheur. Quel type d'information a-t-il appris à extraire des données ? J'observais que ces réseaux de neurones calculent au départ une "transformée en ondelettes". Cela me rappelait les résultats de neurophysiologistes, qui ont aussi trouvé des "transformées en ondelettes" dans les premières aires de notre cortex visuel, ainsi que dans la cochlée de l'oreille. »

Fort de son expertise et de cette vision interdisciplinaire, Stéphane Mallat montre que, pour traiter les données, un réseau de neurones construit des représentations hiérarchiques. « La transformée en ondelettes est une première étape pour construire cette hiérarchie. » En levant ce mystère, le chercheur jette des bases mathématiques des modèles d'apprentissage profond, sur lesquelles reposent aujourd'hui bon nombre d'IA modernes.

« Mais, plus on avance dans les couches des réseaux, plus ces derniers détectent des structures sophistiquées. Certains neurones s'activent pour des choses très précises, comme une mélodie ou un visage. C'est comme si ces couches profondes représentaient les données avec des "dictionnaires mathématiques" très riches et très spécialisés, mais dont les propriétés restent mal comprises par les scientifiques. »

« On n'avance quasiment jamais seul »

Tous ces résultats, insiste Stéphane Mallat, ont été obtenus collectivement : « En science, on n'avance quasiment jamais seul. Tout au long de ma carrière, j'ai beaucoup travaillé avec mes doctorantes et doctorants, et de nombreux collaborateurs et collaboratrices. Ils et elles m'ont accompagné pour formuler les bonnes questions, partager les succès aussi bien que les coups durs. »

Menacent-elles nos sociétés, ces intelligences artificielles sur lesquelles Stéphane Mallat planche encore aujourd'hui ? « Elles sont porteuses de fabuleux progrès, par exemple en médecine, mais, comme toute technologie, elles présentent aussi des dangers – pour le respect de la vie privée et à cause de leur potentielle utilisation militaire, estime le chercheur. Il est donc indispensable de les contrôler et de réguler, mais ce n'est pas qu'une affaire de gouvernements. »

« Chacun d'entre nous est confronté à cette révolution, poursuit-il, et aura besoin de s'adapter pour profiter du meilleur tout en évitant les dérives. Cela nécessite de comprendre l'IA, de ne pas les mythifier. C'est notamment dans ce but que j'ai créé MathADa [voir Mathadata.fr, NdIr], un programme d'enseignement des mathématiques au lycée, en lien direct avec la résolution de problèmes pratiques d'IA. »

Et à quoi vous occupez-vous, Stéphane Mallat, lorsque vous ne jetez pas des ponts entre grandes idées et réalité à travers un océan de données ? « J'adore danser. Le tango, le rock... Parfois sur les quais de Seine. Quand je danse, je suis dans un autre monde, celui de la musique et de ma partenaire. Je déconnecte. » Tous les bâtisseurs n'ont-ils pas besoin de parfois souffler ? ■

Sandrine Sagan, nouvelle directrice de CNRS Chimie

Docteure en pharmacologie moléculaire, Sandrine Sagan a été recrutée au CNRS en 1993. Ses recherches, à l'interface de la chimie et de la biologie, portent sur la conception et la fonction de molécules bioactives. Elle compte plus de 130 publications à son actif. Elle a rejoint la direction de CNRS Chimie en 2020 comme directrice adjointe scientifique, avant d'en être nommée directrice le 16 juin dernier.



© CYRIL PRÉLON / CNRS IMAGES

Thomas Ribeiro

prend les rênes de
CNRS Innovation

Docteur en chimie, Thomas Ribeiro a exercé dans le conseil en financement de l'innovation et au sein de l'incubateur Descartes avant de rejoindre CNRS Innovation en 2019. Ce spécialiste de l'accompagnement des start-up en a dirigé le département dédié, puis le département Émergence et accompagnement, et en est directeur général depuis le 1^{er} juillet.



© COLE PERSONNELLE

Vincent Benavent

à la tête de la délégation Île-de-France Villejuif

Juriste de formation, Vincent Benavent a occupé plusieurs fonctions de direction dans la recherche et l'enseignement supérieur. Dernièrement secrétaire général adjoint du rectorat de Créteil, il a pris ses fonctions de délégué régional au CNRS le 1^{er} septembre.



© CNRS

Fabrice Boudjaaba

directeur de CNRS
Sciences humaines
& sociales

Historien-démographe,
Fabrice Boudjaaba



© CYRIL PRÉLON / CNRS IMAGES

est directeur de recherche CNRS au Centre de recherches historiques. Il a occupé les fonctions de directeur adjoint scientifique (2016-2021), puis de directeur adjoint de l'institut CNRS Sciences humaines & sociales, avant d'en prendre la direction le 1^{er} septembre.

Matthias Cléry

au Comité
pour l'histoire
du CNRS

Matthias Cléry, agrégé de mathématiques et historien des sciences, a travaillé sur l'Institut Henri Poincaré et enseigné dans le secondaire, puis à l'université. Il rejoint le Comité pour l'histoire du CNRS en juin 2025 et en devient directeur le 1^{er} septembre.



© CYRIL PRÉLON / CNRS IMAGES

Alice Bossière,

directrice de l'audit interne

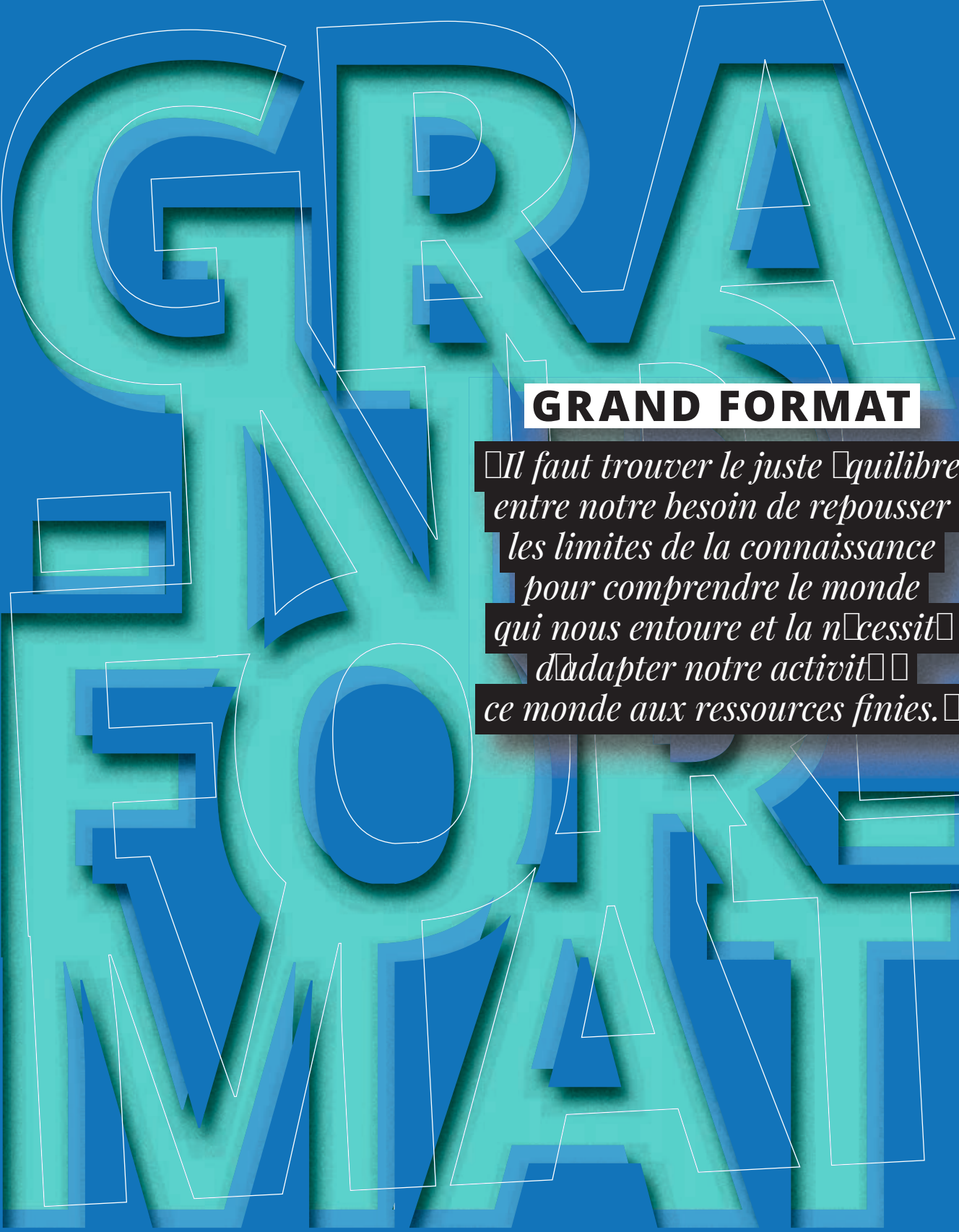
Alice Bossière, ancienne élève de l'ENS et de l'ENA, débute à la Cour des comptes, avant de rejoindre la Médiatrice européenne, puis la Haute Autorité pour la transparence de la vie publique. Avocate générale au parquet de la Cour des comptes depuis 2021, elle est nommée en juillet 2025 directrice de l'audit interne du CNRS.

Bureaux du CNRS à l'étranger : trois nouveaux directeurs

Depuis le 1^{er} septembre, **Gilles Alcaraz**, directeur de recherche en chimie organique, dirige le bureau de New Delhi ; **Pascal Marty**, professeur de géographie de l'environnement, celui de Melbourne ; et **Bruno Le Pioufle**, professeur à l'ENS Paris-Saclay et docteur en physique, celui de Tokyo.

Charles Froger

Nouveau référent signalements, Charles Froger est maître de conférences en droit public à l'université Paris 1 Panthéon-Sorbonne depuis 2014. Docteur en droit de l'université de Bordeaux, il est nommé le 1^{er} septembre 2025 référent signalements du CNRS, chargé de recevoir les signalements d'actes de violence, de discrimination, de harcèlement et d'agissements sexistes.



GRAND FORMAT

Il faut trouver le juste équilibre entre notre besoin de repousser les limites de la connaissance pour comprendre le monde qui nous entoure et la nécessité d'adapter notre activité à ce monde aux ressources finies.

Grands instruments
La science
XXL

Les grandes infrastructures de recherche, comme les observatoires astronomiques, incarnent depuis des siècles notre volonté de mieux comprendre le monde. Conçues pour repousser les limites de la connaissance, elles mobilisent de tels moyens humains et technologiques qu'il est difficile pour un pays de les porter seul. Et, s'ils ont engendré des découvertes majeures, ces instruments se trouvent désormais confrontés à de nouveaux défis : impact environnemental, tensions budgétaires et enjeux géopolitiques. Entre la multiplication des collaborations scientifiques et les incertitudes liées à leur financement, ces infrastructures hors norme dessinent les contours d'une recherche en quête d'équilibre.

Le fonctionnement de l'observatoire de Kitt Peak, en Arizona, est menacé par des coupes budgétaires.

MATIÈRE

Des installations astronomiques aux accélérateurs de particules, les grandes infrastructures de recherche ont façonné l'histoire des sciences. Mais elles se retrouvent aujourd'hui au cœur de débats budgétaires et géopolitiques qui conditionnent leur avenir.

PAR MATTHIEU STRICOT

Étoiles, comètes, gravité, reproduction... Depuis des millénaires, les humains tentent de comprendre les phénomènes dont ils sont témoins. L'astronomie, en particulier, les a poussés à développer des instruments pour décrypter le ciel.

Longtemps, ces observations se sont faites à l'œil nu, en s'aidant d'une règle montée sur un trépied pour mesurer la hauteur d'une étoile. Il faudra attendre la fin du XVI^e siècle pour voir apparaître la lunette¹. Galilée commence à l'utiliser à l'été 1609. Quelques mois plus tard, il réalise ses premières découvertes. Il convainc progressivement la plupart des astronomes de l'époque, notamment Johannes Kepler, du caractère indispensable de cet outil. Quant au télescope, il sera inventé entre la fin du XVII^e et le début XVIII^e siècle par des savants comme Isaac Newton et James Gregory.

Le Jantar Mantar, observatoire astronomique édifié à Jaipur, au Rajasthan, à partir de 1727.



L'histoire des grands

C'est aussi à l'époque moderne qu'est fondé ce qui peut être considéré comme le premier grand équipement de l'histoire. « Situé sur l'île de Ven, entre la Suède et le Danemark, l'observatoire de Tycho Brahe, à la fin du XVI^e siècle, est grand pour son époque. Les observations s'y font à l'œil nu, mais il s'agit d'une véritable usine scientifique qui a vu passer plus de 150 élèves ou assistants, dédiés à l'entretien du matériel ou aux calculs. On y trouve un local pour les instruments, une presse pour publier les résultats, et même un petit laboratoire d'alchimie », décrit Jérôme Lamy, historien et sociologue des sciences au CNRS².

Tout comme son confrère Vincent Simoulin³, il définit un grand équipement à la fois par sa taille, la flexibilité dans l'usage de ses instruments et la polyvalence de ses équipes. Ces critères valent pour les observatoire de Paris (créé en 1667), de Greenwich (1675) ou de Jaipur, en Inde (le Jantar Mantar, bâti au XVIII^e siècle), comme pour le Jardin royal des plantes médicinales (actuel Jardin des plantes).

Un bond en avant

Entre le XVIII^e et le XIX^e siècle, les grands équipements se spécialisent, avec une professionnalisation des pratiques scientifiques. Il faut être reconnu dans sa discipline pour y entrer. La standardisation des protocoles d'enquête ouvre en outre la possibilité de délégations techniques.

L'exemple de l'observatoire de Toulouse, auquel Jérôme Lamy a consacré sa thèse, illustre les avancées de cette période : « Il est fondé dans les années 1840, lorsque les autorités remarquent la nécessité d'avoir, en province, un observatoire compétent. La construction d'un grand télescope de 80 cm est financée dans les années 1850-1860. Après la défaite contre la Prusse, en 1871, la III^e République décide de fonder une puissance scientifique française. L'astronomie connaît alors un bond en avant. L'observatoire intègre



Galilée observe le ciel avec sa lunette astronomique, sur la place Saint-Marc, à Venise (gravure sur bois).

Un grand instrument se définit à la fois par sa taille, la flexibilité dans l'usage de ses instruments et la polyvalence de ses équipes.

le projet scientifique international "Carte du ciel" grâce à son astrophotographe, et va jusqu'à mener des expériences de magnétisme terrestre. »

La mondialisation astronomique

Dans l'entre-deux-guerres, ce qui est alors le plus grand télescope du monde, doté d'un miroir de 5 m de diamètre, est construit sur le mont Palomar, en Californie. C'est le début d'une course au gigantisme. Le télescope Hale voit sa première lumière en 1949.

« Les astronomes du monde entier essaieront d'en bâtir des répliques, mais la construction de tels télescopes réclame des investissements colossaux, explique Pascal Marichalar⁴, sociologue et historien des sciences. C'est pourquoi les scientifiques se lancent dans des collaborations entre différentes universités et pays, tout en cherchant les meilleurs sites au monde. Jusqu'alors, on installait généralement les télescopes à proximité des universités, dans des endroits accessibles. À partir des années 1950, on déconnecte géographiquement l'emplacement de la grande infrastructure de recherche en astronomie. »

En 1954, six pays européens signent une charte en vue de créer l'European Southern Observatory (ESO, ou Observatoire européen austral), afin de construire

un grand télescope dans l'hémisphère Sud. Le Chili est choisi en raison de son ciel exceptionnellement peu nuageux. Vingt-cinq ans plus tard, le grand télescope international Canada-France-Hawaii, cogéré par le CNRS, est édifié sur le Mauna Kea, à Hawaï.

Depuis, des innovations techniques ont permis de concevoir des télescopes encore plus grands que le Hale californien : miroir segmenté (formé de dizaines, voire de centaines de petits miroirs hexagonaux assemblés) comme pour le futur Extremely Large Telescope européen,

1. Instrument d'optique composé de lentilles qui augmente la luminosité et la taille apparente des objets observés. Le télescope, lui, concentre la lumière via des miroirs. 2. Centre européen de sociologie et de science politique de la Sorbonne (unité CNRS/EHESS/Univ. Panthéon-Sorbonne) 3. Centre d'étude et de recherche travail organisation pouvoir (unité CNRS/Univ. Toulouse Jean-Jaures/Univ. de Toulouse). 4. Institut de recherche interdisciplinaire sur les enjeux sociaux – sciences sociales, politique, santé unité CNRS/EHESS/Inserm/Univ. Paris Nord).



Télescope Cochise de 2,6 m, sur la station franco-italienne Concordia (Antarctique), une infrastructure de recherche considérée comme stratégique.

au Chili ; miroir en ménisque fin, permettant de corriger les aberrations optiques dues à la forme du miroir primaire, comme celui du télescope national japonais Subaru, sur le Mauna Kea ; ou encore, miroirs en nid d'abeille, plus légers car soutenus par un support alvéolaire, qui équiperont le Giant Magellan Telescope, en chantier au Chili.

Le Cern, référence en physique des particules

L'après-guerre voit la course au gigantisme instrumental gagner toutes les disciplines, en particulier dans la physique des particules. Créé en 1954, et à cheval entre la France et la Suisse, le Cern (Conseil européen pour la recherche nucléaire) devient une référence dans le domaine des grandes infrastructures scientifiques de coopération internationale.

« L'équipement, qui mobilise des équipes de milliers de personnes et des communautés scientifiques entières, accueillera en 2008 le plus grand et le plus puissant accélérateur de particules au monde, le Large Hadron Collider (LHC), rappelle Jérôme Lamy. Son activité suppose une organisation et une logistique d'une complexité rare et totalement innovantes. »

« De nombreuses découvertes majeures seront réalisées au Cern (des courants neutres aux bosons W et Z, et plus récemment, en 2012, le boson de Higgs) grâce au LHC », souligne Michel Guidal, résident du Comité TGIR (Très grandes infrastructures de recherche) du CNRS.

La physique des particules s'adosse fortement à cet équipement unique au monde. Mais les grandes infrastructures se sont également multipliées dans d'autres domaines de recherche, souvent dans le cadre de coopérations internationales.

« Le Super-Kamiokande, construit au Japon en 1994, et le Sudbury Neutrino Observatory, au Canada (mis en opération en 1999), ont mené des expériences souterraines autour de la physique des neutrinos, poursuit Michel Guidal. Comme pour le Cern, des prix Nobel y ont été associés, avec des moyens colossaux et des technologies à la pointe de la science. »

Souvent internationales, les grandes infrastructures se sont multipliées dans tous les domaines.

En France et en Europe, les grandes infrastructures de recherche (IR) sont labellisées. « *En ce qui concerne la France, elles sont une centaine et peuvent parfois être localisées hors de l'Hexagone.* » Vingt-cinq d'entre elles, appelées « IR étoile » (IR*), sont considérées comme stratégiques. Parmi celles-ci : l'Institut Laue-Langevin, l'European Synchrotron Radiation Facility (ESRF), le Grand accélérateur national d'ions lourds (Ganil), la base franco-italienne Concordia, en Antarctique, ou encore l'Eso, au Chili.

« *Ces infrastructures, souvent internationales de par leur envergure, peuvent concerner tous les domaines : physique, chimie, astrophysique, biologie, informatique, sciences humaines et sociales, etc.* », précise Michel Guidal. Mais, si cette internationalisation ouvre des perspectives inédites pour la recherche, elle s'accompagne aussi de nouveaux défis, qu'ils soient de nature environnementale, politique et budgétaire, voire territoriale.

Télescopes, des terrains de désaccord

Un exemple emblématique, relaté par Pascal Marichalar : « *L'invention et la généralisation de l'interférométrie⁵, depuis les années 1980, ont poussé les astronomes à imaginer des réseaux de télescopes connectés, au lieu d'un seul dôme, ce qui multiplie la surface occupée par des instruments. C'est ainsi que le Mauna Kea, à Hawaï, est devenu un symbole de la tendance invasive des infrastructures de recherche⁶. Dans les années 1990, cette montagne, sacrée pour les autochtones, est devenue le point focal d'une contestation hawaïenne souhaitant réaffirmer ses droits sur son territoire.* »

D'abord annulé par la Cour suprême d'Hawaï pour des vices de procédure dans le permis de construire, le Thirty Meter Telescope (TMT) a été de nouveau autorisé en 2019,

□ *Il faut désormais intégrer la question de l'acceptabilité de ces investissements par la société, dans un contexte de crise économique et environnementale.* □

soulevant un mouvement de blocage du site par des milliers de personnes pendant des mois. De même, le projet du Futur Collisionneur Circulaire (FCC) du Cern – estimé à plus de 16 milliards d'euros financés par une trentaine de pays, et projeté à l'horizon 2040 – suscite des controverses au sein même de la communauté scientifique (lire p. 22).

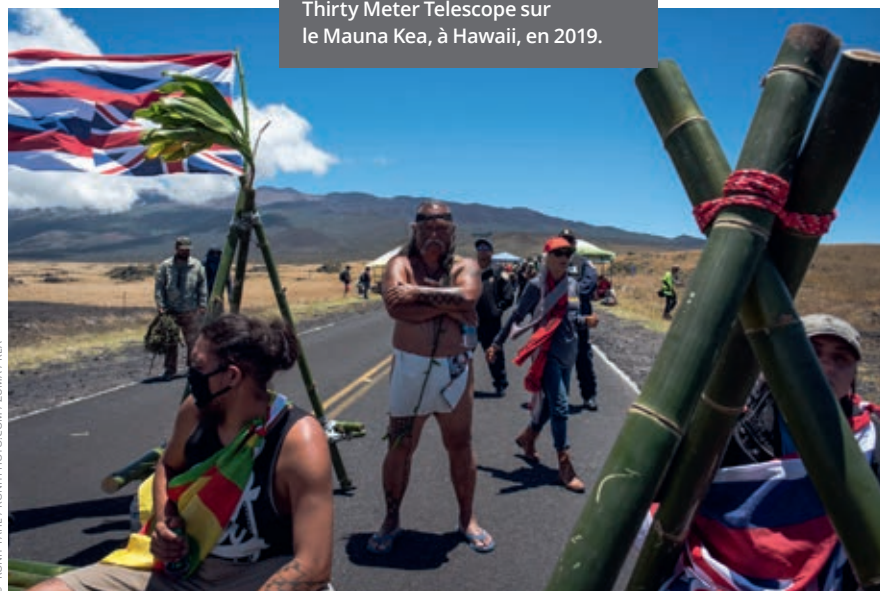
« *Le FCC pourrait permettre d'étudier extrêmement finement les propriétés du boson de Higgs et de mener des recherches fondamentales autour de la matière noire, par exemple, pointe Michel Guidal. Les découvertes n'étant jamais garanties, il faut désormais intégrer la question de l'acceptabilité de ces investissements par la société, dans un contexte de crise économique et environnementale.* »

Et ce, malgré le fait que ces découvertes génèrent aussi souvent des retombées très concrètes et immédiates : « *On peut notamment rappeler que les recherches du Cern ont mené à la création du Web, ou encore que l'IR Neurospin, sur le plateau de Saclay, produit une imagerie à résonance magnétique nucléaire grâce à la technologie d'aimants supraconducteurs développée au Cern. Cet appareil permet de réaliser une visualisation médicale extrêmement fine, avec une application concrète dans la santé.* »

Coupes budgétaires aux États-Unis

Les revirements politiques nationaux peuvent aussi mettre à mal des collaborations internationales. « *Les coupes budgétaires énormes dans la National Science Foundation, voulues par l'administration Trump dans le budget 2026, pourraient menacer le bon fonctionnement de certains instruments : celui de Kitt Peak (Arizona), la moitié de l'observatoire Gemini, basé entre Hawaï et le Chili, ou encore l'un des détecteurs d'ondes gravitationnelles du projet Ligo-Virgo, détaille Pascal Marichalar. Sans oublier les coupes dans le budget de la Nasa qui menacent notamment la mission de la sonde Juno⁷ ou*

Blocage sur une route pour protester contre la construction du Thirty Meter Telescope sur le Mauna Kea, à Hawaï, en 2019.



