

Trimestriel n° 304
MAI 2021

CNRS

LE JOURNAL



**Fariba Adelkhah,
le combat
pour la liberté**

**Notre-Dame
de Paris livre
ses secrets**

**Le blob à la
conquête de
l'espace**

**Entre science
et géopolitique, les
enjeux des pôles**

SOUTENEZ LA RECHERCHE

FAITES UN DON À LA FONDATION CNRS



© Frédérique Plas/CNRS Photothèque

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

fondation-cnrs.org 

Rédaction :

3, rue Michel-Ange – 75794 Paris Cedex 16

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

Antoine Petit

Directrice de la rédaction :

Sophie Chevallon

Directeur adjoint de la rédaction :

Fabrice Impériali

Rédacteur en chef :

Mathieu Ravaut

Rédactrice en chef adjointe :

Charline Zeitoun

Chefs de rubrique :

Laure Cailloce, Saman Musacchio, Yaroslav Pigenet

Rédactrices :

Sophie Félix, Laurence Stenvot

Ont participé à ce numéro :

Julien Bourdet, Anne-Sophie Boutaud, Sebastián Escalón, Grégory Fléchet, Cyril Fréssillon, Mathieu Grousson, Denis Guthleben, Martin Koppe, Matthias Somm, Philippe Testard-Vaillant

Secrétaire de rédaction :

Émilie Silvoz

Direction artistique :

David Faure

Iconographes :

Anne-Emmanuelle Héry, Katherine Kay-Mouat,

Marie Mabrouk

Gestionnaire :

Mathieu Chatellier

Assistant de direction :

Frédéric Roman

Illustrations :

Stephanie F. Scholz / Colagene

Impression :

Groupe Morault, Imprimerie de Compiègne

2, avenue Berthelot – Zac de Mercières

BP 60524 – 60205 Compiègne Cedex

ISSN 2261-6446

Dépôt légal : à parution

Photos CNRS disponibles à : phototheque@cnrs.fr ;<http://phototheque.cnrs.fr>

La reproduction intégrale ou partielle des textes et des illustrations doit faire obligatoirement l'objet d'une demande auprès de la rédaction.

En couverture :

Lâcher de ballon météo par Lorenzo Moggiore, base Concordia, Antarctique. © THIBAUT VERGOZ/ZEPPIN NETWORK

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

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

Suivez l'actualité de la recherche avec le CNRS



“Malgré la crise sanitaire, nos collaborations internationales ont continué de se développer.”

Si nous commençons à voir l'horizon s'éclaircir, la crise sanitaire que nous traversons depuis plus d'un an nous a impactés, dans tous nos échanges, notamment internationaux. Et pourtant, les collaborations se sont poursuivies, développées, de nouvelles ont même été lancées grâce aux efforts et la volonté de tous et toutes de maintenir une activité de recherche au meilleur niveau. Ce numéro en offre un aperçu.

Ainsi, nous avons renforcé notre stratégie internationale avec l'inauguration de notre premier « International Research Center » avec l'université d'Arizona. Un tel centre traduit l'existence de relations scientifiques nombreuses, riches et s'inscrivant dans la durée, et la volonté partagée de conduire un dialogue stratégique ambitieux régulier.

Vous découvrirez aussi la préparation de notre Plan Afrique qui sera présenté en Conseil d'administration d'ici la fin de l'année. Notre ambition est de co-construire des collaborations scientifiques avec l'ensemble des pays africains. La première

étape a déjà été lancée en décembre avec un appel à projet qui a reçu plus de 220 réponses, preuve du formidable potentiel de coopérations existant.

Nous avons également décidé d'ouvrir un neuvième bureau à l'étranger, en Australie, à Melbourne. Notre objectif est de travailler davantage avec les pays et les territoires de la région, comme l'illustre la création, en février, du nouveau laboratoire international Crossing – avec Naval Group, l'IMT Atlantique, les universités d'Adélaïde, d'Australie du Sud et de Flinders –, consacré à la collaboration efficace et éthique entre les humains, l'intelligence artificielle et les systèmes autonomes.