5. Interférométrie : utilisation de plusieurs petits télescopes séparés les uns des autres, mais qui, combinés, atteignent une résolution identique à celle d'un miroir d'un diamètre équivalent à la surface occupée par l'ensemble de ces télescopes. 6. En 1970, des défenseurs de l'environnement avaient déjà mené une première mobilisation contre l'installation du télescope Canada-France-Hawaï, qui menaçait l'écosystème d'animaux endémiques : tinyurl.com/art-telesc. 7. Qui étudie Jupiter.

le retrait probable des Américains du financement du radio-télescope Alma [interféromètre de 66 antennes, Ndlr], au Chili, qui associe l'Europe, le Japon et les États-Unis. Des dizaines de missions devraient être fermées du jour au lendemain. Une décision incompréhensible pour les astronomes. »

Bien que le financement de certaines grandes infrastructures semble actuellement en péril, notons qu'il n'y a jamais eu autant de collaborations scientifiques internationales qu'aujourd'hui. Nous vivons bien un âge d'or de l'instrumentation de grande envergure.

À preuve, le lancement de télescopes spatiaux tels que *James Webb* (en 2021) et *Euclid* (en 2023), le démarrage en juin 2025 de l'observatoire Vera C. Rubin, qui exploite la plus grande caméra du monde (construite en partie dans les laboratoires du CNRS), ou encore le détecteur de neutrinos KM3Net, déployé au fond de la Méditerranée. Tous ces instruments sont tournés vers la même ambition : percer les mystères de l'Univers. II



© THIBAUT VERGOZ / IRAM / CNRS IMAGES

Noema, avec 12 antennes dans les Hautes-Alpes, est le radio-télescope millimétrique le plus puissant de l'hémisphère Nord.

En sciences humaines et sociales, des infrastructures immatérielles et distribuées

En sciences humaines et sociales (SHS), de grandes infrastructures se sont constituées dans les années 2000, dans un contexte marqué par deux dynamiques convergentes. D'abord, la prise de conscience par les décideurs scientifiques d'un retard français en matière de structuration, de diffusion et de valorisation de la donnée. Ensuite, l'affirmation progressive des principes de la science ouverte au niveau européen. « *Contrairement aux infrastructures des sciences dites expérimentales, celles en SHS ne reposent pas sur des équipements massifs ou des sites uniques. Elles sont plutôt immatérielles et distribuées, c'est-à-dire basées sur des logiques de coordination entre entités et acteurs, souvent distants géographiquement,* souligne Frédéric Gonthier, professeur à Sciences Po Grenoble, membre du Laboratoire de sciences sociales¹ et de l'infrastructure de recherche Progedo². D'autre part, leur fondement est davantage méthodologique que technique : il s'agit d'organiser la production, l'archivage, la documentation et l'accès aux données selon des standards communs, et de garantir leur réutilisation scientifique. »

Les infrastructures Progedo et Huma-Num, aujourd'hui labellisées IR étoile³, sont emblématiques de ce modèle.

Approches fécondes

Le service le plus connu chez Huma-Num est l'assistant de recherche Isidore, qui offre aux chercheurs un portail⁴ via lequel ils ont accès, en français, anglais et espagnol, à l'ensemble de la publication scientifique française ainsi qu'à une partie de la publication européenne.

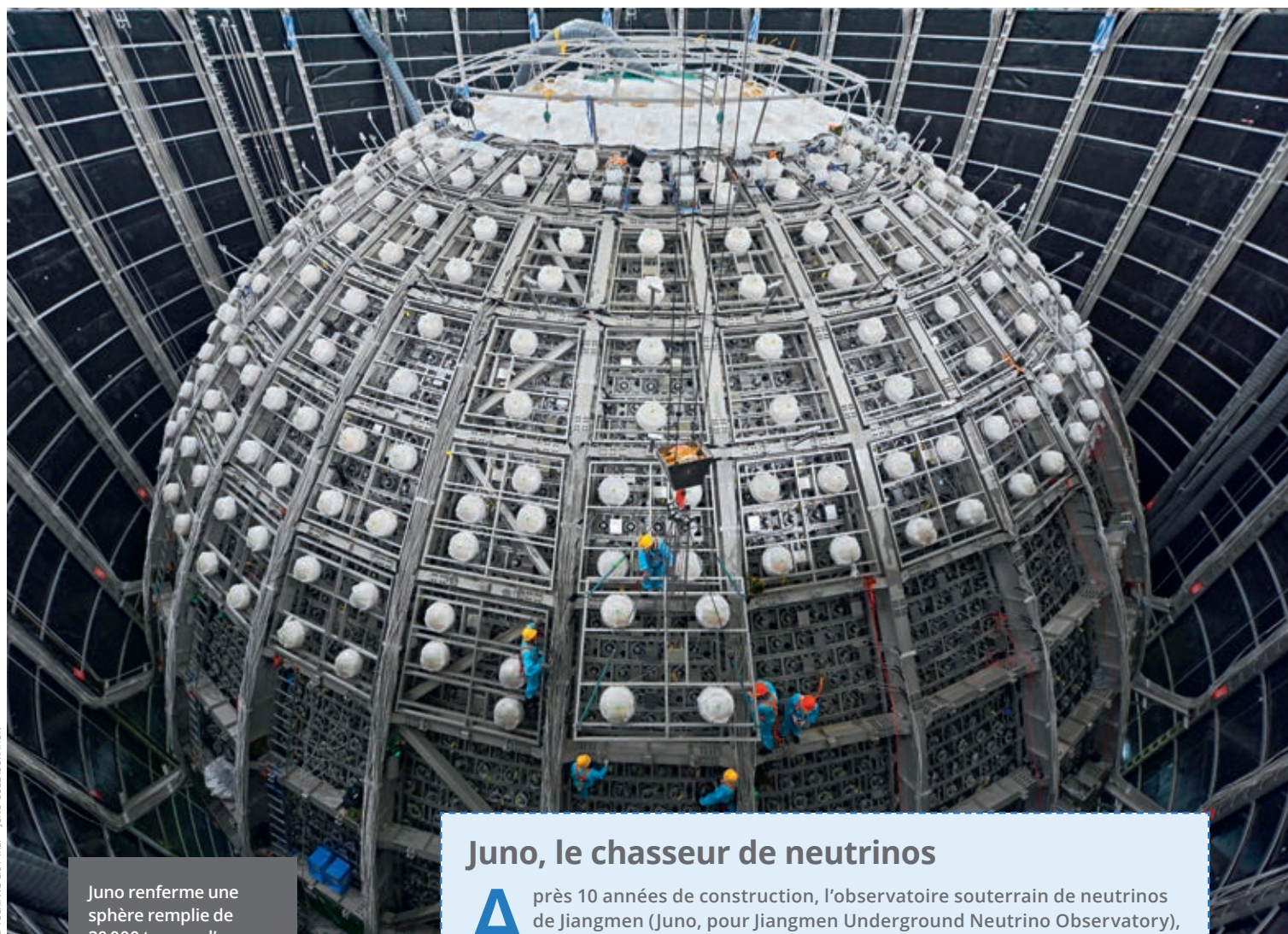
« *Dans l'IR Huma-Num, il existe une organisation assez originale à travers les consortiums, des groupes de chercheurs financés sur quatre ans avec deux objectifs : faire monter en compétences la communauté dans une discipline, avec pilotage par des chercheurs* », explique Jean-Luc Minel, président du conseil scientifique d'Huma-Num. « *Ces approches se sont avérées particulièrement fécondes, notamment grâce aux grandes enquêtes comparatives, qui sont devenues de véritables instruments de connaissance, comparables aux télescopes dans l'astronomie ou aux séquenceurs dans la génomique,* assure Frédéric Gonthier. Elles produisent des données publiques de haute qualité, systématiquement documentées et réutilisables. »

1. Pacte, unité CNRS/Université Grenoble Alpes. 2. Infrastructure nationale pour les données et les méthodes en sciences sociales quantitatives (CNRS). 3. IR étoile (ou IR*) désigne une grande infrastructure de recherche considérée comme stratégique. 4. Consulter <https://isidore.science>

Taille colossale, budget imposant, collaboration internationale étendue... Ces cinq infrastructures dédiées à la physique poursuivent des objectifs scientifiques à la mesure de leur gigantisme : pas moins que des révolutions.

PAR MEHDI HARMİ

Cinq sites hors norme



Juno renferme une sphère remplie de 20 000 tonnes d'un liquide qui doit émettre un flash quand un neutrino y réagit.

Juno, le chasseur de neutrinos

Après 10 années de construction, l'observatoire souterrain de neutrinos de Jiangmen (Juno, pour Jiangmen Underground Neutrino Observatory), en Chine, est entré dans sa phase opérationnelle à la fin d'août. Issu d'une collaboration internationale de plus de 700 scientifiques venant de 17 pays, dont des membres du CNRS, Juno a pour mission de détecter et d'étudier sous toutes leurs coutures les neutrinos – les particules élémentaires les plus fugaces et insaisissables que l'on connaisse. Constitué d'une sphère de 35,4 m de diamètre enfouie à 700 m de profondeur, Juno vient compléter un arsenal d'observatoires dédiés à l'étude des neutrinos à travers le monde.

Cern et LHC, rois de la physique des particules

Créée en 1954 à l'initiative de 11 pays, l'Organisation européenne pour la recherche nucléaire (ou Cern, acronyme du Conseil européen pour la recherche nucléaire qui la précéda) est un emblème de la réussite de la coopération scientifique internationale. Les scientifiques y ont découvert les bosons Z et W, en 1983, ainsi que le fameux boson de Higgs, en 2012, validant ainsi le modèle standard de la physique des particules. Ces découvertes n'auraient pas pu avoir lieu sans les accélérateurs de particules, tel le LHC (Large Hadron Collider). Ce dernier, après plusieurs mises à niveau, a gagné en puissance et en luminosité. Mais, pour explorer encore plus loin la physique des hautes énergies, les milliers de scientifiques du Cern réfléchissent au successeur du LHC qui, pour le moment, répond au nom de Futur collisionneur circulaire (FCC). Celui-ci pourrait avoir un diamètre de plus de 90 km, alors que le LHC n'en mesure « que » 27 km.

Le Solénoïde compact pour muons (ou CMS) identifie et mesure l'énergie et l'impulsion des particules émises par les collisions du LHC.

Préparation de la mise à l'eau d'une ligne de détection de neutrinos de KM3NeT.



KM3NeT, 200 000 capteurs sous la mer

Pensé et réalisé par les Européens, le réseau KM3NeT (pour Cubic Kilometre Neutrino Telescope) se compose de deux observatoires sous-marins – l'un situé au large de Toulon, l'autre, de la Sicile – dédiés à l'étude et l'observation des neutrinos. À la différence de Juno, KM3NeT est constitué de dizaines de chapelets de détection ancrés au fond de la mer Méditerranée. Ce sont ces petites sphères, bardées de photomultiplicateurs, qui seront à même de détecter le passage de neutrinos à leur proximité. Bien que l'installation des détecteurs ne soit pas terminée, KM3NeT a déjà réussi à détecter, en février 2023 (annonce à la presse le 12 février 2025), le neutrino le plus énergétique jamais enregistré¹. De bon augure pour le futur !

Vera C. Rubin, observatoire de l'énergie noire

Tout juste livré, l'observatoire Vera C. Rubin vient de percevoir ses premières lumières. Ce télescope géant est perché à 2 700 m d'altitude, sur une montagne du désert d'Atacama (Chili). Il est doté de trois miroirs dont l'un, le miroir primaire, dépasse 8 m de diamètre, permettant de photographier en haute définition d'énormes portions de ciel. Même s'il est issu d'une initiative américaine, certains de ses outils scientifiques ont été conçus par des pays tiers. Plusieurs éléments de l'appareil photonumérique – le plus grand du monde – en charge d'immortaliser le ciel chaque nuit proviennent ainsi de laboratoires du CNRS. L'observatoire Vera C. Rubin photographiera l'intégralité du ciel austral tous les trois jours. Il a pour mission de percer les mystères de l'énergie noire et pourra même être sollicité dans l'étude de corps sombres, telle l'hypothétique Planète 9.

La plus grande caméra numérique du monde est installée à l'observatoire Vera C. Rubin.



© RUBINOBS / NOIRLAB / SLAC / NSF / DOE / AURA / B. QUINT.

Les deux bras de 3 km de l'interféromètre Virgo, près de Pise, traquent les ondes gravitationnelles.



SOURCE THE VIRGO COLLABORATION CCO

Ligo-Virgo-Kagra, un trio astronomique

Voilà 10 ans tout juste que les ondes gravitationnelles défraient la chronique². Grâce à la mise en service des interféromètres géants Ligo et Virgo, dans les années 2000, puis Kagra, en 2019, sur trois continents différents (Ligo aux États-Unis, Virgo en Italie, Kagra au Japon), les scientifiques sont désormais les témoins, via la perception des ondes gravitationnelles, d'un des phénomènes les plus énergétiques de l'Univers : la fusion de trous noirs. Ces instruments permettent à la communauté scientifique mondiale de percevoir le cosmos sous un angle inédit, complémentaire des observations par les ondes électromagnétiques et les rayons cosmiques, signant ainsi l'avènement d'une nouvelle astronomie, appelée « multi-messager ». Mais la situation politique actuelle aux États-Unis pourrait compromettre le financement de certaines de ces infrastructures.

1. [Tinyurl.com/km3net-neutrino](https://tinyurl.com/km3net-neutrino) 2. [Tinyurl.com/ond-gravit](https://tinyurl.com/ond-gravit) / [Tinyurl.com/astro-gravit](https://tinyurl.com/astro-gravit)



Les infrastructures de recherche au défi de la transition environnementale

SOCIÉTÉS

PROSPECTIVE Le Cern a rendu publique l'étude de faisabilité du projet de Futur collisionneur circulaire. Mais l'empreinte environnementale de telles infrastructures de recherche n'est pas neutre, pointent des associations et des communautés scientifiques. Une invitation à faire avancer la connaissance de manière soutenable.

PAR MAXIME LEROLLE

Plus de 90 km de circonférence à 200 m sous terre entre la France et la Suisse, un budget de plus de 16 milliards d'euros sur 12 ans et une exploitation durant 70 ans : les chiffres du Futur collisionneur circulaire (FCC, ou Future Circular Collider), proposé pour prendre la relève du LHC au Cern à l'horizon 2050, donnent le tournis.

Ce qui sera le plus grand accélérateur de particules au monde s'efforcera de résoudre les questions cruciales de la physique fondamentale encore en suspens après la découverte du boson de Higgs, en 2012. Mais, avant même que son étude de faisabilité¹ soit publiée, début avril, des associations² et des scientifiques dénonçaient l'empreinte environnementale de ce chantier gigantesque.

Le cas du FCC illustre un questionnement récent. À l'heure de la transition environnementale, le caractère énergivore des infrastructures de recherche et l'impact environnemental de leur construction interrogent, y compris parmi les équipes de chercheurs. Outre les accélérateurs de particules, les salles blanches, les *data centers*



Vue d'artiste du tunnel du Futur collisionneur circulaire proton-proton (FCC-hh), seconde étape du FCC aujourd'hui en projet.

et certains télescopes géants suscitent des controverses au sein de leurs communautés. L'enjeu est tel qu'en 2022, le président-directeur général du CNRS a saisi le comité d'éthique de l'organisme pour étudier la question de l'impact environnemental de la recherche scientifique.

Le Cern, qui publie depuis bientôt 10 ans des rapports environnementaux annuels, est bien conscient de ces problématiques, pointe Christelle Roy, directrice de CNRS Nucléaire et Particules, l'un des 10 instituts du CNRS : « *Vu l'ampleur du chantier, le Cern s'est engagé à ce que le FCC soit un exemple d'infrastructure de recherche durable, intégrant les principes d'éco-conception à chaque phase du projet, de la conception à la construction, à l'exploitation et au démantèlement.* »

Le troisième volume du rapport sur la faisabilité du FCC développe en 350 pages les concepts et les pistes pour maintenir l'empreinte environnementale de l'accélérateur à un faible niveau – tout en stimulant les nouvelles technologies au profit de la société et en développant des synergies territoriales telles que la réutilisation de l'énergie.

Deux autres rapports plus détaillés restent à venir. L'un étudiera l'ensemble des impacts environnementaux du projet (sols, paysage, forêts et agriculture, bruit, qualité de l'air, trafic, topographie et reliefs, zones humides, biodiversité, habitats, faune et flore, urbanisation), l'autre, son empreinte carbone et sa durabilité.

Un devoir de cohérence et d'exemplarité

En septembre 2024, une étude³ publiée dans *Nature Astronomy* calculait pour sa part l'impact carbone de l'astronomie. Ses résultats sont sans appel : les émissions de gaz à effet de serre suivent une tendance croissante, tirée en premier lieu par les missions spatiales.

□ Vu l'ampleur du chantier, le Cern s'est engagé à ce que le FCC soit un exemple d'infrastructure de recherche durable, intégrant les principes d'éco-conception à chaque phase du projet. □

L'extrapolation de ces tendances montre une trajectoire incompatible avec les objectifs de l'Accord de Paris. Même en cas de décarbonation accélérée.

Une telle étude n'a rien d'un camouflet, car elle prouve l'exigence de responsabilité émanant de sa propre communauté scientifique, estime Nicolas Arnaud, directeur de CNRS Terre & Univers : « *Nous avons peut-être encore plus que d'autres un devoir, a minima, de cohérence et sans doute d'exemplarité pour aligner nos actions sur la connaissance que nous produisons. Nos communautés scientifiques mettent en exergue leur besoin de choisir une trajectoire de responsabilité environnementale qui soit à la fois soutenable et conforme à leur mission de recherche, essentielle pour nos sociétés.* »

Dans cette optique, l'institut s'est depuis peu doté d'un réseau de chargés de mission (au niveau national et dans chacun de ses observatoires des sciences de l'Univers) pour calculer le bilan carbone des laboratoires et outils de recherche, et pour les accompagner dans la réduction de leur empreinte environnementale.

Autre institut en pleine introspection : CNRS Ingénierie. Début 2025, il a créé Utopii⁴, une unité d'appui et de recherche (UAR) consacrée à l'analyse du cycle de vie. Celle-ci doit formaliser d'ici fin 2026 une méthode d'évaluation des projets de recherche qui prenne en compte les activités de recherche, mais aussi, dans une démarche prospective, les impacts de leurs résultats.

Myriam Saadé, directrice d'Utopii, prend l'exemple des plateformes expérimentales souvent très énergivores, comme les salles blanches et la tomographie : « *Il faut identifier les postes d'émission et les postes d'impact de ces différentes plateformes, et dresser une cartographie de leurs*

1. [Tinyurl.com/FCC-etude](https://tinyurl.com/FCC-etude) 2. Dont Les Amis de la Terre, Attac, WWF... 3. [Tinyurl.com/astro-carbone](https://tinyurl.com/astro-carbone) 4. Unité transdisciplinaire d'orientation et de prospective des impacts environnementaux de la recherche en ingénierie (unité CNRS/Aix-Marseille Université/Ensa/École nationale des ponts et chaussées/Insa de Lyon/Sorbonne Université).

activités pour travailler la granularité de l'information⁵. Très souvent, on se rend compte qu'en l'absence de données fines, on ne peut pas proposer de solutions d'amélioration viables sur le plan opérationnel. »

Le sujet du degré de précision de l'information préoccupe le CNRS au-delà de ses instituts. Président de son comité Très grandes infrastructures de recherche (TGIR), Michel Guidal a mené en 2024 une enquête auprès des infrastructures de recherche pour connaître leurs actions de calcul et de réduction de l'empreinte environnementale. Cette enquête précède la feuille de route française sur les infrastructures, attendue pour fin 2025, qui intégrera pour la première fois un critère lié au développement durable – tout comme la future feuille de route européenne.

« Plus que les laboratoires en général, les infrastructures de recherche, qui disposent d'une personnalité morale et juridique, peuvent avoir des marges de manœuvre importantes et une certaine autonomie pour décider d'actions volontaristes, avec de vrais impacts sur de grands espaces, argue Michel Guidal. Le but de cette enquête était d'identifier les bonnes pratiques générales, à défaut de règles uniques pour tout le monde, inopérantes vu la grande diversité des infrastructures. »

De la conception au démantèlement

Au terme de cette enquête et du travail des instituts, trois pistes se dessinent. D'abord, l'écoconception et la réparabilité des instruments, inscrites au schéma directeur Développement durable et responsabilité sociétale du CNRS. Stéphane Guillot, délégué scientifique à la transition environnementale et aux risques de l'institution, plaide ainsi pour que « tout instrument, avant même qu'il



Les salles blanches (ici, à l'Institut photovoltaïque d'Île-de-France) sont très énergivores.

soit construit, soit écoconçu en tenant compte de son cycle de vie complet, de sa conception à son démantèlement, en passant par le fonctionnement et l'exploitation des données ».