Enfin, pour parler de science au grand public, le CNRS sera présent dans le Pavillon français de l'Exposition universelle de Dubaï, d'octobre 2021 à mars 2022. Nous avons choisi l'Antarctique, ce continent consacré, depuis 1959 et la signature du Traité sur l'Antarctique, à la science et la coopération internationale... une manière de « connecter les esprits », le thème de l'exposition ! L'Antarctique est un territoire unique pour la recherche, une fenêtre exceptionnelle pour observer notre planète en pleine mutation, et notamment sa biodiversité. Il est aussi un des premiers témoins des conséquences du réchauffement climatique.

Vous le constaterez, la crise sanitaire n'a pas empêché nos coopérations internationales de se développer. Nous devons nous réjouir et nous féliciter de ce dynamisme, de cette envie de poursuivre ces indispensables collaborations entre chercheurs et chercheuses du monde entier. Elles augurent de nouvelles avancées des connaissances, de nouvelles applications, et auront inévitablement des impacts importants sur la société.

Antoine Petit,
président-directeur général du CNRS



FRÉDÉRIQUE PIAS/CNRS PHOTOTHÈQUE

GRAND FORMAT

13

Les pôles, si loin, si proches	14
Notre-Dame de Paris livre ses secrets	28
La recherche à l'assaut du modèle standard	34

© BRUNO JOURDAN/PIRELLA GÖTTSCHE LOWE/CHNS PHOTOHÈRE



© SYLVAIN HOUËLICHE / SCIENCES PO

EN PERSONNE 5

Fariba Adelkhah, un combat pour la liberté	6
Les virtuoses de l'innovation	10
Brèves	12



© CHRIS DE BODE/CGAP/PAUCOS-REA

EN ACTION 41

Le blob à la conquête de l'espace	42
L'Afrique, un partenaire d'avenir pour le CNRS	44
L'aération : une arme fatale contre le Covid-19 ?	46
Fukushima : les leçons d'une décontamination	48
Le CNRS à l'appui des entreprises	50
Quand les enfants rescapés racontaient le génocide des Tutsi	52



© J.B. BASEDOW, ELEMENTARWIRK FÜR DIE JUGEND UND IHRE FREIHEIT, BERLIN ET DESAULT 1774 PL. XXVII / AGG. IMAGES

LES IDÉES 55

Abolition de la peine de mort : une histoire capitale	56
Covid-19 : vacciné, peut-on s'infecter et transmettre le virus ?	60
Entre transparence et confidentialité, les défis du vote électronique	62