Cette logique d'optimisation énergétique vaut pour réduire l'empreinte environnementale des infrastructures comme pour les prémunir des risques géopolitiques croissants. « La guerre en Ukraine et l'augmentation énorme du prix de l'énergie ont révélé les fragilités des infrastructures énergivores, rappelle Stéphane Guillot. Quand le prix de l'électricité a grimpé, certaines ont été obligées de s'arrêter. »

Couplée à une certaine frugalité, cette optimisation pourrait amener à une baisse significative des émissions de gaz à effet de serre. Nicolas Arnaud estime par exemple qu'en astronomie, « en lançant plusieurs satellites en même temps, en augmentant la durée des missions dans l'espace et en écoconcevant notre matériel en amont, on pourrait réduire de 25 % l'impact des très grandes infrastructures de recherche ».

Longue vie aux infrastructures

Dans cette logique de frugalité scientifique, Michel Guidal invite à prolonger la durée de vie des instruments tant qu'ils sont scientifiquement performants : « En cas de performance scientifique égale, les infrastructures doivent mener une vraie réflexion entre la réparation et la jouvence d'un ancien instrument, et un achat neuf ».

La mise à niveau d'une infrastructure est ainsi l'occasion de repenser en profondeur les choix des technologies. Michel Guidal en veut pour preuve la jouvence en cours du synchrotron Soleil (plateau de Saclay), où des aimants permanents remplaceront les électroaimants – « un choix technologique responsable sur le plan environnemental, qui ne dégrade pas la performance scientifique » et qui réduira jusqu'à 40 % la consommation électrique.



Enquête environnementale sur le terrain pour l'étude de faisabilité du projet FCC.



© CYRIL FRESILLON / IPVF / CNRS IMAGES

□ *En cas de performance scientifique □gale, les infrastructures doivent mener une vraie réflexion entre la réparation et la jouvence d'un ancien instrument, et un achat neuf.* □

Par-delà des opérations à l'échelle de chaque bâtiment, la réduction de l'empreinte environnementale des infrastructures de recherche doit s'appuyer sur une coopération internationale. En plus de favoriser le dialogue scientifique, la mutualisation des infrastructures en diminue d'autant le coût financier et environnemental de construction et d'entretien. C'est, entre autres, ce qui a présidé à la naissance du Cern, dans les années 1950, insiste Christelle Roy : « Depuis 70 ans, il n'y a qu'un seul accélérateur de particules dans le monde qui atteint la frontière de l'énergie nécessaire pour la recherche de pointe en physique des particules et qui rassemble l'ensemble de la communauté – et il est au Cern⁶ ».

Favoriser la science ouverte

Outre la mutualisation des bâtiments, Stéphane Guillot plaide pour celle des données. Leur partage et leur réexploitation permettent de réduire l'empreinte environnementale des infrastructures : « Celles-ci produisent énormément de données qui sont stockées et parfois pas entièrement exploitées. Les communautés scientifiques cherchent aujourd'hui à mieux les exploiter via le data mining⁷, l'intelligence artificielle, etc. Autant de traitements de la donnée qui nécessitent d'être pris en compte dans les projets de recherche dès la construction de l'infrastructure. »

L'idée serait, avant de lancer toute nouvelle infrastructure, de cartographier les données déjà existantes et d'évaluer leur potentiel scientifique, peut-être à même de générer de nouvelles découvertes.

« La science ouverte fait partie des valeurs fondatrices du Cern », rappelle en outre Christelle Roy. Démarche qui s'y matérialise notamment par une infrastructure de calcul et stockage des données partagée à l'échelle mondiale. Le directeur de CNRS Terre & Univers mentionne le coût

environnemental non négligeable des équipements numériques de conservation et de traitement de telles données. Mais Nicolas Arnaud souscrit à cette philosophie de science ouverte, de partage et de réutilisation des données, utile aussi bien à la circulation des connaissances qu'à une plus grande frugalité de la recherche.

« La science ouverte, estime-t-il, nous invite à repenser notre façon de faire de la recherche, en questionnant ce mètre-étalon qu'est la publication, voire en allant vers des formes de recherche qui garantissent la qualité de la connaissance produite, mais mobilisent moins de ressources. »

Les porte-parole du CNRS s'accordent sur un point : il faut poursuivre le développement des infrastructures de recherche. Aux yeux de Stéphane Guillot, celles-ci « sont indispensables à la connaissance qui nous permet de progresser. Les découvertes qu'on fera maintenant serviront peut-être dans 20 ou 30 ans pour de nouvelles applications, en particulier celles liées à la transition environnementale. »

« Il faut trouver le juste équilibre entre notre besoin de repousser les limites de la connaissance pour comprendre le monde qui nous entoure et la nécessité d'adapter notre activité à ce monde aux ressources finies », insiste Nicolas Arnaud. Ce qui implique des infrastructures aussi soutenables que possible. « La science devrait cependant être sanctuarisée par rapport à d'autres activités, car une société qui n'a pas de démarche scientifique, qui ne se construit pas sur la vérité scientifique, est une société qui s'égare. » II

5. Degré de précision d'un système informationnel. 6. Sauf entre 1988 et 2009. L'accélérateur délivrant les plus grandes énergies était alors le Tevatron du Fermilab, aux États-Unis. 7. Data mining (ou exploration de données) : extraction d'un savoir ou d'une connaissance à partir de grandes quantités de données, par des méthodes automatiques ou semi-automatiques.

Les arbres du futur

VIVANT 

ÉCOLOGIE Dans le sud de la France, la rapidité du changement climatique a des conséquences directes sur les massifs forestiers. Des scientifiques étudient les arbres de près afin de rendre ceux-ci plus résistants aux stress qui les menacent.

TEXTE PAR CYRIL FRÉSILLON ET MEHDI HARMI
PHOTOS CYRIL FRÉSILLON

© CYRIL FRÉSILLON / BIAM / CNRS IMAGES, SAUF MENTION CONTRAIRE

1. Ce n'est pas l'arbre qui cache la forêt, car celui-ci est encore petit et en danger. En effet, dans le sud de la France, au cours des cinq dernières années, la mortalité des jeunes arbres a doublé. Et le premier facteur de cette mortalité n'est autre que la sécheresse. Les scientifiques de l'Institut biosciences et biotechnologie d'Aix-Marseille (Biam)¹, à Saint-Paul-lès-Durance, tentent de leur donner un petit coup de pouce !

1. Unité CNRS/CEA/Université Aix-Marseille.





2. et 3. Sur le site de l'O3HP², Catherine Santaella et Ivan Aleksieienko, tous deux biologistes à l'Institut biosciences et biotechnologie d'Aix-Marseille, prélèvent des échantillons du sol sur une parcelle de forêt équipée d'un toit ouvrant. Cette installation permet de simuler deux périodes de sécheresse par an.

Ainsi, les chercheurs mesurent les impacts directs des changements climatiques annoncés en région méditerranéenne. Avec les prélèvements, ils étudieront le microbiome (communauté de micro-organismes) associé au sol et aux racines des arbres afin d'identifier des souches de bactéries bénéfiques pour les plantes.

2. Pour Oak Observatory at the Observatoire de Haute-Provence, site expérimental développé au sein d'une forêt de chênes pubescents (*Quercus pubescens* Willd.).

4. C'est dans leur laboratoire, sur le site du CEA-Cadarache, à Saint-Paul-lès-Durance, que les scientifiques cultivent les micro-organismes prélevés dans le sol rendu aride. Leur but : isoler les bactéries comme les champignons résistants au stress hydrique.





5. Direction la pépinière expérimentale de l'Office national des forêts, sur le site du CEA-Cadarache. Là, les scientifiques, grâce à diverses techniques, imposent des stress hydriques importants à de jeunes pousses, comme ces pins d'Alep (*Pinus halepensis*), pour comprendre comment les entraîner à résister aux sécheresses.



6. Certes, les micro-organismes du sol jouent un rôle important dans la capacité des arbres à s'adapter au stress hydrique, mais les plantes elles-mêmes peuvent résister à ces conditions extrêmes, notamment grâce à leurs stomates. Répartis majoritairement sous les feuilles, les stomates ressemblent à de petites bouches qui s'ouvrent et se ferment de manière à réguler à la fois la sortie de la vapeur d'eau (la transpiration) vers l'atmosphère et l'entrée du dioxyde de carbone, un gaz indispensable à la photosynthèse. Les scientifiques cherchent à améliorer la réactivité de ces stomates face à la sécheresse.





7. et 8. Ivan Aleksieienko, un biologiste, teste une phytohormone (hormone de plante), une molécule qui permet aux végétaux de répondre aux stress environnementaux. Cette phytohormone induit chez les plantes une réponse à la sécheresse alors qu'elles ne sont pas privées d'eau. Les scientifiques déclenchent ainsi une réponse préventive à une sécheresse qui n'existe pas, permettant aux arbres de réagir de façon plus adaptée quand ils seront exposés à un réel manque d'eau.





9. et 10. Mariana Fernandes Hertel, biologiste à l'Institut biosciences et biotechnologie d'Aix-Marseille, mesure la photosynthèse, en analysant les gaz du dioxyde de carbone (CO_2) et de l'eau (H_2O) ainsi que l'ouverture ou la fermeture des stomates sur un plant de pin d'Alep (*Pinus halepensis*) grâce à un analyseur de gaz à infrarouge. Ce jeune pin subit une sécheresse en conditions contrôlées. La biologiste étudie alors sa réaction au stress hydrique, de même que sa récupération à l'issue de la période de sécheresse.





11. En expérimentant différentes techniques, les scientifiques essaient d'améliorer la survie des jeunes arbres méditerranéens. Ces futurs géants ont besoin de l'aide de micro-organismes pour surmonter le changement climatique en cours.



Les nouveaux voyageurs du centre de la Terre

© PATRICE HAUSER / HEMIS.FR

La seconde moitié du XIX^e siècle est une période charnière du progrès scientifique. En quelques décennies seulement émergent certaines grandes théories sur lesquelles va se développer la science du XX^e siècle, comme l'électromagnétisme, l'hérédité ou la théorie de l'évolution. Un domaine semble toutefois demeurer à la traîne : les géosciences.

Au XIX^e siècle, notre connaissance de la dynamique terrestre et de la structure du globe paraît bien limitée. Les naturalistes qui s'intéressent à ces questions peinent encore à se détacher de la parole biblique, dont la chronologie est parfaitement incompatible avec celle attendue pour les grands phénomènes géologiques. Les scientifiques se heurtent par ailleurs à un problème technique : l'exploration de l'intérieur du globe terrestre.

À l'époque, les entrailles de la Terre sont totalement inaccessibles. Les seules « ouvertures » que l'on envisage alors sont les grottes mystérieuses, ou encore les volcans d'où s'écoule de la roche en fusion. Ce volcanisme semble indiquer qu'une chaleur extrême règne au centre de notre planète. Des mesures réalisées dans les mines suggèrent

TERRE

GÉOLOGIE Lorsque Jules Verne publie son *Voyage au centre de la Terre*, en 1864, la dynamique terrestre est encore incomprise. Puis, en un siècle et demi, les géosciences vont révéler la structure interne du globe. Récit d'une incroyable saga scientifique.

PAR MORGANE GILLARD

que la température augmente d'environ 30 °C par kilomètre de profondeur. Ainsi naît l'idée que l'intérieur de la Terre est une énorme masse en fusion.

Cette théorie d'un feu central est alors en vogue, car elle permet d'expliquer les éruptions volcaniques, les tremblements de terre, mais aussi le relief en surface. Le mécanisme de la tectonique des plaques étant inconnu à l'époque, on imagine que les montagnes seraient de gigantesques plis résultant de la contraction thermique

► Un tunnel de lave créé par le piton de la Fournaise, dans le parc national de La Réunion. Le volcanisme est un phénomène essentiel de la dynamique terrestre. Il permet des échanges entre le manteau et la surface.



Article réalisé dans le cadre de l'Année des géosciences : anneesdesgeosciences.cnrs.fr

accompagnant le refroidissement du globe, à l'image d'une vieille pomme ridée. Ces idées émergentes, encore peu diffusées auprès du grand public, vont cependant bénéficier d'un coup de projecteur inattendu.

Le 25 novembre 1864, Jules Verne, écrivain déjà renommé, publie *Voyage au centre de la Terre*, roman qui rencontre un vif succès. À travers un récit palpitant – deux géologues et leur guide s'aventurent dans les entrailles d'un volcan islandais en espérant atteindre le centre de la Terre –, Verne évoque des théories, notamment sur la composition interne du globe, qui agitent les scientifiques.

Aujourd'hui, *Voyage au centre de la Terre* est davantage considéré comme un roman d'aventures que comme une référence scientifique. Et pour cause : en 160 ans, les choses ont considérablement évolué et les géosciences ont, elles aussi, pu faire leur révolution.

La découverte du noyau

Les sciences de la Terre ont grandement profité des évolutions technologiques qui ont émaillé le ^{xx}e siècle. Le développement d'appareils de mesure, tel le sismomètre (pour suivre et analyser la propagation des ondes mécaniques produites notamment lors des séismes), va permettre l'émergence d'une nouvelle discipline, la sismologie.

Grâce à celle-ci, on peut imager et caractériser de plus en plus finement la structure interne du globe : la croûte, en surface, puis le manteau, qui se révèle être solide, et non liquide, comme on le pensait. La sismologie – plutôt qu'une expédition humaine – finira par mettre en évidence le noyau qui se trouve au centre de la Terre.

« C'est la sismologue Inge Lehmann qui, en 1936, grâce aux ondes sismiques, révèle l'existence, au centre de la Terre, d'un noyau liquide entourant une graine solide, explique James Badro, chercheur CNRS à l'Institut de physique du globe de Paris¹. Si la sismologie a permis de faire ce bond en avant, la compréhension de plus en plus précise de ce qu'est réellement le noyau va cependant nécessiter l'apport d'autres types de données, notamment expérimentales. » La boîte à outils des géoscientifiques s'est en effet considérablement enrichie depuis les simples instruments emportés par Axel et le professeur Lidenbrock dans le roman de Jules Verne.

« Pour reproduire les pressions gigantesques qui règnent dans le noyau, nous utilisons ce que l'on appelle des "cellules d'enclumes à diamant", décrit James Badro. On ne peut appliquer ces pressions que sur de très petits échantillons, de seulement quelques micromètres. Mais c'est suffisant pour

observer comment se comporte un métal entouré de silicate dans ces conditions et pour en tirer des conclusions sur la composition du noyau terrestre. »

Des séismes en laboratoire

Dès les années 1950, ces systèmes expérimentaux, qui reproduisent en laboratoire les incroyables pressions et températures régnant dans les profondeurs terrestres, vont permettre de connaître la rhéologie de roches soumises à de telles conditions. « La rhéologie est une discipline fondamentale, mais relativement peu connue, des géosciences modernes. C'est elle qui nous permet de comprendre comment les roches terrestres s'écoulent comme un liquide aux échelles de temps géologiques, alors qu'elles se comportent comme des solides sur des échelles de temps de l'ordre de la seconde, précise Alexandre Schubnel, chercheur CNRS au Laboratoire de géologie de l'École normale supérieure de Paris². La rhéologie nous permet notamment de comprendre pourquoi les séismes ont lieu. »

Pour étudier la mécanique des séismes, le chercheur a développé des instruments qui permettent de déformer de petits échantillons de roches soumis à des pressions

► Cette gravure de John Emslie, datée entre 1857 et 1860, illustre la façon dont on se figure alors le relief en surface : de gigantesques plis dus à la contraction thermique liée au refroidissement du globe.



SOURCE: WELLCOME COLLECTION

1. IPGP, unité CNRS/Institut de physique du globe de Paris/Université Paris Cité. 2. Unité CNRS/ENS-PSL.

□ Le Nord magnétique, utilis□ par nos boussoles, se d□place graduellement. □

et des températures similaires à celles régnant dans la lithosphère terrestre (de 0 à 150 km de profondeur) et d'observer la façon dont les roches se déforment, se compriment et se fissurent. Une « sismologie de laboratoire » dont les résultats sont particulièrement importants pour mieux comprendre l'occurrence des séismes et mieux s'y préparer, à défaut de pouvoir les prévoir. « *Je pense que nous sommes encore très loin de pouvoir prédire de manière déterministe les séismes* », concède Alexandre Schubnel.

Nadège Hilairiet, chercheuse CNRS à l'Unité matériaux et transformations³, à l'université de Lille, utilise de tels dispositifs expérimentaux pour caractériser la déformation subie par les roches au sein du manteau : « *Ces observations à l'échelle microscopique permettent d'étudier les propriétés physiques des minéraux, comme la viscosité et la plasticité, et de savoir quel minéral influence le plus la déformation dans des conditions spécifiques. Ce sont des données qui permettent de mieux contraindre les modèles de convection mantellique, par exemple, ou encore l'origine des séismes dans les zones de subduction.* » Des données précieuses pour mieux comprendre l'histoire de la Terre et de sa formation.

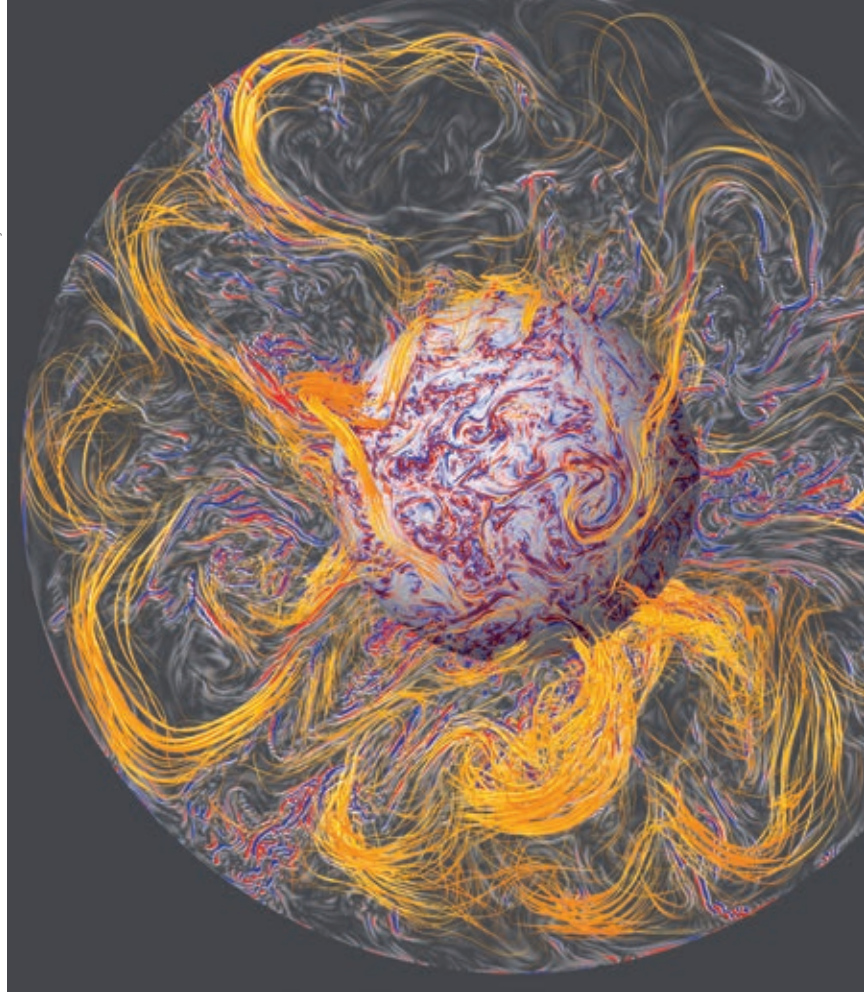
L'origine du champ magnétique primordial

Après la phase d'accrétion⁴ qui lui a donné naissance, notre planète (alors en fusion) a très vite vu ses éléments lourds, comme le fer, migrer vers le centre, tandis que les éléments légers remontaient vers la surface. Ce tri spontané des éléments chimiques a abouti à la formation des diverses couches qui composent aujourd'hui la Terre : la croûte, le manteau et le noyau. Des couches dont les interactions aux limites sont complexes et restent mal connues.

« *Parmi les grandes questions que l'on se pose encore, observe James Badro, il y a celle des interactions chimiques et physiques qui se jouent à l'interface entre le manteau inférieur et le noyau externe, ou encore l'origine du champ magnétique primordial. On sait, en effet, que la Terre a très rapidement possédé un champ magnétique fort, alors que la graine solide n'existait pas encore. Cela implique des processus qui nous sont pour l'heure en partie inconnus.* »

Le champ magnétique terrestre (celui qui oriente les aiguilles de nos boussoles et qui a joué des tours aux deux héros de Jules Verne lors de leur voyage souterrain) est le résultat des mouvements de convection qui animent les

▼ Simulation numérique de l'intérieur du noyau terrestre. Les mouvements de convection du noyau interne (en bleu et rouge) engendrent les lignes de force du champ magnétique (en orange).



métaux en fusion composant le noyau externe. Un mécanisme électromagnétique similaire à celui exploité pour les électroaimants ou les dynamos de vélo, mais qui était totalement inconnu à l'époque du Voyage – l'électromagnétisme ne sera élucidé par James Maxwell qu'en 1864.

« *Le premier vrai modèle de géodynamo est apparu en 1995, grâce à l'évolution de l'informatique, qui a permis de produire des simulations de plus en plus complexes de la dynamique du noyau terrestre* », explique Dominique Jault, chercheur CNRS à l'Institut des sciences de la Terre⁵ de Grenoble. Pourtant, nombre de zones d'ombre demeurent.

« *Malgré les progrès énormes réalisés depuis 30 ans, les simulations que l'on a aujourd'hui ne sont pas totalement satisfaisantes, car on se heurte à un problème : il existe un trop grand nombre de facteurs pouvant varier !*, poursuit Dominique Jault. Outre les simulations, nous avons donc tenté de réaliser des expérimentations en laboratoire. Cela a donné des résultats intéressants, qui nous ont permis d'améliorer nos simulations. Mais il reste extrêmement difficile de reproduire une géodynamo en laboratoire. Premièrement, cela demande beaucoup de place et, secondement, pour que ça marche, nous sommes obligés d'introduire des éléments que nous savons inexistantes dans le noyau. »

Tout n'est donc pas encore compris : « *Il y a l'idée que les sources à l'origine de la géodynamo pourraient être plus complexes et, notamment, que la rotation de la Terre pourrait aussi jouer un rôle via la précession⁶ de son axe. Une partie de nos recherches se penchent actuellement sur cette question.* »

Ces recherches ont des applications bien concrètes. « *La communauté scientifique française participe à la production de nouveaux modèles IGRF (International Geomagnetic Reference Field, ou "champ géomagnétique international de référence"), qui vont permettre de corriger régulièrement tous les outils de positionnement, notamment ceux utilisés dans nos Smartphones, dans les GPS, ou encore pour l'aviation, témoigne Julien Aubert, chercheur CNRS à l'IPGP dans l'équipe Dynamique des fluides géologiques. Le champ magnétique n'est en effet pas stable dans le temps et ses variations sont clairement mesurables à l'échelle d'une année. Le Nord magnétique, utilisé par nos boussoles, se déplace ainsi graduellement et nous sommes obligés, pour garder le cap, d'effectuer des corrections tous les cinq ans.* »

Vers la tectonique des plaques

Ce déplacement du pôle magnétique avait déjà été observé du temps de Jules Verne. Mais les scientifiques n'arrivaient pas à insérer le phénomène dans le cadre de la théorie de l'époque, qui supposait que le champ magnétique terrestre était produit par des sources métalliques présentes dans la croûte.

La compréhension du champ magnétique terrestre et de ses évolutions a aussi permis de confirmer la théorie de la tectonique des plaques, édictée au milieu du ^{xx}e siècle sur

► À La Réunion, une équipe de l'Observatoire volcanologique du piton de la Fournaise installe 14 sismomètres sur le cône principal afin de mieux saisir les mécanismes éruptifs.

la base des idées d'Alfred Wegener. En refroidissant et se solidifiant, les roches magmatiques enregistrent l'orientation du champ magnétique au moment de leur cristallisation. Les inversions de polarité du champ magnétique restent ainsi à jamais gravées dans ces roches.

« *L'analyse de ces bandes de polarité océaniques, tout comme le paléomagnétisme des roches volcaniques continentales, permet de prouver puis de reconstituer assez finement le mouvement des plaques tectoniques au cours du temps, ajoute Julien Aubert. En ce sens, le champ magnétique est un moyen d'étudier l'histoire de la Terre et notamment l'évolution de sa surface.* »

Les inversions de polarité soulèvent aussi de nombreuses questions. « *Lors d'une inversion, l'intensité du champ magnétique est 10 fois plus faible qu'en période de stabilité, souligne Dominique Jault. Si cela ne semble pas trop affecter la vie terrestre, on peut toutefois avoir des inquiétudes concernant l'impact d'un tel événement sur notre monde technologique.* »

Nos sociétés reposent aujourd'hui sur des technologies très sensibles à toute perturbation magnétique. Il est probable qu'une inversion aurait de très importantes répercussions, notamment en exposant ces équipements aux tempêtes solaires. « *Même si la prochaine inversion n'aura certainement pas lieu avant 1 000 ans, un tel événement doit être anticipé. Nos recherches servent aussi à cela.* »

Le moteur de la dynamique du manteau

Champ magnétique, séismes, mais aussi éruptions volcaniques... Autant de manifestations qui témoignent en surface de la dynamique interne de la Terre – une notion déjà bien ancrée au ^{xix}e siècle, même si les moteurs de ces phénomènes étaient alors incompris. Dans son roman, Jules Verne dépeint la Terre comme un système très dynamique. Il faudra attendre l'émergence de la théorie de la tectonique des plaques pour que ces phénomènes soient intégrés dans un modèle global.

En plus d'être mobile, la croûte terrestre n'est en effet plus considérée comme une enveloppe déconnectée des couches sous-jacentes, sur lesquelles elle flotterait librement. « *La plaque tectonique est alors reconnue comme étant la partie supérieure la plus froide du manteau terrestre, et ses mouvements sont liés à la dynamique du manteau, explique Anne Davaille, chercheuse CNRS au laboratoire Fluides, automatique et systèmes thermiques⁷, à l'université Paris-Saclay. Le moteur de cette dynamique est la convection thermique, par laquelle les plaques froides plus denses replongent dans les zones de subduction tandis que le manteau chaud remonte.* »

« *À l'époque, note la chercheuse, c'est une révolution. On comprend alors que ce qui se passe en surface est intimement lié avec des processus de très grande échelle qui se jouent loin en profondeur. Et l'un des facteurs clés qui entrent en jeu, c'est*



© THIBAUT VERGOZ / UMS-IPGP / CNRS IMAGES

3. Unité CNRS/Centrale Lille Institut/Inrae/Univ. de Lille. 4. Accrétion : capture de matière par un objet – ici, sous l'effet de la gravitation. 5. Unité CNRS/IRD/Univ. Grenoble Alpes/Univ. Savoie Mont-Blanc. 6. Précession : décalage graduel de l'axe d'un corps en rotation. 7. Unité CNRS/Univ. Paris-Saclay.

la rhéologie du manteau. » Or le comportement du manteau va dépendre d'un grand nombre de paramètres : pression, température et composition minéralogique, bien sûr, mais aussi présence d'eau et vitesse de déformation.

Comprendre la formation des plaques

« Si l'on prend un modèle rhéologique simple, qui dépend principalement de la température, on se rend compte que l'on forme facilement une plaque, mais d'un seul tenant, comme sur Mars !, reprend Anne Davaille. Pour obtenir le découpage que l'on observe sur Terre, il semble nécessaire de complexifier fortement la rhéologie. L'un des enjeux des modèles actuels est de comprendre comment se forment les plaques tectoniques et pourquoi elles cassent. »

Ces limites de plaques si difficiles à simuler jouent un rôle essentiel dans la dynamique globale de la Terre. C'est par elles, notamment, que s'évacue la chaleur interne de la planète. Un flux de chaleur qui se manifeste le plus souvent par le volcanisme.

« Le volcanisme est un processus essentiel qui permet des échanges entre le manteau et la surface », rappelle Karin Sigloch, chercheuse CNRS au laboratoire GéoAzur⁸ de l'université de Nice.

Des échanges de chaleur, bien sûr, et plus encore : « Les volcans libèrent d'énormes quantités de gaz, mais aussi d'autres éléments, et notamment des nutriments, comme le fer. Aujourd'hui, l'une de nos thématiques de recherche est de mieux comprendre le lien qui existe entre les volcans sous-marins et la fertilisation des océans, qui est un élément important de la productivité biologique océanique. »

Là aussi, la sismologie joue un rôle important : « L'étude des ondes qui traversent le globe nous permet d'avoir une vue à grande échelle des systèmes magmatiques et volcaniques. Elle nous aide ainsi à mieux comprendre l'origine du volcanisme que l'on observe en surface. »

On sait désormais que les volcans islandais sont liés à un point chaud, une sorte de grand panache de matériel chaud qui remonte de la base du manteau jusque sous la croûte. Le volcan Stromboli (au nord de la Sicile), d'où émergent les personnages à la fin du roman de Jules Verne, a pour sa part une origine bien différente. Il s'agit d'un



© PETR JAN JURACKA / AMAZING AERIAL AGENCY / SIPA

▼ Les volcans islandais sont liés à un point chaud, une sorte de grand panache de matériel chaud qui remonte de la base du manteau jusque sous la croûte terrestre. Ici, l'éruption du Fagradalsfjall, en 2021.

volcan d'arc, dont l'existence est liée au glissement de la plaque africaine sous la plaque eurasiennne. Le contexte magmatique n'a donc strictement rien à voir.

« Finalement, il aurait été plus correct de faire entrer les personnages dans le Stromboli et de les faire plonger jusqu'à la base du manteau avec la plaque africaine, avant de les faire remonter via le point chaud de l'Islande, s'amuse Karin Sigloch. En revanche, cela leur aurait pris environ 300 millions d'années ! » C'est le temps qu'il faut au matériel recyclé d'une plaque tectonique pour atteindre la base du manteau, où il peut être remobilisé, remonté et « recraché » à la surface via un panache mantellique.

Analogues extraterrestres

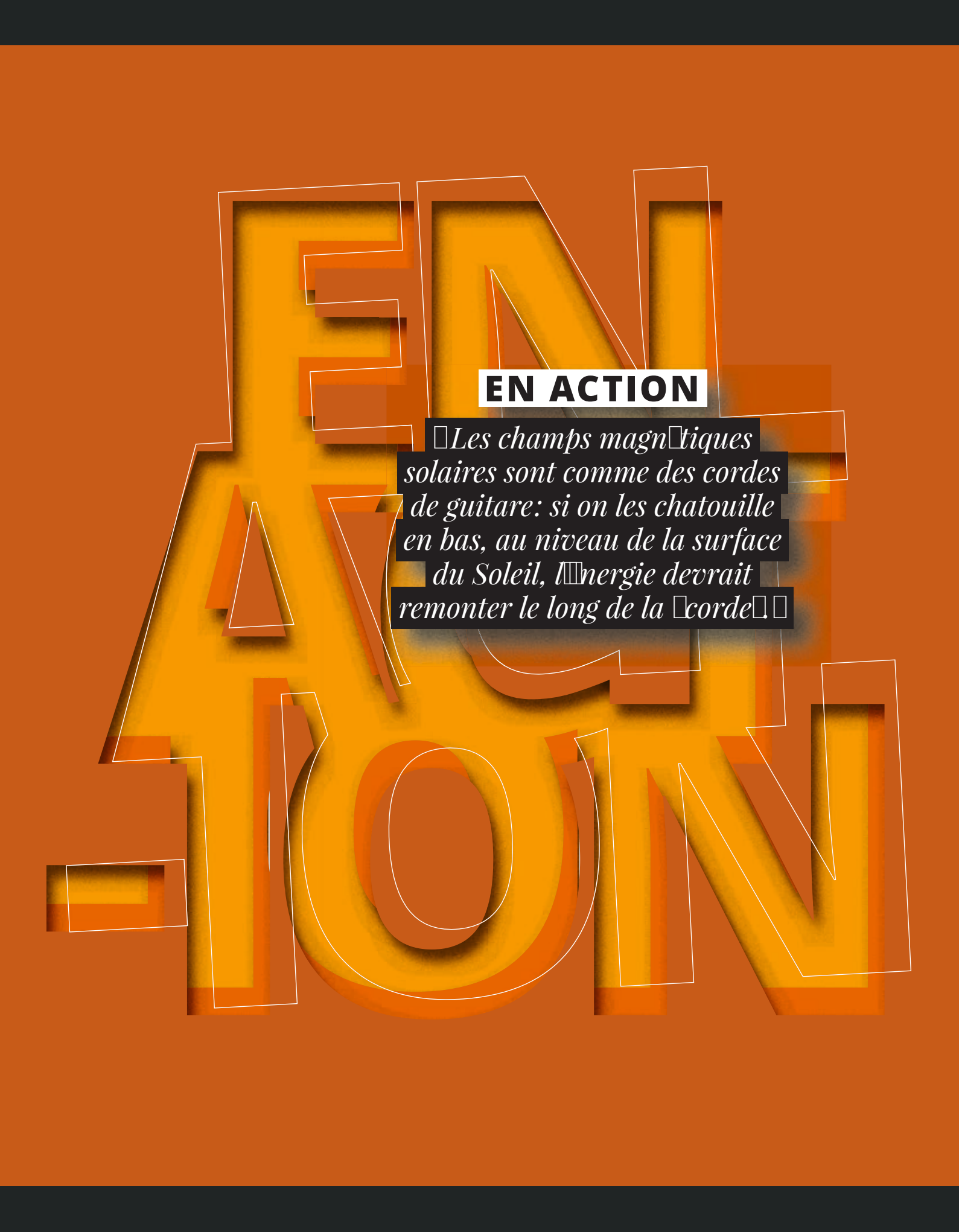
« Parmi toutes les planètes du Système solaire, seule la Terre possède une tectonique des plaques. Pourquoi ? Voilà une question qui reste pour l'instant sans réponse, mais que l'étude des autres planètes peut justement nous aider à résoudre, conclut Anne Davaille. En fait, l'étude des autres planètes peut nous permettre de mieux comprendre l'histoire de la Terre ! »

À ce titre, Vénus lui semble particulièrement intéressante : « Vénus est actuellement plus chaude en surface que la Terre. Elle ne possède pas de tectonique des plaques organisée comme notre planète, mais elle est beaucoup plus active que Mars. Son régime dynamique pourrait être un analogue de ce qu'était la Terre à l'Archéen, il y a plus de 3 milliards d'années. D'un autre côté, le climat de Vénus peut également nous renseigner sur ce que deviendra la Terre dans un futur lointain, lorsque le Soleil sera en fin de vie. »

Aujourd'hui, la compréhension de notre planète, de son histoire et de son futur est indissociable de l'étude de ces autres mondes. Jules Verne semblait l'avoir bien compris, puisqu'un an après *Voyage au centre de la Terre*, il publiera *De la Terre à la Lune*... Mais c'est une autre histoire. ||

La Terre est la seule planète du Système solaire à posséder une tectonique des plaques.

8. Unité CNRS/IRD/Observatoire de la Côte d'Azur/Univ. Côte d'Azur.



EN ACTION

□ Les champs magnétiques solaires sont comme des cordes de guitare: si on les chatouille en bas, au niveau de la surface du Soleil, l'énergie devrait remonter le long de la □ corde □ □

Couronne solaire : ses températures révèlent leur mystère

Bien qu'observé depuis des millénaires au moyen d'instruments toujours plus sophistiqués, le Soleil conserve certains mystères... dont l'un vient d'être en partie levé. Tahar Amari, du Centre de physique théorique¹, et ses collègues viennent de publier une étude² portant sur la température de la couronne solaire.

En surface de notre étoile, le thermomètre ne dépasse pas quelques milliers de degrés. Mais la couronne solaire – d'environ 2 200 km jusqu'à plusieurs dizaines de millions de kilomètres au-dessus de la surface – affiche une température de l'ordre du million de degrés ! Connu depuis longtemps, ce paradoxe s'expliquerait par des « cordes magnétiques » qui, s'élevant depuis la surface de l'astre, échaufferaient sa couronne.

Aucune température au sein du Système solaire ne dépasse celles au centre du Soleil, ce réacteur nucléaire à fusion de près de 1,4 million de kilomètres de diamètre. « Au cœur du Soleil, les températures atteignent facilement plus d'une dizaine de millions de degrés Kelvin (K)³. Et, comme la Terre, il est constitué de plusieurs couches, détaille Tahar Amari. Lorsque le rayonnement atteint le bas de la couche appelée "zone de convection", après avoir déjà parcouru 200 000 km sur les 700 000 km (du rayon de l'étoile, Ndlr) pour atteindre la surface, la température du plasma qui constitue le Soleil a déjà refroidi pour atteindre les 2 millions de degrés. C'est sur les derniers 500 000 km que cette température chute

UNIVERS

ASTROPHYSIQUE Pourquoi la couronne solaire, la proche banlieue du Soleil, est-elle bien plus chaude que la surface de l'étoile ? Grâce aux observations, des chercheurs du CNRS viennent de confirmer une idée émise voilà une décennie.

PAR MEHDI HARMI

drastiquement, pour s'établir autour de 6 000 °K. » Ce gradient de température n'a rien d'anormal : plus on s'éloigne de la source de chaleur primaire, plus la température chute. C'est ensuite que les choses se compliquent.

Plusieurs couches de gaz enveloppent le Soleil – tout comme notre atmosphère le fait pour la Terre. La première de ces couches, la photosphère, s'établit de la surface de l'étoile à 500 km d'altitude. Suit la chromosphère, qui monte jusqu'à 2 200 km d'altitude environ. Ces deux couches affichent déjà des températures supérieures à celles rencontrées à la surface – de l'ordre 4 000 °K pour la photosphère et jusqu'à 25 000 °K pour la chromosphère. Ensuite commence la couronne solaire. Qui affiche une

► Combinaison de deux photos du Soleil (en jaune, les ultraviolets; en bleu, le champ magnétique) juste avant une éruption donnant lieu à un transfert de chaleur entre la surface et la couronne de l'étoile.

température avoisinant le million de degrés. Bizarrement donc, et dans une certaine mesure, plus on s'éloigne du Soleil, plus la température du milieu s'élève.

Ceci s'observe dès le début de la limite inférieure de la couronne, fortement couplée aux couches sous-jacentes. Ce qui suggère que l'origine du phénomène lie ces différentes couches. Comment peut-on expliquer cela ?

« On pensait, à une époque, que des ondes sonores émergeaient de la surface du Soleil, comprimaient son atmosphère et, ainsi, contribuaient à l'élévation de la température de la couronne solaire », rappelle Tahar Amari. Hélas, cette théorie séduisante tombe à l'eau, « car la densité de matière diminue très rapidement au fur et à mesure qu'on s'éloigne de la surface, ne permettant pas aux ondes sonores de transporter l'énergie nécessaire au chauffage de l'atmosphère aux températures que l'on mesure ».

« Le règne du champ magnétique »

« Aujourd'hui, deux théories sont souvent mises en avant, toutes deux d'origine magnétique, poursuit le directeur de recherche au CNRS. La première concerne les ondes magnétiques. » Celles-ci, contrairement aux ondes sonores, ne perdent pas en puissance à mesure que la densité de matière diminue dans le milieu. La seconde théorie se fonde également sur les champs magnétiques, en particulier sur leur réorganisation constante (appelée « reconnexion »), avec possibilité éruptive.

« La couronne solaire, souligne Tahar Amari, est le règne du champ magnétique, du fait du grand nombre de collisions entre atomes, en plus d'être un milieu électriquement conducteur. » Par conséquent, cela rend le champ magnétique visible : la matière s'y organise de telle façon que, grâce à elle, on perçoit la présence de ce champ. Les magnifiques éruptions solaires en offrent le parfait exemple.

« Restait à savoir comment l'énergie passe de la photosphère à la chromosphère, jusqu'au reste de la couronne proche du Soleil », continue Tahar Amari.

En 2015, le chercheur et ses collègues ont déjà conçu un modèle numérique et avancé l'hypothèse de la formation de cordes magnétiques à la surface du Soleil, même lorsque ce dernier est calme⁴ : « Dans notre modèle, on s'est rendu compte qu'à la surface du Soleil émergeaient tout un tas de petites cordes magnétiques torsadées et éruptives formant un réseau semblable à une mangrove. »

Cette « mangrove magnétique » pouvait chauffer la chromosphère via un type particulier d'ondes, les ondes d'Alfvén⁵. Encore fallait-il saisir ce qui était capable de favoriser l'apparition de ces ondes. Or, grâce à leur modèle, les physiciens ont perçu que, à la base des cordes magnétiques, quelque chose permettait un transfert d'énergie suffisant pour chauffer la couronne solaire.

« Les champs magnétiques sont comme des cordes de guitare : si on les chatouille en bas, au niveau de la surface du Soleil, l'énergie devrait remonter le long de la "corde", illustre Tahar Amari. Ainsi, de proche en proche, de l'énergie devrait atteindre la couronne et finir par la chauffer.

La preuve par l'observation

Toujours grâce à leur modèle, les chercheurs ont décelé que la surface du Soleil est en mouvement à la base des cordes magnétiques. Selon eux, c'est la preuve indirecte que, encore en dessous, quelque chose influe sur ce qui se passe à la surface.

« Dans les derniers 1 000 km sous la surface, il y a une zone composée de "cellules", un peu comme le fond d'une casserole pleine d'eau que l'on chauffe, illustre Tahar Amari. La chaleur venant d'en bas va chauffer le reste de la casserole, grâce à des cellules de convection qui vont la transporter vers l'ensemble de la casserole. C'est ce phénomène que l'on retrouve sous la surface du Soleil qui contribuerait au transfert de la chaleur, qui crée ce champ magnétique et ses cordes magnétiques. »

La preuve irréfutable confirmant cette hypothèse est venue de données d'observations directes de la surface du Soleil par la sonde japonaise *Hinode*, capable d'en mesurer le champ magnétique grâce à une technique d'échographie magnétique. Images à l'appui, les chercheurs ont pu identifier pour la première fois les cordes magnétiques dans une zone calme du Soleil, validant ainsi le modèle et les prédictions réalisées une décennie plus tôt.

Ainsi, que notre étoile soit calme ou active, les cordes magnétiques petites ou grandes transportent assez d'énergie jusqu'à la couronne solaire pour la chauffer autour du million de degrés. Cette découverte est une première étape dans la compréhension du système de chauffage de la couronne. Et des instruments comme la *Parker Solar Probe* ou le DKIST (Daniel K. Inouye Solar Telescope, à Hawaï) devraient affiner l'observation directe des cordes pour mieux appréhender leur interaction avec l'environnement magnétique du Soleil. II

□ On s'est rendu compte qu'□ la surface du Soleil □mergeaient tout un tas de petites cordes magnétiques torsadées et éruptives. □

1. CPHT, unité CNRS/École polytechnique. 2. Tahar Amari et al., *The Astrophysical Journal Letters*, avril 2025 : doi.org/10.3847/2041-8213/adb74f 3. La température en °K est égale à la température en °C + 273. Ainsi, 0 °C = 273 °K, 100 °C = 373 °K, etc. 4. Amari T., Canou A. et Aly J.-J., *Nature*, octobre 2014 : doi.org/10.1038/nature13815 5. Ondes magnétohydrodynamiques rencontrées dans les plasmas. Elles assurent le transport d'énergie dans divers systèmes astrophysiques – par exemple, dans la magnétosphère.

L'origine des mini-dunes élucidée

© SOPOTNICKI/SHUTTERSTOCK

Sur les plages comme dans les déserts, ils sont pendant longtemps passés inaperçus, éclipsés par leurs cousines les dunes. Ces petits dépôts de sable affichent des mensurations bien moins impressionnantes – quelques mètres de longueur et de largeur, sur quelques centimètres de hauteur. On les retrouve entre les dunes, au milieu des graviers, ou sur les plages lorsque le sable est humide. Et ils ont beaucoup à nous dire sur la formation des structures de sable par le vent.

Jusqu'à présent, leur origine demeurait bien mystérieuse. Une équipe internationale de chercheurs, dont des physiciens du CNRS, vient de résoudre l'énigme. S'appuyant sur des mesures précises effectuées sur le terrain, ils sont parvenus à mettre au point un modèle capable pour la première fois de reproduire la formation de ces structures¹. Leurs résultats sont publiés dans la revue scientifique *PNAS*².

Les dunes, rides et autres objets nés de l'interaction entre le sable et le vent intéressent au plus haut point les physiciens des milieux granulaires, qui peuvent étudier avec ces structures naturelles des comportements collectifs complexes. En une vingtaine d'années d'observations et de mesures expérimentales, les chercheurs ont pu ainsi bâtir une théorie solide pour expliquer la formation des dunes. Quant aux rides, un modèle permet aussi de comprendre leur naissance. Mais voilà que ces nouveaux venus, les « patches » de sable, comme les appellent

MATIÈRE

TERRE

PHYSIQUE Les mini-dunes de sable parsèment plages et déserts. Mais leur origine restait énigmatique. À partir de mesures dans le désert, des physiciens ont conçu un modèle expliquant leur formation – avec des surprises à la clé.

PAR JULIEN BOURDET

les scientifiques (on parle également de « mini-dunes »), viennent quelque peu semer la zizanie et poussent les physiciens à revoir leur copie.

« En effet, selon la théorie classique de formation des dunes, aucune structure de sable de moins de 10 m de long ne peut apparaître à partir d'un lit de sable plat. C'est la taille élémentaire d'une dune, et de tels patches ne devraient donc pas exister », explique Philippe Claudin, coauteur de l'étude, au laboratoire Physique et mécanique des milieux hétérogènes (PMMH)³.

Alors, comment expliquer la genèse de ces mini-dunes ? Pour répondre à la question, plusieurs membres de l'équipe sont partis sur le terrain, dans le désert du Namib (Namibie) et dans le parc national des Great Sand Dunes,

► À Maspalomas, sur l'île de Grande Canarie, en Espagne. Les mécanismes de formation de mini-dunes découverts dans des déserts devront être affinés sur les plages.

dans le Colorado. Leurs premières observations ont mis en évidence que les dépôts de sable n'apparaissent pas n'importe où, mais dans des endroits particuliers, où le sol est dur : sur des graviers présents dans les zones interdunaires, dans le désert du Namib, et sur du sable mouillé, du fait de la présence d'une rivière, aux Great Sand Dunes.

La différence de nature entre une surface meuble, érodable (un lit de sable sec) et une surface plus dure, consolidée, doit donc jouer un rôle central. C'est ce que confirment les mesures (vitesse du vent, flux de sable) réalisées in situ, qui sont venues quantifier précisément le processus. « Elles montrent que pour une vitesse de vent donnée, la capacité de transport du sable (autrement dit, la quantité de sable transportée par le vent) est beaucoup plus grande sur un sol consolidé que sur un sol érodable », précise Camille Rambert, auteure principale des travaux, en thèse au PMMH et à l'Institut de physique du globe de Paris.

Le saut du grain de sable

Mais pourquoi cette différence ? Parce que lorsqu'ils sont emportés par le vent, les grains de sable se déplacent en effectuant des petits sauts sur le sol – on parle de « saltation ». Or, sur des graviers ou du sable humide, ces sauts sont bien plus efficaces, plus hauts et plus longs que sur une couche de sable sec, où les rebonds sont amortis. Davantage de sable est ainsi déplacé.

Avec tous ces éléments mis bout à bout, le mécanisme de formation des patches apparaît clairement. « Imaginez une grande quantité de sable transportée par le vent sur une surface solide, illustre Camille Rambert. Tout à coup, ce sable rencontre une zone où il y en a déjà un peu. La capacité de transport se met alors à chuter et le vent ne peut plus déplacer autant de sable. Résultat : une partie du sable se dépose à cet endroit, et le phénomène se poursuit ainsi jusqu'à engendrer un patch bien visible. »

Voilà pour le scénario dans ses grandes lignes. Mais, en réalité, les choses sont un peu plus compliquées.

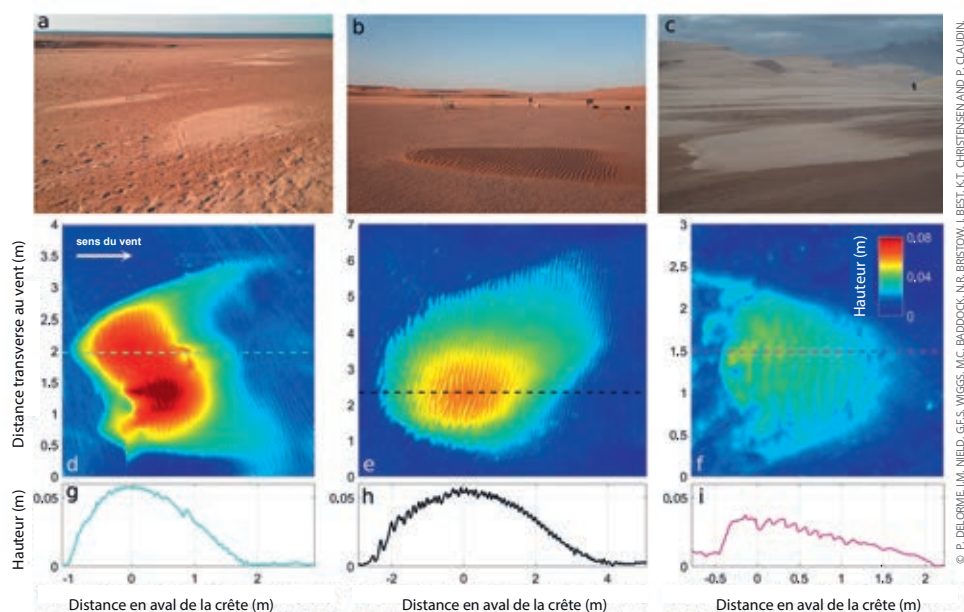
« Ce que nous avons découvert, révèle Philippe Claudin, c'est que le passage d'une grande capacité de transport à une plus petite ne se fait pas de manière instantanée quand on passe d'une surface à l'autre. Ce changement s'opère au bout d'une certaine distance, de l'ordre de 1 m. D'où ce nouveau paramètre, la longueur de transition, que nous avons introduit dans notre modèle. »

De la mini-dune à la dune

Avec ces deux ingrédients réunis – le changement de la capacité de transport et la longueur de transition entre ces deux régimes –, les simulations numériques issues du modèle reproduisent fidèlement les observations. Non seulement on retrouve les mêmes profils topographiques des dépôts de sable que ceux mesurés sur le terrain⁴ (soit 5 m de longueur et une hauteur au sommet de 5 cm pour les structures observées dans le Namib), mais aussi la même dynamique de ces mini-dunes, qui mettent environ une heure et demie à se former et qui se déplacent, pendant ce même laps, de 2 m dans la direction du vent.

Grâce à leur modèle, les chercheurs ont même pu réaliser des prévisions sur le devenir de ces dépôts de sable. Et les simulations ont mis en évidence un fait remarquable : ces objets pourraient prélude à de futures dunes.

► Patches de sable formés sur différentes surfaces : à gauche (a, d, g), sur la plage de Brancaster, sur la côte anglaise de la mer du Nord ; au centre (b, e, h), dans un champ de dunes d'Helga, dans le désert du Namib, en Namibie ; à droite (c, f, i), à Medano Creek, dans le parc national de Great Sand Dunes (Colorado, États-Unis).



1. L'équipe se compose de chercheurs français, anglais et américains. Les chercheurs français ont mis au point le modèle à partir des observations réalisées par leurs collègues anglais et américains. 2. [Doi.org/10.1073/pnas.2426143122](https://doi.org/10.1073/pnas.2426143122) 3. Unité CNRS/ESPCI Paris-PSL/Sorbonne Université/Université Paris Cité. 4. Mesures réalisées par des scanners laser montés sur trépied qui capturent le relief alentour à quelques millimètres près.

« Dans certaines conditions, si le vent souffle constamment dans la même direction et qu'il apporte suffisamment de sable, alors les patchs pourraient se mettre à grossir et engendrer une dune en l'espace de quelques jours, relève Camille Rambert. Ces conditions semblent toutefois rarement réunies dans les déserts. La plupart du temps, comme le vent change de direction ou que les sources de sable à proximité ne sont pas assez importantes, les patchs finissent par disparaître. »

Direction la plage

Déjà suspectés par certains avant ces travaux, de tels événements seraient donc rares, mais possibles. Comme en atteste d'ailleurs une observation effectuée par l'équipe aux Great Sand Dunes.

Deux relevés réalisés à deux heures d'écart y ont montré la croissance d'un dépôt de sable, qui a grossi jusqu'à s'étendre sur une dizaine de mètres – la fameuse taille minimale à partir de laquelle un amas de sable peut évoluer en une dune. Avec ces patchs, les chercheurs auraient ainsi mis le doigt sur une manière alternative de créer des dunes !

Une hypothèse qu'ils comptent confirmer à l'avenir avec de nouvelles campagnes d'observation, cette fois menées sur des plages, où les mesures font encore défaut. Avec un vent soutenu soufflant souvent dans la même direction (de la mer vers les terres) et la présence en permanence de sable asséché par le vent, les plages constituent en effet un environnement plus propice que les déserts pour assister à la naissance d'une dune à partir d'un dépôt de sable.

Ces observations seront aussi l'occasion pour les physiciens de peaufiner leur modèle, en déterminant précisément quels facteurs influencent la longueur de transition (la vitesse du vent ? la taille des grains de sable ?), dont l'origine physique est encore mal comprise.

Avec ce nouveau modèle, les patchs sortent de l'ombre et obligent les physiciens à changer de regard sur la dynamique de transport du sable. Ces objets leur révèlent que le déplacement des grains de sable d'un endroit à un autre est bien plus riche que ce qu'on pensait jusqu'à présent.

Le sable n'est pas simplement transporté par le vent d'une dune à l'autre de façon linéaire, mais ses mouvements sont plus complexes. Des dépôts de sable prennent naissance çà et là entre les dunes, se déplacent avant de disparaître et d'alimenter ces mêmes dunes – et, dans certains cas, contribuent à la formation de nouvelles dunes.

Jusque sur Mars

Mieux encore : grâce à cette découverte, il sera possible d'estimer le mouvement des sables, qu'on connaît justement très mal dans les zones situées entre les dunes, sans avoir à déployer d'appareils de mesure compliqués.

« Connaissant les caractéristiques des patchs (leur taille, leur vitesse d'avancement...), notre modèle pourrait permettre de remonter au flux de sable qui les a créés, avance Philippe Claudin. Avec de simples photos prises à intervalles de temps réguliers, on pourra alors évaluer la quantité de sable transporté. Et ce, sur des échelles de temps beaucoup plus courtes que pour les dunes, car les patchs apparaissent et se déplacent bien plus vite que ces dernières. »

Cette idée pourrait même être utilisée sur Mars ! Sur des clichés pris sur la planète Rouge par le robot de la Nasa *Perseverance*, le chercheur pense avoir repéré au milieu d'un champ de pierres la présence de structures ressemblant fortement à nos patchs terrestres. Un suivi régulier de ces dépôts de sable permettrait de connaître le déplacement du sable et, de là, certaines caractéristiques du vent et de l'atmosphère de Mars. Les tas de sable n'ont pas fini d'inspirer les physiciens. ▮

© MATTHEW BADDOCK



► Jo Nield, une chercheuse, étudie une mini-dune en Namibie. Le scanner laser terrestre permet d'obtenir une modélisation en 3D de la topographie.

Comment le chien a redécouvert l'Amérique

SOCIÉTÉS



VIVANT



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

PAR THOMAS ALLARD

Quand des humains atteignent pour la première fois l'Amérique du Nord, 15 000 ans avant notre ère, *Canis familiaris* les suit. Des chiens, « peut-être utilisés pour faire du traîneau, ont certainement traversé la Béringie, pour arriver au niveau de ce qui est aujourd'hui l'Alaska », décrit Aurélie Manin, archéozoologue¹.

Les canidés s'installent rapidement en Amérique du Nord : « On y retrouve des squelettes de chiens datés d'il y a 8 000 à 9 000 ans, précise la chercheuse. Ils ont accompagné les premières populations de chasseurs-cueilleurs nord-américains. » Mais les preuves archéologiques suggèrent une dispersion méridionale bien plus tardive.

Une équipe internationale² a analysé l'ADN mitochondrial d'ossements de 123 chiens anciens (du centre du Mexique jusqu'au nord de la Patagonie) datant des 2 000 dernières années et de 12 chiens modernes. Conclusion ? « Les chiens se sont installés en Amérique centrale et en Amérique du Sud entre 7 000 et 5 000 ans avant le présent, à une époque où les sociétés de chasseurs-pêcheurs-cueilleurs laissent place à des fonctionnements plus sédentaires basés sur le développement de l'agriculture³ », détaille Aurélie Manin. Les humains qui ont peuplé l'Amérique du Sud 14 000 ans avant notre ère n'avaient donc pas de chiens.

Des millénaires plus tard, avance la chercheuse, des humains y ont peut-être emmené des chiens pour garder des villages. Ou bien les canidés ont profité de surplus agricoles et se sont nourris de déchets près des habitations.

Puis, après 1492 et l'arrivée des colons, on observe « un remplacement des lignées de canidés pré-contact par des chiens européens ». Pourquoi ? « Les populations autochtones ont peut-être été touchées par une interdiction de détenir ces chiens issus de lignées anciennes, à l'image des prohibitions de certaines formes d'élevage de camélidés ou de cochons d'Inde imposées par les colons. » Ou bien des chiens européens dressés pour l'attaque ont décimé les canidés pré-contact. « Ou alors, les canidés européens étaient-ils peut-être mieux adaptés aux villes nouvellement bâties. »

Exception notable : des chihuahuas modernes gardent des traces d'une origine mésoaméricaine pré-contact. Le chihuahua est originaire de la région mexicaine éponyme, « occupée en partie par un désert, peu urbanisée et faiblement peuplée. Cela n'a pas vraiment suscité les convoitises des puissances coloniales, et les pratiques autochtones ont ainsi pu s'y maintenir plus longtemps. [...] Il pourrait aussi y avoir eu une volonté des Européens de maintenir les spécificités esthétiques de cette race qui attirait particulièrement leur attention. »

À moins que la présence d'ADN ancien chez le chihuahua relève... du hasard. Les os des chiens des Amériques n'ont pas encore livré tous leurs secrets. ||

1. Archéologie des Amériques (unité CNRS/Univ. Paris 1-Panthéon-Sorbonne) 2. Dont BioArchéologie, interactions sociétés environnements (CNRS/MNHN); Centre de recherche sur la biodiversité et l'environnement (CNRS/IRD/UT/Toulouse INP); Écosystèmes, biodiversité, évolution (CNRS/Univ. de Rennes); Institut de génétique & développement de Rennes (CNRS/Univ. de Rennes/Inserm). 3. [Doi.org/10.1098/rspb.2024.2443](https://doi.org/10.1098/rspb.2024.2443)

Impact sociétal de la recherche



SOCIÉTÉS



MÉTHODOLOGIE Au-delà des découvertes, comment évaluer les retombées concrètes de la recherche dans le quotidien ?

Catherine Dargemont, responsable de la mission Impact du CNRS, explique la nouvelle approche de l'organisme pour analyser et valoriser l'apport de la science.

PROPOS RECUEILLIS PAR LAURENCE STENVOT

Pourquoi le CNRS s'engage-t-il aujourd'hui dans des études d'impact sociétal ?

Catherine Dargemont Si l'impulsion d'initier cette démarche est issue des recommandations du comité d'évaluation, sous la responsabilité du Haut Conseil de l'évaluation de la recherche et de l'enseignement supérieur (Hcéres), l'ambition du CNRS est de se doter d'outils rigoureux qui permettent de convaincre et de démontrer l'importance de la science – et, en particulier, du CNRS – pour la société.

Cette démarche vise à analyser l'impact des recherches menées, en couvrant toutes leurs dimensions : culturelle, sociale, environnementale, sanitaire, économique et politique, y compris dans les aspects parfois plus inattendus ou plus controversés. L'idée n'est pas de produire uniquement des récits inspirants, mais de documenter l'ensemble des effets, positifs comme négatifs. Il s'agit aussi de replacer nos résultats dans un contexte plus large et plus intelligible pour les divers publics, notamment

les décideurs publics, afin qu'ils puissent en tirer parti dans leurs orientations et choix stratégiques.

En quoi cette démarche dépasse-t-elle le simple fait de « mesurer » ?

C. D. Ces études d'impact sont des outils d'amélioration qui permettent par ailleurs d'illustrer en quoi les objectifs et missions d'un établissement sont accomplis.

À l'aide d'études de cas, nous voulons comprendre comment les caractéristiques du CNRS (recherche sur un temps long, multi- et interdisciplinarité, couverture nationale, rayonnement international) participent à un impact sociétal majeur à court, moyen et long termes, et sont indispensables pour générer des transformations durables.

Quelle est la méthode que vous avez retenue ?

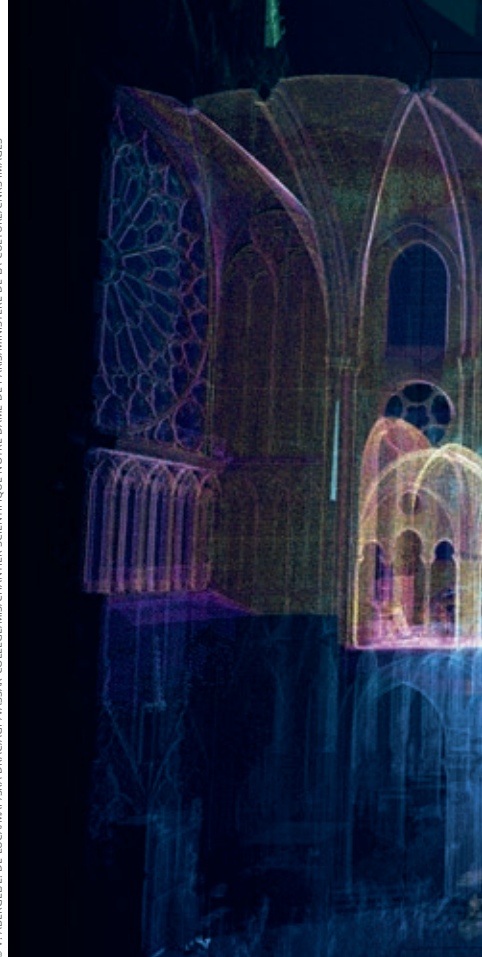
C. D. Après l'analyse des différentes approches utilisées, nous avons choisi et adapté pour le CNRS une démarche conçue par des chercheurs¹, publiée dans des journaux internationaux et

utilisée depuis plus d'une décennie dans le monde de l'agronomie, et de plus en plus dans d'autres domaines. Cette approche consiste à définir la chronologie précise du cas étudié, à analyser et à documenter ce que l'on appelle le « chemin d'impact », et à en déduire un radar d'impact dans les différentes dimensions sociétales.

Pour y parvenir, nous combinons toute la documentation disponible, qu'elle soit écrite (bibliographie, rapports d'activité...), audiovisuelle ou numérique (banques de données de littérature scientifique, de brevets, de financements, de presse, de documents de politiques publiques...), ainsi que sur des entretiens semi-dirigés avec l'ensemble des parties prenantes.

L'avantage de cette approche est qu'elle peut être appliquée aussi bien de façon rétrospective, sur des recherches menées depuis 20 ou 25 ans sur un sujet donné, que de manière prospective, en accompagnant de grands projets à ambition d'impacts prédéfinis, pour qu'ils permettent les transformations souhaitées.

© V. ABERGUEL DE LUCA/MAP/SRA-DRA/CAG/VASSAR COLLEGE/MIS/CHANTIER SCIENTIFIQUE NOTRE-DAME DE PARIS/MINISTÈRE DE LA CULTURE/CNRS IMAGES





► Nuages de points 3D des décombres de Notre-Dame réalisés après l'incendie de 2019 par le groupe de travail «Données numériques» du CNRS et du ministère de la Culture.

Pouvez-vous donner un exemple concret ?

C. D. Notre première étude emblématique porte sur les recherches menées après l'incendie de Notre-Dame de Paris². Les impacts du chantier scientifique de Notre-Dame – mené conjointement par le CNRS, ses partenaires académiques et le ministère de la Culture – ont été multiples. Sur le plan scientifique, ce chantier a renouvelé complètement le corpus de connaissances sur Notre-Dame, contribué à structurer les sciences du patrimoine en mobilisant des disciplines variées – avec un rôle déterminant du numérique – et posé les bases d'un accompagnement scientifique aux maîtrises d'ouvrage et maîtrises d'œuvre des chantiers de restauration.

Sur le plan culturel, l'expérience du chantier scientifique de Notre-Dame associé à une restauration d'une telle ampleur fait déjà date comme référence internationale pour la gestion scientifique d'une crise patrimoniale – tant pour son impact sur la restauration et ses pratiques que pour celui sur le public,

en amplifiant l'intérêt de tous pour le patrimoine. On compte 17 millions de vues pour les documentaires sur le chantier scientifique³ !

D'ailleurs, cette perception patrimoniale renouvelée éclaire dès à présent les politiques de conservation. Les recherches sur l'utilisation du bois vert pour la charpente pourraient à terme mener à une évolution réglementaire, via les normes du bâti. Les études sur la pollution par le plomb, en apportant des données fiables sur la contamination et des solutions possibles, ont éclairé le plan d'action de la Ville de Paris contre la pollution au plomb.

□ Nous prévoyons
d'accompagner des projets
□ fort potentiel d'impact
d'as leur lancement. □

Quels vont être les prochains chantiers ?

C. D. Nous finissons actuellement l'étude de l'impact sociétal des recherches sur les batteries⁴, qui sera restituée publiquement le 8 décembre. C'est un sujet stratégique, à la fois pour la transition énergétique et pour la souveraineté industrielle. Nous avons bien sûr utilisé la même méthodologie que pour Notre-Dame, et l'avons complétée par une analyse chiffrée de l'impact économique et surtout, du retour sur investissement.

En outre, nous prévoyons d'accompagner des projets à fort potentiel d'impact dès leur lancement, ce qui permet d'intégrer la réflexion sur l'impact en temps réel, et pas seulement rétrospectif.

Ce travail peut-il mobiliser toute la communauté scientifique ?

C. D. C'est l'un des plus grands défis. Mesurer l'impact global de toutes les recherches du CNRS serait irréaliste. C'est pourquoi nous avons choisi de procéder par études de cas. Mais ces études n'ont de sens que si elles sont construites avec les chercheurs et chercheuses, qui doivent y voir une opportunité de replacer leurs travaux en perspective et de produire un outil de prospective, et non une contrainte administrative. Le colloque du 5 septembre⁵, qui a rassemblé aussi bien des décideurs publics que des scientifiques, a été une étape importante pour partager cette vision, à la fois en interne et à l'extérieur du CNRS. II

1. La méthode Asirpa (Analyse des impacts sociétaux de la recherche), développée par l'Inrae. 2. [Tinyurl.com/NDP-CNRS](https://tinyurl.com/NDP-CNRS) 3. [Tinyurl.com/doc-notre-dame](https://tinyurl.com/doc-notre-dame) 4. [Tinyurl.com/recherche-batteries](https://tinyurl.com/recherche-batteries) 5. Sur l'impact sociétal du chantier scientifique de Notre-Dame.

Le mythe de la transition énergétique

© LAURENT GRANDJULOT/REA



SOCIÉTÉS



ÉNERGIE La notion de « transition énergétique » a été dévoyée, estime l'historien des sciences Jean-Baptiste Fressoz. Il explique pourquoi charbon et pétrole n'ont jamais remplacé le bois. Selon lui, la lutte contre le changement climatique doit se fonder sur des techniques disponibles et bon marché.

PROPOS RECUEILLIS PAR MARINA JULIENNE

Qu'est-ce qui a motivé l'écriture de votre livre *Sans transition – Une nouvelle histoire de l'énergie*¹ ?

Jean-Baptiste Fressoz² La nécessité de mettre l'histoire de l'énergie à la hauteur du défi climatique. Il y a un genre dominant, dans ce domaine : celui de la grande fresque énergétique de l'humanité, qui narre les transitions successives que l'on aurait accomplies par le passé – du bois au charbon, puis du charbon au pétrole – et qui préluderaient à la transition à venir en dehors des énergies fossiles. Le problème de cette approche, que

je qualifie de « phasiste », est qu'elle minore la nouveauté radicale de ce qu'il faut accomplir maintenant, face au changement climatique.

On dispose aussi d'une riche historiographie mono-énergétique sur le bois à l'époque préindustrielle, sur le charbon au XIX^e siècle et sur le pétrole au XX^e. Mais ces histoires des énergies et des matières ne peuvent se comprendre les unes sans les autres. En outre, 95 % du charbon a été extrait après 1900. Et le bois-énergie a énormément crû au XX^e siècle – plus fortement encore depuis les années 2000.

Il faut donc arrêter de se focaliser sur les transitions, de penser les énergies comme étant en compétition. Globalement, aux XIX^e et XX^e siècles, l'histoire de l'énergie est celle de l'expansion.

Il y a pourtant eu des ruptures – entre la bougie et l'électricité, par exemple ?

J.-B. F. Tout à fait, mais ce sont des ruptures technologiques qui masquent la permanence des matières et des énergies. Donc, oui, l'électrification représente une vraie révolution, qui rend obsolètes les lampes à pétrole. Mais, paradoxalement, elle entraîne une énorme croissance de la consommation de pétrole pour l'éclairage ! Aujourd'hui, les seuls phares des automobiles (le parc mondial est de 1,5 milliard de voitures) consomment bien plus de pétrole que le monde entier en 1900.

Quelles que soient les innovations technologiques, les matières premières n'ont pour le moment jamais été obsolètes. Les exceptions à cette règle sont rarissimes. L'huile de baleine est un exemple unique de disparition d'une source d'énergie. L'éventail des

1. L'ouvrage, qui vient d'être traduit en anglais, a obtenu le prix d'histoire du Sénat.

2. Historien des sciences, des techniques et de l'environnement, et chercheur au Centre de recherches historiques (CRH, unité CNRS/EHESS).

Extraction de bois de chauffage en forêt de Rambouillet, en 2024.

matières consommées s'élargit, et chacune est consommée en quantité croissante. On estime que le poids total des matières premières utilisées par l'économie au xx^e siècle (l'extraction de biomasse, d'énergies fossiles, de minerais et de granulats ; on ne compte pas l'eau et l'air) a été multiplié par 12 !

Lors de la révolution industrielle, le charbon a bien remplacé le bois ?

J.-B. F. Eh bien, non. Pour une raison simple : pour exploiter des mines de charbon, il était indispensable d'étayer les galeries avec énormément de bois.

Au début du xix^e siècle, les mines britanniques engloutissent entre 3 et 4,5 millions de mètres cubes d'étais par an, alors qu'un siècle auparavant, les habitants ne brûlaient « que » 3,6 millions de mètres cubes de bois de feu. En Chine, le manque de bois sera pendant longtemps un obstacle majeur à l'extraction du charbon.

Le bois reste source d'énergie ?

J.-B. F. Effectivement, cette utilisation du bois-énergie n'a fait que croître dans les pays riches au xix^e et aussi au xx^e siècle – à cause de la production de papier et de carton d'emballage, et également parce qu'on produit de plus en plus d'électricité à partir de bois. De nos jours, la centrale thermique à bois de Drax, au Royaume-Uni, consomme à elle seule au moins quatre fois plus de bois que le pays tout entier deux siècles plus tôt.

En France, l'entreprise Vallourec – qui fabrique des tubes en acier – consomme 1,2 million de mètres cubes de bois (transformés en granulés) par an, soit trois fois ce que la sidérurgie française tout entière consommait à son pic de consommation de charbon de bois, en 1860 !

Enfin, le charbon de bois a l'image d'une énergie préindustrielle. On n'en a pourtant jamais autant produit qu'aujourd'hui, notamment pour cuisiner, dans les pays en voie de développement. Depuis 1960, dans le monde, la quantité de bois de feu est

passée de 1 à 2 milliards de mètres cubes. En Afrique, des mégapoles de 10 millions d'habitants consomment à elles seules plus de bois que des pays européens entiers un siècle plus tôt !

Comment expliquer que l'on a présenté de façon erronée l'histoire des énergies ?

J.-B. F. Les historiens se sont intéressés à l'énergie du point de vue économique, pour comprendre les racines de l'industrialisation et de la croissance. Pour ce faire, ils convertissent les tonnes de bois, de charbon, de pétrole en unités énergétiques, et considèrent l'évolution du mix en relatif. Et, effectivement, en 1900, dans les pays industrialisés, l'apport énergétique du bois, par exemple, devient négligeable par rapport à celui du charbon.

Mais, du point de vue des arbres, de la biodiversité et du climat, ce sont les valeurs absolues qui importent. Or le nombre d'arbres abattus ne fait que croître. En outre, les historiens n'ont pas étudié les interrelations entre les énergies – par exemple, tout le bois nécessaire pour extraire le charbon ou tout le charbon nécessaire pour extraire et utiliser le pétrole.

Malgré tout, dans les pays riches, la surface des forêts augmente. Elles ne semblent pas menacées ?

J.-B. F. Oui, certains géographes parlent d'ailleurs de « transition forestière » pour décrire ce phénomène encourageant. Le problème, c'est qu'une bonne part de cette reforestation repose sur une déforestation



À lire :
Sans transition – Une nouvelle histoire de l'énergie,
de Jean-Baptiste Fressoz, Seuil,
collection Écocène,
416 pages, 2024.

dans les pays tropicaux, sur des transferts de biomasse (soja, pâte à papier...) vers les pays du Nord.

En outre, le pétrole a révolutionné la foresterie. C'est grâce à cette énergie que, à partir des années 1950, de nouvelles tronçonneuses légères et des véhicules dotés de bras hydrauliques remplacent la force musculaire des bûcherons. Reste à développer des milliers de kilomètres de routes forestières, avec des bulldozers roulant au diesel, et à accroître la productivité, grâce à des engrais de synthèse, parfois épandus sur les forêts par avions...

La sylviculture est devenue une branche de l'agriculture intensive – avec une essence clé, l'eucalyptus. Ses rendements en climat tropical et dopés aux engrais sont faramineux. En ce sens, la transition forestière n'est forcément pas une bonne nouvelle pour le climat.

Le pétrole ne remplace pas plus le charbon que celui-ci n'a remplacé le bois ?

J.-B. F. Non, car le pétrole sert avant tout à faire avancer des voitures qui consomment énormément de charbon pour leur fabrication.

Ce qu'il faut retenir, c'est qu'il y a une symbiose entre toutes ces énergies. C'est avec des engins en acier, fabriqués avec l'énergie du charbon et mus par celle du pétrole, que la plupart des matières premières (bois, produits agricoles, métaux) sont produites, extraites, transportées.

En 2020, les trois quarts de l'acier mondial sont produits avec... 1 milliard de tonnes de charbon !

Le charbon a donc encore de beaux jours devant lui ?

J.-B. F. La production de charbon s'est effectivement beaucoup modernisée depuis les années 1980. Il s'exporte maintenant massivement. Mais il est probable que sa plus forte croissance historique soit passée. La Chine brûle à elle seule autant de charbon que le monde entier en 1980. Et la part des énergies fossiles dans le mix énergétique mondial demeure supérieure à 80 % aujourd'hui.

□ Le pétrole sert avant tout □ faire avancer des voitures qui consomment □ normalement de charbon pour leur fabrication. □

Alors, d'où vient cette notion de transition énergétique ?

J.-B. F. Elle vient de la futurologie atomique américaine des années 1950-1970. Elle est inventée par un petit groupe de savants qui sont passés par le projet Manhattan³ et sont persuadés que le surgénérateur nucléaire⁴ est la clé de la survie de l'humanité pour faire face à la fin des ressources fossiles. Ils sont très minoritaires et n'imaginent pas une telle transition avant trois ou quatre siècles. Mais l'idée de transition se diffusera dans le sillage de la crise pétrolière.

Pourquoi ce concept de transition, infondé, a-t-il connu un tel succès ?

J.-B. F. Dans la décennie 1970, tout le monde peut s'y retrouver : partisans du nucléaire, défenseurs du solaire, mais aussi promoteurs du charbon.

Le scandale est que cette notion a été recyclée pour penser le défi climatique. La raison de ce transfert est facile à comprendre : à partir de la fin des années 1970, ce sont des économistes qui ont fait leur classe pendant la crise énergétique qui s'emparent de la question climatique. Ils vont utiliser les mêmes raisonnements pour penser des problèmes qui étaient pourtant très différents. Le réchauffement climatique est une tragédie de l'abondance, et non de la rareté.

Les énergies renouvelables ont-elles un rôle à jouer ?

J.-B. F. Bien évidemment. Les énergies renouvelables, surtout le solaire, coûtent de moins en moins chères et ont la capacité d'être déployables rapidement. Bien sûr, elles dépendent des ressources fossiles (acier, ciment, silicium), mais cela représente relativement peu de dioxyde de carbone (CO₂). La vraie question est : que fait-on ensuite de cette électricité décarbonée ? Si on l'utilise pour faire rouler des voitures de 2 tonnes qui ont besoin de ponts en acier et de routes en ciment, on réduit l'intensité carbone de l'économie, certes, mais on ne règle pas le problème des émissions de CO₂ !

Quid des véhicules électriques ?

J.-B. F. La voiture électrique est avant tout une affaire de souveraineté énergétique. La moitié du parc mondial roule en Chine, où les deux tiers de l'électricité sont produits à partir du charbon.

Les experts du Giec ont-ils proposé des solutions technologiques ?

J.-B. F. Quand on se plonge dans leurs rapports, on est surpris par la technophilie incroyable qui y règne. Dans leur dernier document, il est fait référence au train hyperloop d'Elon Musk,

▲ La centrale thermique à bois de Drax, en Angleterre, est la troisième centrale électrique la plus polluante d'Europe.



▲ À Lianyungang, en Chine, des voitures électriques produites par SAIC, le leader du marché automobile dans le pays, sont prêtes à partir à l'export.



l'hydrogène est partout, on y parle bitcoin et intelligence artificielle, mais le sujet de la sobriété est tout à fait marginal.

Les experts du groupe III⁵ ont imaginé des solutions éminemment contestables à propos de la capture et du stockage du CO₂ (CCS)⁶, poussés par l'industrie fossile, les cimentiers et la sidérurgie. Après avoir souligné, en 2001, que l'électricité au charbon avec capture du carbone reviendrait plus cher que l'électricité nucléaire, ils présentent en 2005 les capacités de stockage (dans les sous-sols ou au fond des océans) comme gigantesques et, finalement, pas si onéreuses !

Surgit ensuite une idée encore plus extravagante : pomper du CO₂ de l'atmosphère grâce à la bioénergie avec capture et stockage du carbone (BECCS). Concrètement, on brûle du bois pour faire de l'électricité, puis on récupère le CO₂ à la sortie des cheminées pour l'enfouir dans le sol.

Aucun scientifique ne met en doute ces fausses solutions ?

J.-B. F. Si, bien sûr. En 2017, une association des académies des sciences européennes les critique explicitement, soulignant qu'elles risquent d'aboutir à l'attentisme. Alors, dans

En bref

DÉSINFORMATION : SE FÉDÉRER POUR LUTTER

Le CNRS, l'état-major des armées et le Campus Cyber, avec le soutien de l'Institut national de recherche en sciences et technologies du numérique, ont lancé une initiative inédite contre les manipulations informationnelles. L'objectif : fédérer experts, chercheurs, industriels et société civile pour outiller durablement la France. Le cycle d'ateliers s'est achevé le 25 juin.

COUP D'ACCÉLÉRATEUR POUR L'IA EN EUROPE

En juin 2025, à VivaTech, le CNRS, le Grand équipement national de calcul intensif (Genci) et l'hébergeur Scaleway ont annoncé un partenariat stratégique inédit en matière d'intelligence artificielle. Il vise à unir leurs capacités et leurs expertises pour bâtir un continuum souverain public-privé unique en Europe.

LE CNRS ANIME LA RECHERCHE POLAIRE

En juillet 2025, le CNRS, l'Ifremer et l'Institut polaire français se sont alliés pour renforcer le leadership scientifique de la France sur les pôles. Le CNRS coordonnera l'animation scientifique, tandis que l'Institut polaire deviendra d'ici 2026 une Très grande infrastructure de recherche (TGIR) rattachée à l'Ifremer.

LE CNRS À BIG 2025

Le 23 septembre, le CNRS a participé à la onzième édition de BIG, organisée par Bpifrance à Paris. Il a proposé une masterclass sur le partenariat public-privé, sponsorisé le Festival des Innos, où des start-up issues de laboratoires sous tutelle CNRS ont pitché leurs innovations, et signé une convention BIG x CNRS pour renforcer la valorisation et les collaborations avec les entreprises.

LANCEMENT DE LA LIGNE PILOTE SPINTRONIQUE SPINFAB

Le 25 juin, le CEA, le CNRS et l'UGA ont lancé la ligne pilote académique SPINFab. Maillon essentiel entre les recherches académique et technologique, elle vise à accélérer la montée en maturité des innovations spintroniques indispensables au développement de l'électronique verte.



© EDWARD CRAWFORD / SOPA IMAGES/IMAREA

le rapport de 2022, les experts du Giec les limitent un peu et ne parlent plus « que », selon les scénarios, de 170 à 900 gigatonnes⁷ de CO₂ qu'il faut stocker d'ici à 2100. Mais ça reste énorme !

La technologie ne permettra pas de lutter contre le réchauffement ?

J.-B. F. Le progrès technologique existe et il a même été gigantesque au xx^e siècle. Par exemple, le passage de la machine à vapeur au moteur électrique divise par 10 l'intensité carbone de la force mécanique dans l'entre-deux-guerres. De nos jours, les renouvelables divisent par 12 l'intensité carbone de l'électricité par rapport au gaz. Ce que l'on fait avec les renouvelables, c'est diminuer l'intensité carbone de l'économie. Ni plus ni moins.

La politique climatique doit être fondée sur des techniques disponibles, bon marché – peu importe qu'elles soient anciennes ou récentes. Par exemple, il ne sert probablement à rien de rêver d'avions à hydrogène ou bien de fusion nucléaire à

l'horizon 2050. En revanche, on sait déjà décarboner l'électricité et, dans ce domaine, on peut sans doute parler de transition énergétique. Mais l'électricité ne représente que 40 % des émissions.

Quelles solutions proposez-vous ?

J.-B. F. Quelle politique climatique mener une fois que l'on comprend que la neutralité carbone est en grande partie illusoire et qu'on peut ralentir le changement, mais sans doute pas l'arrêter ? Si l'on veut réduire les émissions de secteurs comme l'aviation, le ciment, l'acier, le plastique, l'agriculture – autant de secteurs très difficiles à décarboner –, il faut parler de niveau de production et donc de répartition.

Il faut différencier le CO₂ émis pour des choses utiles et le CO₂ « inutile ». Il faut transformer les comportements, et il faut sans doute plus d'égalité pour que ces transformations très profondes soient socialement acceptables. ||

3. Programme des États-Unis visant à concevoir la bombe nucléaire durant la Deuxième Guerre mondiale.

4. Dans les années 1970, les experts pensent pouvoir concevoir un surgénérateur nucléaire qui produira une énergie abondante, rendant caduque la question des limites énergétiques. Mais seules la Russie et l'Inde exploitent encore la surgénération. En France, les surgénérateurs Phénix et Superphénix ont été arrêtés. 5. Le Giec s'organise en trois groupes : I, climatologie ; II, impacts ; III, solutions. 6. CCS : Carbon capture and storage. Voir : tinyurl.com/rxmyvxx 7. 1 gigatonne = 1 milliard de tonnes.

À Fukushima, des tests de cognition pour les insectes

© BLANDINE MAHOT-CASTANG

On sait que les abeilles et les frelons disposent de nombreuses facultés cognitives. Ces insectes savent reconnaître des couleurs, s'orienter dans l'espace... Or la pollution et les substances disséminées par l'humain, comme les pesticides, peuvent altérer leurs performances cognitives. Mais qu'en est-il de l'effet sur ces pollinisateurs des rayons ionisants ?

C'est la question que se sont posée Olivier Armant, du laboratoire Écologie et écotoxicologie des radionucléides de l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection (ASNR), et l'éthologue Mathieu Lihoreau, du Centre de recherche sur la cognition animale du Centre de biologie intégrative¹. Le premier travaille sur l'effet écologique des rayons ionisants, avec des études de long terme sur la faune et la flore de Tchernobyl (désormais inaccessible, du fait de la guerre en Ukraine) et de Fukushima, au Japon. Le second se passionne pour l'intelligence des abeilles et ce qui peut la perturber. Il développe depuis plusieurs années un système automatisé pour évaluer les performances cognitives de ces insectes sociaux, conçu en partenariat avec la start-up toulousaine BeeGuard, qui fabrique des ruches connectées permettant une surveillance en temps réel.

« J'étudie les capacités d'apprentissage et de mémoire des abeilles », détaille Mathieu Lihoreau. Ce sujet est avant tout un sujet de recherche fondamentale, mais il a aussi des applications très concrètes en écotoxicologie : si les abeilles montrent des déficits d'apprentissage dans certains lieux, c'est qu'il y a un souci. Par exemple, de nombreux pesticides sont utilisés en doses suffisamment faibles pour ne pas tuer les abeilles, mais ils se retrouvent de manière résiduelle dans le nectar dont elles se nourrissent et ont une action neurotoxique. Cela se traduit par des perturbations cognitives, difficiles

VIVANT



NUMÉRIQUE



BIOLOGIE Dans la zone contaminée de Fukushima, au Japon, des scientifiques s'intéressent à l'impact de la radioactivité sur les capacités cognitives d'insectes pollinisateurs : les abeilles domestiques, mais aussi les frelons géants.

PAR MARTIN KOPPE

▲ Cette abeille porte un QR code qui permet aux labyrinthes automatisés dédiés aux tests cognitifs de l'identifier.

à observer, comme l'impossibilité d'associer une récompense à une couleur ou à une odeur. Notre système permet de mesurer ces effets – certes non létaux, mais quand même graves, car ils ont des conséquences en cascade sur la survie des colonies et, plus généralement, sur le service de pollinisation. »

Les abeilles perturbées se mettent à butiner des fleurs de différentes espèces, au lieu de se concentrer sur une seule. Et n'amènent alors plus le bon pollen aux bonnes plantes, avec des conséquences sur tout l'écosystème.

L'épreuve du labyrinthe

Le dispositif développé par l'équipe de Mathieu Lihoreau (composée de biologistes, ingénieurs, modélisateurs et écologues) n'avait jusqu'alors été testé que près de Toulouse, sans les conditions extrêmes d'une zone comme Fukushima – où les scientifiques ont pu pénétrer grâce à leurs collègues japonais. « Nous avons commencé à collaborer avec le Japon juste après l'accident de Fukushima, en 2011, précise Olivier Armant. Nous travaillons notamment avec l'Institute of Environmental Radioactivity de l'université

En bref

de Fukushima, qui nous aide à accéder à la zone contaminée. Les collègues japonais connaissent bien le site et ses forêts, ils ont pu nous aiguiller vers les lieux les plus intéressants. Nous avons ainsi mené deux actions de terrain en 2023 et 2024. »

Les sites sélectionnés pour installer les ruches d'abeilles domestiques l'ont été en fonction du gradient de contamination des sols en césium 137. Les frelons locaux, issus de nombreuses générations d'insectes exposés aux radiations, ont aussi fait partie de l'étude de cognition. Mais comment soumettre un insecte à des tests cognitifs ?

« Le système repose sur des protocoles expérimentaux classiques, développés en laboratoire depuis 50 ans », explique Mathieu Lihoreau. Il s'agit d'un labyrinthe en Y, dans lequel l'insecte peut choisir entre deux branches illuminées par des LED colorées, en bleu ou en jaune. L'insecte doit comprendre qu'une seule couleur (bleu ou jaune, selon les tests) est récompensée avec de l'eau sucrée dispensée par une pompe à l'extrémité de la branche.

Une abeille en bonne santé a besoin de dix essais en moyenne pour trouver le chemin correct en suivant les bonnes couleurs. « Ce chiffre nous permet d'établir des courbes d'apprentissage, que l'on peut ensuite comparer pour voir s'il y a un impact sur la capacité à résoudre le problème », poursuit Mathieu Lihoreau.

En haut de la chaîne alimentaire

Le protocole déployé à Fukushima est automatisé. Chaque abeille est équipée d'un QR Code large de 2 millimètres, qui commande l'ouverture du labyrinthe. Cette personnalisation permet de tester l'apprentissage de chaque animal.

Les frelons géants, trop gros pour entrer dans le système, ont été testés « à la main » dans des labyrinthes plus classiques. « Nos collègues japonais ont voulu nous dissuader de les manipuler, tellement ils sont dangereux », se souvient Mathieu Lihoreau. Mais ces frelons sont extrêmement intéressants pour comprendre l'impact environnemental de la radiocontamination, car ces prédateurs sont en haut de la chaîne alimentaire et, contrairement à nos abeilles domestiques, ils sont présents dans la zone depuis toujours, bien avant l'accident nucléaire. »

Les résultats de l'étude n'ont pas encore été publiés. Mais les scientifiques indiquent déjà constater une baisse de la cognition des insectes dans la zone contaminée de la préfecture de Fukushima. « Nous observons des corrélations », note Olivier Armant. Un lien causal avec les contaminations radioactives n'a cependant pas encore été démontré. Mais comme la zone n'est plus habitée, il est peu probable que l'effet soit dû à des facteurs tels que les pesticides. » ¹

PROSPECTIVE SUR LA RECHERCHE POLAIRE

À l'occasion de l'Unoc3 a été présentée une prospective sur la recherche scientifique française aux pôles, le premier livrable de l'agence de programme Climat, biodiversité et sociétés durables, confiée au CNRS.

RESPONSABILITÉ DES RECHERCHES

Dans son dernier avis, « Manipuler les virus, manipuler le climat ? Comment juger de ce qui est responsable en recherche ? »*, le Comité d'éthique du CNRS interroge les limites de certaines expérimentations à haut risque, telles que les gains de fonctions pour la modification de virus en laboratoire ou les techniques de géo-ingénierie.

FINALE DE « MA THÈSE EN 180 SECONDES »

Quatre doctorantes et doctorants ont été récompensés pour leur prestation d'éloquence lors de la finale nationale du concours « Ma thèse en 180 secondes », le 17 juin 2025, à la Grande Halle de La Villette, à Paris. Ondine Simonot-Bérenger, premier prix, devait représenter la France lors de la finale internationale du concours, début octobre, en Roumanie.

COLLOQUE « RECHERCHES INTERDISCIPLINAIRES EN SANTÉ »

Les 9 et 10 septembre 2025, le CNRS a réuni scientifiques et experts autour de sessions scientifiques sur les déterminants de santé et les innovations thérapeutiques (IA, nanomédecine, organes sur puce, imagerie avancée). Trois tables rondes ont complété les débats sur les inégalités, les stratégies nationales et les parcours de santé.

LABORATOIRE COMMUN CNRS-VEOLIA

En juin 2025, à VivaTech, Veolia et le CNRS ont signé un accord-cadre de collaboration afin de structurer et d'amplifier leurs relations en matière de recherche, d'innovation et de transfert technologique, dans le but de développer des solutions technologiques basées sur la recherche scientifique pour répondre aux défis environnementaux.

LE CNRS REMPORTE 24 ERC

En juillet 2025, le CNRS a hébergé 6 des 12 lauréats français de la première vague de l'appel « Proof of concept 2025 » du Conseil européen de la recherche (ERC). En septembre, 18 autres lauréats, issus de l'appel « Starting », les ont rejoints.

1. CRCA-CBI, unité CNRS/Université de Toulouse.

* Voir [Tinyurl.com/avis-resp](https://tinyurl.com/avis-resp)



© ADÈLE HUGUET

Guide de plongée en eaux médiatiques

Cinq ans après la pandémie, on se souvient encore de la profusion de fausses nouvelles scientifiques qui avaient agité l'opinion publique en pleine crise du Covid-19. Dans le concert médiatique, difficile de discerner la justesse d'une parole scientifique appuyée sur des faits dûment vérifiés.

Or, rappelle Antoine Petit, président-directeur général du CNRS, « en apportant des connaissances solides issues de la recherche, les scientifiques contribuent à la qualité du débat public. En diffusant celles-ci le plus largement et le plus clairement possible, ils combattent la désinformation, les idées fausses, les solutions simplistes et les théories du complot qui peuvent circuler dans les médias, notamment sur les réseaux sociaux. » Aussi incite-t-il les scientifiques à « diffuser dans la société les résultats et la démarche scientifiques, encourager la curiosité intellectuelle et accompagner le développement de la pensée critique ».

ÉTHIQUE Le CNRS vient de publier un guide de l'expression publique destiné à ses personnels scientifiques. Une véritable boîte à outils pour les accompagner dans leurs prises de parole médiatiques.

PAR MAXIME LEROLLE • ILLUSTRATIONS ADÈLE HUGUET

Le P-DG du premier organisme de recherche français rejoint ce faisant un avis¹ de son comité d'éthique (Comets). Publié en 2023, ce texte observait que « le développement des médias et des réseaux sociaux avait sensiblement renforcé l'exposition publique des chercheurs engagés ». Malgré cette exposition accrue, le Comets jugeait qu'« il n'y a pas d'incompatibilité de principe entre, d'un côté, l'engagement public du chercheur et, de l'autre, les normes attribuées ou effectivement applicables à l'activité de recherche ».

En d'autres termes, les scientifiques ont le droit – mais non le devoir – de s'exprimer publiquement au sujet de leurs recherches. Néanmoins, pour les prémunir des risques liés à l'exposition médiatique et éviter la cacophonie telle qu'au temps du Covid-19, la présidente du Comets, Christine Noiville, invitait à « *construire collectivement un guide pratique de l'engagement* ».

Ce besoin de s'appuyer sur un document de référence est plébiscité par les communautés scientifiques du CNRS, comme l'a mis en lumière une enquête interne inédite menée au printemps 2024. Les résultats, fruit d'une large mobilisation (un cinquième des 28 000 personnels scientifiques de l'institution ont répondu à l'enquête), sont sans appel : 80 % des répondants considèrent comme prioritaire la réflexion du CNRS sur l'expression publique des scientifiques et 83 % estiment que cette dernière a des répercussions positives sur la société.

Mais l'enquête révèle que l'attachement manifeste des scientifiques à leur liberté d'expression et à ses bienfaits pour la société ne se traduit pas en pratique par une forte exposition médiatique. La moitié des sondés admettent ne jamais s'exprimer publiquement.

Dans ces conditions, les sondés appellent vivement à un soutien institutionnel, aussi bien pour les accompagner dans leur expression publique que pour les défendre en cas d'attaque (15 % disent redouter la critique sur les réseaux sociaux, voire le cyberharcèlement), de manière à prendre la parole plus sereinement et en toute responsabilité dans les médias et sur les réseaux.

Un instrument concret et pédagogique

C'est dans cette optique que le CNRS a publié le 17 juin 2025 son premier guide de l'expression publique des scientifiques, amené à évoluer dans les années à venir. Fruit d'un travail d'un an et demi associant la direction de la communication, le conseil scientifique, le Comets, les déontologues, la direction des affaires juridiques et la direction des ressources humaines, ce document de synthèse se veut un instrument concret et pédagogique.

À la différence d'une charte, ce guide ne vise pas l'encadrement de la parole de ses agents, mais représente plutôt une sorte de « boîte à outils » qui, souligne Antoine Petit, « *doit aider tous les personnels du CNRS à trouver un juste équilibre entre la liberté d'expression des scientifiques, le devoir de rigueur qui s'impose à eux, la préservation de l'image de l'institution et la qualité du débat public* ».

Les scientifiques désireux de s'exprimer publiquement y trouveront des conseils sur les façons de prendre la parole dans la presse écrite ou audiovisuelle, ou encore de se protéger sur les réseaux sociaux.

Le guide rappelle, en outre, le cadre réglementaire de l'expression publique des scientifiques. Car leur exceptionnelle liberté d'expression, garantie par des lois et textes français comme européens, s'accompagne de quelques obligations légales et déontologiques.



Consultez
le guide
sur cnrs.fr



© ADÈLE HUGUET

Surtout, le guide insiste sur la nécessité, comme l'écrivait le Comets dans son avis, de « situer » sa prise de parole médiatique – c'est-à-dire de préciser clairement à quel titre on intervient et sur quels faits on la fonde. En ce sens, les scientifiques doivent observer dans leur expression publique les mêmes règles d'éthique et d'intégrité qu'elles et ils appliquent dans leur travail de recherche.

« *S'exprimer publiquement n'est ni simple ni confortable. Ce n'est pas non plus une obligation, assure le P-DG du CNRS. Mais si les scientifiques ne prennent pas leur place dans la construction du débat public, d'autres le feront, moins bien informés, moins rigoureux, éventuellement animés par d'autres motivations que le partage des savoirs scientifiquement acquis.* » ¹

Il faut □ trouver un juste □ équilibre entre la libert□ d'expression des scientifiques, le devoir de rigueur qui s'impose □ eux, la pr□servation de l'image de l'institution et la qualit□ du d□bat public □.

1. [Tinyurl.com/ykm93v4s](https://tinyurl.com/ykm93v4s)



Microalgues, grand danger

© WILLIAM WEST / AFP

VIVANT 

BIOLOGIE Avec le réchauffement climatique et l'intensification des activités humaines, les épisodes de prolifération de phytoplancton s'intensifient dans les lacs et les mers. Avec des conséquences déjà sensibles sur l'ensemble du vivant.

PAR MAXIME LEROLLE

Sénégal, 2020 : pendant toute une année, un mal mystérieux frappe les pêcheurs. Plus d'un millier d'entre eux souffrent d'une dermatite aiguë sévère, caractérisée par une inflammation et des lésions cutanées. Après un nouvel épisode épidémique, en 2021, plusieurs études scientifiques tentent d'en déceler les causes. Enfin, début 2025, un article¹ finit par désigner le coupable. Qui n'est ni une bactérie ni une pollution environnementale, mais *Vulcanodinium rugosum*. Cette microalgue marine exprime la portimine A, une toxine responsable de nécroses cutanées chez les êtres humains.

« *V. rugosum se niche dans les filets dérivants des pêcheurs, dans lesquels elle est surconcentrée*, décrypte Léana Gorse, doctorante au sein de l'Institut de pharmacologie et biologie structurale (IPBS)² et première autrice de l'étude. *En manipulant leurs filets, les pêcheurs ont été en contact direct avec cette toxine, notamment au niveau des mains et des yeux.* »

Le phénomène inquiète d'autant plus qu'il est loin d'être isolé. Les cas de toxines environnementales relâchées par des microalgues se multiplient à travers le

monde. C'est d'ailleurs ce qui a permis à Léana Gorse et à ses collègues de trouver une explication au mal qui a frappé le Sénégal : « *Tout est parti d'un malentendu. Nous nous intéressions alors à une autre microalgue, sur la côte basque, où des fermetures de plages ont lieu chaque été à cause de sa prolifération. Pour mieux la comprendre, nous avons contacté Philipp Hess, un collègue de l'Ifremer spécialiste du sujet, qui nous a fourni des échantillons de toxines inconnues, dont certaines provenant de barques sénégalaises. Par la suite, Philipp Hess et nous avons comparé ces toxines à d'autres, issues de V. rugosum, originaires de la baie de*

► À Sydney (Australie), un nageur fait demi-tour devant une marée rouge. Elle n'est pas toxique, mais sa teneur en ammoniac peut provoquer des irritations cutanées.

Cienfuegos, à Cuba, où 60 baigneurs avaient souffert d'irritations cutanées semblables quelques années plus tôt. Le profil des toxines correspondait trait pour trait. »

Qu'y a-t-il de commun entre toutes ces microalgues ? Ces organismes microscopiques, qui composent le phytoplancton avec les cyanobactéries, forment des *blooms* (ou « efflorescences algales »). Au printemps et durant l'été – voire sur une période atteignant un an, dans le cas sénégalais –, ces espèces aquatiques profitent de conditions environnementales optimales pour se multiplier.

Si le phénomène est naturel, son intensité et la recrudescence des espèces nuisibles, ces dernières années, ne laissent pas d'inquiéter les scientifiques. En plus de leur toxicité, pour certaines d'entre elles, leur prolifération débri-dée provoque la formation d'une couche organique à la surface de l'eau qui obstrue toute lumière. Puis leur dégradation engendre une diminution de l'oxygène disponible, laissant une zone désolée quand elles disparaissent.

L'impact des activités humaines

Quels sont les éléments propices aux *blooms* ? Réponse d'Éric Fouilland, directeur de recherche au CNRS au sein du laboratoire Biodiversité marine, exploitation et conservation (Marbec)³, qui étudie entre autres l'écologie du phytoplancton, toxique ou non, sur le littoral méditerranéen : « Le premier facteur est la présence massive de nutriments inorganiques, comme l'azote et le phosphore, issus des activités humaines que sont l'agriculture, l'industrie et les effluents urbains. L'intensité des blooms est directement proportionnelle à la quantité de nutriments disponibles. » Une efflorescence algale dure ainsi jusqu'à l'épuisement complet des nutriments disponibles.

« Le deuxième facteur est la température de l'eau, précise le spécialiste des microalgues. Ces organismes unicellulaires ont des préférences pour les températures autour de 20-25 °C. Or, avec le réchauffement des eaux, les algues se développent de plus en plus tôt dans l'année. »

S'ils sont déjà particulièrement meurtriers en mer, les *blooms* excessifs vont jusqu'à provoquer des extinctions de masse à l'échelle des lacs. Dans ces milieux confinés, un troisième facteur s'ajoute aux nutriments plus concentrés et aux températures plus élevées : le temps de résidence, c'est-à-dire la vitesse de renouvellement des eaux.

Les marées renouvellent régulièrement celles des mers ouvertes. Mais, relève Alexandrine Pannard, maîtresse de conférences à l'université de Rennes au sein du laboratoire Écosystèmes, biodiversité, évolution (Ecobio)⁴, « dans les lacs, l'été, le temps de résidence s'étire quasiment à l'infini ».

► Un bloom de coccolithophores (des algues marines unicellulaires) dans le golfe de Gascogne, en mai 2004.

Fine connaisseuse du phytoplancton en eau douce, elle a scruté pendant deux ans le lac de Grand-Lieu, qui s'étend sur 63 km² dans une réserve naturelle, au sud-ouest de Nantes. Son projet scientifique visait à caractériser, quantifier et analyser la distribution des espèces de phytoplancton du plus grand lac de plaine français (en hiver).

Dès son arrivée, la chercheuse rennaise a constaté un phénomène propre à Grand-Lieu : le tiers ouest du lac, à l'abri du vent, concentre une myriade de nénuphars. Or, en procurant de l'ombrage sous la surface, les nénuphars font baisser jusqu'à 9 °C la température de l'eau par rapport à celle de l'eau libre, où le mercure peut monter à plus de 30 °C en période estivale.

Seules les cyanobactéries apprécient ces températures élevées. Les deux tiers du lac souffrent ainsi chaque année de *blooms* à répétition, qui engendrent très probablement des chutes de biodiversité massives – alors que les autres espèces de phytoplancton prospèrent à l'ombre des nénuphars. En d'autres termes, avance Alexandrine Pannard, « si le lac perd ses nénuphars, qui montrent actuellement des signes de déclin, il perdra un tiers de sa biodiversité ».



© IMAGE/JACQUES DESCLITRES, MODIS RAPID RESPONSE TEAM, NASA/GSFC

1. Embopress.org/doi/full/10.1038/s44321-025-00197-4

2. Unité CNRS/Université de Toulouse. 3. Unité CNRS/Ifremer/IRD/Université de Montpellier. 4. Unité CNRS/Université de Rennes.



© JUAN MABROMATA / AFP

Un poisson saute hors de la couche de matière organique produite par les cyanobactéries dans les eaux du lac Salto Grande, créé à la frontière uruguayo-argentine par un barrage hydroélectrique sur le fleuve Uruguay.

Les *blooms* sont d'autant plus frappants qu'ils se multiplient à l'heure de l'Anthropocène. Les activités humaines – l'agriculture intensive et l'industrie, au premier chef – portent une lourde responsabilité. Alexandrine Pannard relève ainsi que « les blooms résultent des activités anthropiques le long des lacs et cours d'eau ». Résultat, si les lacs africains et australiens en subissent, du fait des activités humaines et des températures élevées, ceux des froides régions forestières du Canada n'en connaissent aucun.

« On paie le réchauffement climatique »

En mer, les transports internationaux contribuent à disséminer des microalgues hors de leurs zones de prédilection. C'est l'une des conclusions de l'étude sur la maladie des pêcheurs sénégalais. Directeur de recherche au CNRS au sein de l'IPBS, Étienne Meunier pointe le rôle des navires longue distance auxquels s'accroche *V. rugosum*. Ainsi, cette espèce méditerranéenne a réussi à s'implanter depuis peu dans des mers ouvertes, comme au large du Sénégal.

Enfin, les cyanobactéries ont pour particularité de produire des cellules de dormance, qui s'accumulent dans les sédiments à la fin d'un *bloom* et peuvent y survivre durant des millénaires, jusqu'à ce que reviennent les chaudes températures qu'elles affectionnent.

« Aujourd'hui, on paie le réchauffement climatique, déplore Alexandrine Pannard. Même si l'on a réduit les intrants de nutriments depuis une trentaine d'années, on a de plus en plus de blooms avec la hausse des températures. »

Comme l'épisode sénégalais l'a montré, les effets sur l'espèce humaine se font déjà sentir. Avec des impacts parfois indirects sur le plan sanitaire. « À défaut d'oxygène, constate Éric Fouilland, certaines bactéries dégradent le sulfate, un composé chimique naturellement présent dans l'eau de mer, et rejettent du soufre, très nauséabond, voire toxique à de fortes teneurs. »

Il évoque aussi les huîtres qui, « contaminées par des toxines issues du phytoplancton et bien qu'elles n'en souffrent pas nécessairement, peuvent, une fois consommées par l'homme, engendrer chez lui des intoxications ».

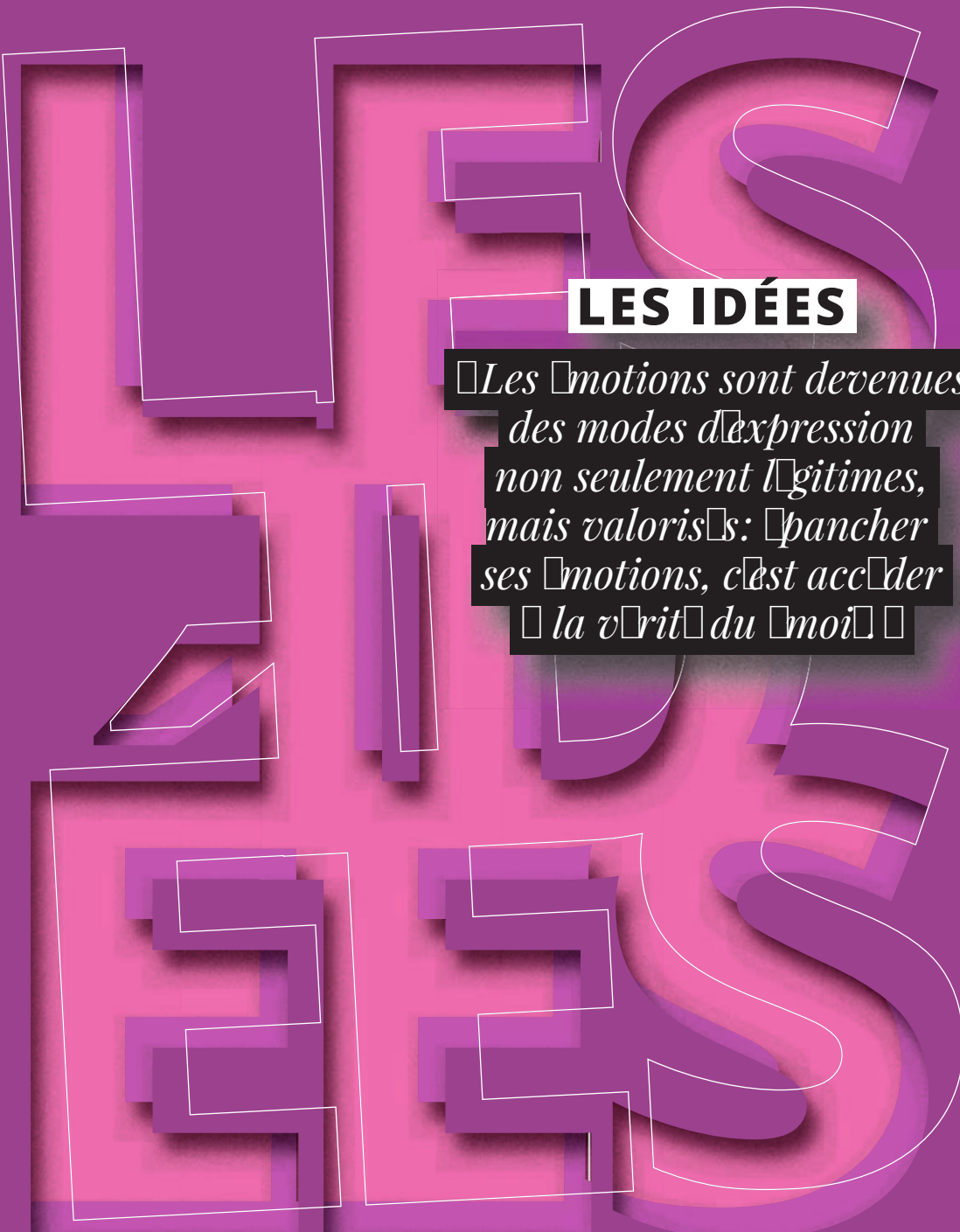
Ces conséquences sanitaires se doublent de pertes économiques. En Australie, les *blooms* lacustres déciment des troupeaux entiers de bétail. En France, la fermeture partielle de la côte basque en pleine saison estivale affecte le tourisme local. Au Sénégal, signale Étienne Meunier, « les pêcheurs, dépendants de leur activité, ont très mal vécu la fermeture de certaines zones le temps du bloom ».

Lutter contre les efflorescences

Comment se prémunir contre les effets toujours plus néfastes de *blooms* toujours plus nombreux ? D'un point de vue pratique, Alexandrine Pannard plaide pour l'arasement des lacs peu profonds, pour la plupart créés à des fins récréatives (la pêche, au premier plan). Les restaurer après une efflorescence est ardu et requiert soit l'enlèvement des sédiments, soit une vidange totale. La chercheuse juge plus résilient « un réseau de toutes petites mares de 1 à 2 m de largeur, mieux protégées des effets de blooms, que des étangs turbides et envasés par des séries d'efflorescences ».

Au niveau des mers et océans, Éric Fouilland appelle à réduire l'artificialisation et la pression anthropique sur les littoraux. Avec néanmoins un revers de la médaille : « Pour ne plus avoir de blooms excessifs, il faudrait ne plus rejeter de nutriments en mer, et donc appauvrir le milieu, ce qui aura un impact certain sur la productivité de la pêche et l'aquaculture, le phytoplancton se trouvant à la base de la chaîne alimentaire dans l'océan. »

Un élément inattendu pourrait toutefois apporter une solution. L'étude à laquelle ont contribué Léana Gorse et Étienne Meunier a mis en lumière le fait qu'une partie de la population – dont certains pêcheurs sénégalais – est porteuse d'une mutation génétique la rendant résistante à la portimine A, la fameuse toxine libérée par l'algue tueuse. Léana Gorse y voit une lueur d'espoir : « C'est une forme d'adaptation des populations à cette nouvelle pression environnementale. » À l'avenir, des mutations sélectionnées par l'environnement (climatique ou infectieux) pourraient ainsi nous rendre plus résistants à des agressions de plus en plus fortes. II



LES IDÉES

« Les motions sont devenues des modes d'expression non seulement légitimes, mais valorisés : s'exprimer, c'est accéder à la vérité du moi »



Oui, les ados peuvent résister aux fake news

Imaginez... Vous courez un marathon et dépassez le concurrent en deuxième position. Quelle place occupez-vous désormais ? La plupart des gens répondent rapidement : me voilà en tête ! Mais, si l'on réfléchit un peu plus, l'évidence s'impose : vous venez de prendre la place du deuxième, non pas du premier !

Problème : aujourd'hui, 60 % de la population mondiale utilise les réseaux sociaux¹, s'exposant à un flot continu d'informations de toutes provenances. Pas simple de jauger la véracité de chacune ! La détection des *fake news* (ou « infox² »), ces fausses nouvelles volontairement fabriquées et diffusées pour piéger le public et influencer les opinions, constitue donc un enjeu social, mais aussi politique : manipulation d'élections, influence sur les campagnes de vaccination, etc.

Or tous les individus ne sont pas armés face aux *fake news*, notamment les adolescents, dont le développement cérébral ne s'achève qu'entre 20 et 25 ans. Des chercheurs du Laboratoire de psychologie du développement et de l'éducation de l'enfant (LaPsyDÉ)³ ont mené une étude⁴ pour combler la lacune subsistant dans la littérature à l'égard du discernement de la vérité chez les adolescents.

SOCIÉTÉS



NUMÉRIQUE



PSYCHOLOGIE Des scientifiques ont évalué la capacité des adolescents à repérer les *fake news*. Et montré qu'il est possible d'apprendre à résister aux automatismes de pensée, même si l'âge joue.

PAR JULIE DEGEN

D'abord, 432 enfants âgés de 11 à 14 ans ont estimé l'exactitude de 56 nouvelles (28 vraies et 28 fausses). Chacune était présentée sous la forme d'un titre associé à une accroche et à une image pour ressembler à une publication de réseau social (également appelée « post »).

De plus, les sources initiales avaient été effacées et remplacées par des sources considérées comme fiables pour la moitié des nouvelles (des vraies et des fausses) et par des sources non fiables pour l'autre moitié. Il s'agissait ainsi d'annuler l'influence potentielle de la source d'origine sur la réponse des participants. Lesquels n'avaient accès à aucun moyen de vérifier la véracité des publications.

► Plus les collégiens sont âgés et mieux ils repèrent les fausses informations.

L'enjeu n'était donc pas de savoir si un post était vrai ou faux, mais d'évaluer sa véracité perçue, en estimant son exactitude sur une échelle de 1 à 4. Premier résultat, rassurant : plus les collégiens sont âgés, mieux ils repèrent les fausses informations parmi les 56 soumises, et ce, quel que soit leur genre (le milieu social n'a pas été exploré).

Ensuite, afin d'identifier les processus cognitifs impliqués, les chercheurs ont complété le premier test par un test de réflexion cognitive. Avec des questions de ce type : « Une balle et une batte coûtent 110 €, et la batte coûte 100 € de plus que la balle. Combien coûte la balle ? » Première réponse qui vient à l'esprit, d'instinct : 10 €.

Mais le cerveau se trompe. La bonne réponse est : 5 € pour la balle, afin que le total se monte à 110 € (la batte coûtant 105 €, soit bien 100 € de plus que la balle). Le cerveau n'aboutit à la bonne réponse que s'il résiste à ses biais pour s'engager dans un raisonnement analytique, plus chronophage et énergivore.

Aux mêmes questions piègeuses, environ la moitié d'un échantillon de 132 adultes de 18 à 34 ans a répondu correctement, contre moins d'un quart des 11-14 ans. Les notes au test de réflexion cognitive augmentent avec l'âge des participants, ce qui est cohérent avec le développement de la pensée logique et la littérature scientifique.

La comparaison des résultats des adolescents aux deux tests révèle que ceux qui ont le mieux identifié les *fake news* (premier test) sont aussi ceux qui ont présenté une meilleure capacité de raisonnement (second test). Le développement du discernement de la vérité est donc lié au développement du raisonnement.

Résister aux automatismes de pensée

Raisonner implique d'activer son « système 2 », selon la théorie des processus duaux du psychologue et économiste Daniel Kahneman⁵. Car deux systèmes de pensée coexistent dans nos cerveaux, détaille Marine Lemaire, doctorante en psychologie au LaPsyDÉ et première autrice de l'article : « Le premier système est automatique, intuitif, peu coûteux en énergie cognitive et, s'il nous permet de répondre rapidement aux situations quotidiennes, il peut se tromper dans certaines situations pièges. Le deuxième système, délibératif, s'avère beaucoup plus lent et coûteux en énergie. Il prend le temps de la réflexion avant de répondre. »

Raisonner signifie résister aux automatismes de pensée du système 1 au profit de la réflexion du système 2 : « Nos résultats révèlent que, chez l'adolescent, le développement de la capacité à identifier les *fake news* est en partie lié au développement de la capacité de raisonnement, c'est-à-dire d'utilisation du système 2. »

Autre partie de l'étude : présenter aux adolescents la moitié des nouvelles avant le début du test, en leur faisant croire à un autre exercice. Puis ces actualités leur sont à nouveau soumises, mélangées aux autres, lors du test.

« Les informations familières, vues deux fois, sont perçues comme plus vraies que celles nouvellement présentées aux participants », indique Marine Lemaire. Il s'agit de ce que l'on appelle l'« effet de vérité illusoire » : « Plus on voit une information, plus on a tendance à croire qu'elle est vraie. C'est un biais très robuste, détecté dès l'âge de 5 ans⁶. »

L'étude montre que ni l'âge ni la capacité de raisonnement n'influent sur l'effet de répétition – retrouvé également chez l'adulte. Nous sommes tous piégés de la même façon par les informations familières que nous voyons. « Plus une information est familière, observe la doctorante, plus elle est facile à traiter du point de vue cognitif, et le cerveau interprète cette aisance comme un indice de véracité. »

À 11 ans, pas de distinction

Dernier résultat marquant de l'étude : la distinction entre *fake news* et informations vraies par les jeunes de 11 ans. « En moyenne, nous n'avons pas trouvé de différence significative du point de vue statistique », relève Marine Lemaire. Autrement dit, à 11 ans, on n'est pas encore capable de différencier une vraie nouvelle d'une infox.

Or, en France, en 2024, 63 % des jeunes de 7 à 10 ans interrogés déclaraient utiliser au moins un réseau social.⁷ Et si l'âge minimum légal d'inscription sur les réseaux sociaux est de 13 ans avec accord parental et de 15 ans sans, nombre d'adolescents enfreignent la règle. Car, à ce jour, la vérification de l'âge est purement déclarative. La bataille de la vérification de l'âge à l'inscription sur les réseaux se jouera sans doute à l'échelle européenne, où le règlement sur les services numériques impose déjà des contraintes aux grandes plateformes.

Mais il y a une bonne nouvelle, explique Grégoire Borst, directeur du LaPsyDÉ et coauteur de l'article : « Il est possible d'expliquer aux enfants comment fonctionnent les algorithmes avant même qu'ils soient sur un réseau social. »

□ Plus on voit une information, plus on a tendance □ croire qu'elle est vraie. C'est un biais très robuste, détecté dès l'âge de 5 ans. □

1. Rapport « Digital 2023 », publié par We Are Social et Meltwater : tinyurl.com/yxrm83au 2. Contraction d'« information » et d'« intoxication ». 3. Unité CNRS/Université Paris Cité. 4. Voir *Scientific reports* : doi.org/10.1038/s41598-025-90427-z 5. Théorie développée dans l'ouvrage *Thinking, Fast and Slow* (2011), publié en France sous le titre *Système 1/ Système 2 : des deux vitesses de la pensée* (Flammarion, 2012). 6. Voir *Psychological science* : doi.org/10.1177/0956797620939534 7. Étude « Parents, enfants et numérique 2024 », Observatoire de la parentalité et de l'éducation numérique : tinyurl.com/2s4c325a5



Un employé d'une morgue incinéré par erreur lors d'une sieste

L'homme de 48 ans est décédé ce matin après avoir été incinéré accidentellement par l'un de ses collègues. Il avait décidé de faire une sieste sur une civière après avoir travaillé seize heures de suite.



J'aime



Commenter



Partager



Stupeur à Sotheby's : une œuvre de Banksy s'autodétruit lors d'une vente aux enchères

Quelques minutes après avoir trouvé un acquéreur, la toile de l'artiste britannique vendue par la maison londonienne a été découpée en fines lamelles par une broyeuse à papier dissimulée dans le cadre.



J'aime



Commenter



Partager

© LEMAIRE M., YE S., LE STANC L ET AL., SCI REP 15, 6854 (2025). DOI:10.1038/s41598-025-94072-2. COMPTE INSTAGRAM@BANSKY

Exemple d'articles utilisés dans le cadre de l'expérience. L'article de gauche est une *fake news*, tandis que celui de droite relate un événement qui s'est réellement déroulé.

Il faudrait donc élargir l'éducation aux médias et à l'information (EMI), qui enseigne notamment des principes journalistiques tels que l'évaluation de la fiabilité des sources et leur croisement.

« À l'heure actuelle, l'EMI comprend très peu de ressources sur la cognition et les biais inhérents à un cerveau humain qui tente de déterminer la véracité d'une information, alerte le chercheur. Il faudrait, par exemple, détailler le biais de confirmation, qui nous fait privilégier les contenus confortant nos opinions. »

Pour l'instant, cette sensibilisation n'occupe pas de place spécifique dans les programmes. Mais l'étude menée sur le discernement de la vérité chez les adolescents sert la psychologie interventionnelle, en lui fournissant des clés pour développer des ressources pédagogiques.

« Nous avons montré que la capacité de raisonnement joue un rôle pour identifier les *fake news*, pointe Marine Lemaire, donc c'est un processus sur lequel nous pourrions agir ensuite pour aider les jeunes à distinguer le vrai du faux.⁸ »

Cultiver « le doute raisonnable »

Sur le site Lea.fr, des enseignants volontaires ont collaboré avec les scientifiques pour créer des interventions, afin d'expliquer les systèmes de pensée aux jeunes et de les sensibiliser aux biais cognitifs. Ces interventions sont ensuite dispensées par les professeurs dans les classes. Au total, plus de 100 classes ont été mobilisées, de la sixième à la troisième, soit plus de 3 000 adolescents.

Les premiers résultats indiquent que cette sensibilisation aide davantage à discerner la vérité que les séquences d'EMI classiques. Mais ses effets semblent ne pas durer,

« peut-être parce que deux séances de 45 minutes ne suffisent pas », avance Grégoire Borst. L'analyse des données recueillies est en cours et précisera ces premiers résultats. « La vraie difficulté que nous rencontrons, ajoute-t-il, est de développer la pensée critique des adolescents, tout en évitant qu'ils se mettent à douter de toutes les informations. Sinon, ils risquent de se réfugier sur des sites diffusant uniquement des informations avec lesquelles ils sont déjà d'accord, voire d'adhérer à des théories complotistes. »

Il conseille plutôt de « cultiver le doute cartésien, c'est-à-dire le doute raisonnable » et « d'aller creuser si quelque chose nous interpelle ». De se faire confiance, donc. Mais aussi de laisser le temps à son système 2 de s'activer et d'accepter d'attendre avant de prendre une décision.

Marine Lemaire le rappelle : il ne faut pas stigmatiser les adolescents, qui détectent de mieux en mieux les *fake news* en grandissant. D'autant qu'ils ne les repartagent pas forcément – au contraire, par exemple, des personnes âgées. Une étude⁹ a révélé que, lors de la campagne présidentielle de 2016 aux États-Unis, les plus de 65 ans partageaient en moyenne 7 fois plus de *fake news* sur Facebook que les 18-29 ans ! ¹¹

8. Ce point est l'objet d'une thèse de Maria Ghazi au LaPsyDÉ. 9. doi.org/10.1126/sciadv.aau4586



« Les émotions façonnent nos sociétés capitalistes »

© FRÉDÉRIQUE PLUS/ CNRS IMAGES

SOCIÉTÉS

SOCIOLOGIE Et si l'espoir, la colère ou l'envie étaient les réels moteurs de nos vies collectives ? Spécialiste des émotions, la sociologue Eva Illouz explique la façon dont nos états d'âme ont envahi le débat public et politique dans les sociétés démocratiques.

PAR FABIEN TRÉCOURT

Dans votre dernier ouvrage, vous expliquez que les émotions sont devenues des réalités politiques à part entière. Comment une émotion, qui semble éminemment intime, peut-elle s'inviter dans nos sociétés démocratiques ?

Eva Illouz¹ Les émotions ne sont pas à l'intérieur de nous comme on serait à l'intérieur d'une chambre avec la porte fermée. Des forces sociales

comme le marché, la culture de masse, ou encore le régime politique de la démocratie modèlent notre intimité et s'y infiltrent. Elles influencent en retour l'expérience et l'expression de nos émotions dans l'espace public.

L'espoir, cette émotion cardinale de la modernité, est un bon exemple de la façon dont les émotions façonnent

► La sociologue Eva Illouz.

nos démocraties capitalistes. Il irrigue toute l'économie, puisqu'on ne met pas d'argent en jeu sans espérer un retour sur investissement. De même en politique : en démocratie, on ne vote pas pour un parti sans un espoir même minimum de changement.

Sur un plan plus individuel, l'espoir structure l'idéal méritocratique – soit l'idée qu'en suivant les règles du jeu social, on finira par être récompensé, on accèdera à une vie meilleure, à une reconnaissance sociale et à une vie de famille heureuse... C'est une émotion à la croisée du

1. Sociologue au Centre européen de sociologie et de science politique (CESSP, unité CNRS/EHESS/Univ. Panthéon-Sorbonne).

En quoi les réseaux sociaux ont-ils accentué le rôle des émotions dans la sphère publique et politique ?

E. I. Les réseaux sociaux agissent comme des catalyseurs. Ils démultiplient l'intensité et la vitesse de diffusion des affects dans l'espace public. Des études sur X (ex-Twitter) ont d'ailleurs montré qu'un post exprimant une émotion a 20 % de chances en plus d'être partagé, surtout lorsque celle-ci est négative, parce qu'elle génère davantage d'engagement qu'une analyse froide ou mesurée.

L'indignation, la colère et la révolte circulent à travers les réseaux sociaux comme un virus contagieux. C'est ce que l'on pourrait appeler un effet de duplication émotionnelle.

La montée en puissance des émotions dans la sphère publique contribue-t-elle à brouiller notre rapport au réel ?

E. I. Ce n'est pas tant que les faits n'existent plus. Simplement, ils sont en concurrence avec les réactions émotionnelles qu'ils suscitent. Une colère ou une peur suffisamment fortes nous rendent indifférents aux données même les plus solides, car nous ne pensons plus qu'à nous défendre. Cette dynamique nourrit de puissants mécanismes de déni

collectif – soit notre capacité à savoir et à ne pas savoir en même temps, à bloquer ce qui dérange nos interprétations et à nous réfugier dans des récits protecteurs.

Par exemple, les théories du complot réorganisent notre compréhension du monde en fonction d'un schéma narratif où la peur et la haine d'un groupe jouent un rôle déterminant. Ces affects sont un noyau symbolique pouvant générer et fédérer des communautés. Nos affects ne se réduisent pas à des réactions individuelles, mais deviennent ainsi les vecteurs d'une construction sociale du réel – et, parfois, de sa distorsion.

Ces évolutions favorisent-elles l'essor de vérités alternatives ?

E. I. Je ne sais pas si on peut établir un lien de causalité. Lorsque deux phénomènes paraissent fortement liés, les sociologues préfèrent rester prudents et parler d'« affinité élective ». En l'occurrence, ce que l'on appelle des « faits alternatifs » sont des microrécits saturés d'émotions, construits pour déclencher une réaction affective.

Par exemple, lorsque Trump dit : « *Les migrants mangent des chats* » ou « *violent des femmes blanches* », l'enjeu n'est pas tant de mentir que de susciter une peur. De la même façon, en France, lorsque l'on parle de « grand

remplacement », le terrain est clairement celui des émotions : bien que cela ne corresponde pas à une réalité démographique, on active dans l'imaginaire collectif l'angoisse d'une disparition et d'une dépossession. Ces affirmations ne visent pas tant à informer qu'à nous submerger et à inhiber notre pensée.

Comment, alors, affronter le « malaise dans nos vies intérieures », dont vous faites le diagnostic ?

E. I. En reconnaissant déjà qu'il y a des raisons objectives au malaise. Nous n'avons jamais autant vécu dans des conditions culturelles, politiques et psychiques qui créent de l'attente. Tout, ou presque, est devenu espoir, plan, ambition, rêve, même à l'échelle la plus modeste. La majeure partie de ces attentes seront déçues. Il faut donc changer les conditions de cet attentisme vide. Identifier ce qui, dans nos déceptions, relève d'une souffrance collective.

Nous devons opérer un déplacement : sortir de nous-mêmes et de l'introspection, cesser de surinvestir nos émotions comme s'il s'agissait de la seule vérité possible. Autrement dit, il faut nous « dénarcissiser » pour réinvestir l'espace public et partagé.

C'est ce qu'a fait le mouvement féministe de ces dernières années : donner un nom à un mal-être diffus, nommer des émotions qui étaient refoulées, partager cette prise de conscience avec d'autres, en faire un nouveau récit, générer des formes de solidarité, pour finalement se détacher des émotions et engager une lutte sur le terrain juridique.

Une grande partie de notre mal-être vient du fait que nous ne voyons pas – ou refusons de voir – les forces sociales qui nous traversent. **II**

▲ Image générée par intelligence artificielle et brandie par un partisan de Donald Trump après que celui-ci avait affirmé que « *les migrants mangent des chats* », lors de la campagne présidentielle américaine de 2024.



© REBECCA NOBLE / AFP

+
À lire



Retrouvez cet entretien dans son intégralité sur lejournalcnrs.fr



de Denis Guthleben,
directeur du Musée Curie

L'ingénierie au CNRS, pourquoi pas ?

“ Le CNRS les a baptisées tantôt « sciences de l'ingénieur », tantôt « sciences de l'ingénierie », et même, depuis quelque temps, « ingénierie », tout simplement. Longtemps, il ne les a même pas nommées, tout en leur apportant son soutien.

Mais, depuis 50 ans, elles ont pignon sur rue dans notre établissement, où un département de « sciences physiques pour l'ingénieur » – oui, elles ont porté ce nom-là aussi – a vu le jour en 1975, ancêtre de CNRS-Ingénierie. Retour sur la reconnaissance d'un vaste domaine qui a bougé des lignes scientifiques et... psychologiques !

Le plus vieux métier du monde ?

En 1872, alors que le CNRS n'était même pas encore une étincelle dans le regard bleu de Jean Perrin, Pierre Larousse écrivait dans son *Grand Dictionnaire* que « la profession d'ingénieur remonte à la plus haute antiquité, ainsi que le prouvent les travaux gigantesques exécutés en Chine, dans l'Inde, en Égypte, chez les Grecs et les Romains ». D'autres auteurs, plus téméraires, n'ont pas hésité à repousser ses origines bien plus loin, jusqu'à la conception des premiers outils – soit, aux dernières nouvelles, il y a quelque 3,3 millions d'années.

Le métier d'ingénieur serait-il donc, contrairement à un adage familier, le plus vieux du monde ? Toujours est-il que ses liens avec la science ne sont pas récents non plus, à commencer par les mathématiques depuis l'ancienne Mésopotamie. Mais, de là à en faire un champ de recherche à part entière, il y a un pas !

□ Les sciences de l'ingénieur
revendiquent leur mission de
répondre □ des besoins exprimés
par le secteur productif □ □

Le CNRS l'a franchi dès 1939, en nouant par exemple des liens avec l'Institut de mécanique des fluides, fondé à Toulouse 25 ans plus tôt, ou en inaugurant à Marseille en 1940 un centre de recherches qui préfigurait l'actuel Laboratoire de mécanique et d'acoustique. D'autres

créations se sont succédé au fil des décennies, jusqu'à celle, en 1968, du Laboratoire d'automatique et de ses applications spatiales – aujourd'hui Laboratoire d'analyse et d'architecture des systèmes. Son premier directeur, le physicien Jean Lagasse, est le fer de lance de la consécration institutionnelle de l'ingénierie au CNRS, sept ans plus tard. Mais celle-ci n'est pas tombée du ciel.

« Sciences de transfert »

Pour y parvenir, il a fallu jouer des coudes entre les disciplines historiques du CNRS (à commencer par la physique, dont le directeur, Robert Chabbal, a heureusement apporté son soutien à l'opération). Convaincre les responsables de laboratoires de donner leur bénédiction à une aventure qui aurait très bien pu faire pschitt ! Répondre aux critiques qui, jusqu'au sommet du CNRS, voyaient dans la formule même de « sciences de l'ingénieur » un épouvantable oxymore. Et constituer une *task force* qui s'est démenée, autour de Jean Lagasse, pour arriver à des recommandations dont la lecture reste captivante un demi-siècle plus tard.

Présentées comme des « sciences de transfert » (parmi lesquelles l'optique, l'électronique, la physique des plasmas, la thermodynamique, ou encore l'informatique et l'automatique ont été identifiées dès 1975 comme prioritaires), les sciences de l'ingénieur revendiquent leur mission de répondre à des « besoins exprimés par le secteur productif ». Elles assument donc de se démarquer de l'esprit cher à Jean Perrin de « recherche pure et désintéressée » qui avait présidé à la naissance du CNRS, en portant un questionnement différent sur leurs objets d'étude.

En physique, en chimie, en biologie, et même en histoire ou en sociologie, les chercheuses et chercheurs se demandent « pourquoi ? » (pourquoi les atomes, les gènes ou les sociétés d'hier et d'aujourd'hui se comportent-ils de la sorte ?). Tandis que leurs collègues en ingénierie se déclarent guidés par un « pourquoi pas ? », qui s'exprime dans la même liberté créatrice et les pousse à développer des travaux tout aussi fondamentaux afin de satisfaire des attentes non seulement économiques, mais aussi écologiques, culturelles, médicales, éthiques... La liste est longue !

Depuis 50 ans, le parcours de l'ingénierie au CNRS n'a pas été qu'un long fleuve tranquille. Mais nos collègues qui célèbrent leur jubilé perpétuent la détermination, l'exigence et les singularités défendues par leurs devanciers. Ils restent ainsi fidèles à la devise de l'une de leurs grandes figures tutélaires, Léonard de Vinci : « *Ostinato Rigore* » ! ||



FONDATION 

Donnons à la recherche
les moyens de ses ambitions.

SOUTENEZ-NOUS

Site web : fondation-cnrs.org

Par courrier à la Fondation CNRS : 3, rue Michel-Ange - 75016 Paris

CONTACTS

Téléphone : 01 44 96 44 49

E-mail : contact@fondation-cnrs.org

CARNETS DE SCIENCE

La revue du CNRS

#18 actuellement
en vente
en librairie et Relay
200 pages / 14 €



Entrez dans
les coulisses
de la recherche



CNRS ÉDITIONS

www.carnetsdescience-larevue.fr