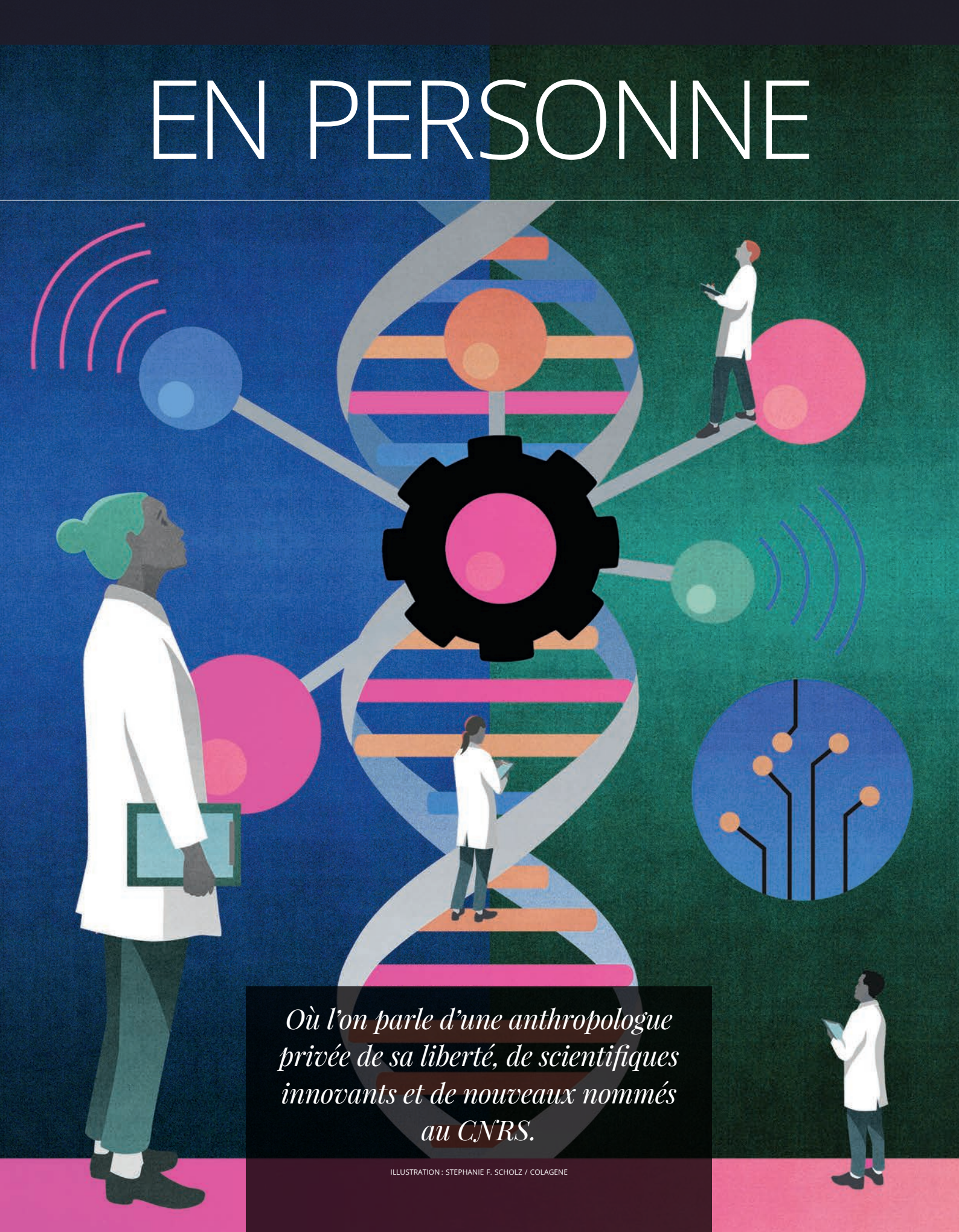
CARNET DE BORD

Jean-Christophe Valière nous raconte un souvenir de recherche .. 64

LA CHRONIQUE

Contre le sida, la lutte continue

EN PERSONNE



*Où l'on parle d'une anthropologie
privée de sa liberté, de scientifiques
innovants et de nouveaux nommés
au CNRS.*

ILLUSTRATION : STEPHANIE F. SCHOLZ / COLAGENE

Fariba Adelkhah, un combat pour la liberté

PAR PHILIPPE TESTARD-VAILLANT

PORTRAIT Arrêtée il y a deux ans à Téhéran, condamnée à cinq ans de détention, l'anthropologue franco-iranienne est sortie de prison mais reste assignée à résidence. Elle vient de recevoir le prix Irène Joliot-Curie « Femme scientifique de l'année ».

Demandez à celles et ceux qui la connaissent le mieux – collègues, étudiants, amis – de broser en quelques touches la personnalité de Fariba Adelkhah, condamnée le 16 mai 2020 à cinq ans de prison pour « collusion en vue d'attenter à la sécurité nationale » iranienne, et à un an pour « propagande contre la République islamique ». Les formules de respect, d'affection, d'admiration, fusent aussitôt pour décrire une grande professionnelle de la recherche en sciences sociales qui a été honorée en décembre dernier par le prix Irène Joliot-Curie « Femme scientifique de l'année ».

► **Rassemblement à Paris devant Sciences Po pour réclamer la libération de Fariba Adelkhah et Roland Marchal, le 3 mars 2020.**

« Iranienne jusqu'au bout des ongles mais éprouvant un vrai amour pour la France et sa culture, très curieuse, opiniâtre et parvenant toujours à remonter la pente même quand elle est dans le bas du bas », confie son compagnon Roland Marchal. « Extrêmement originale, donc inspirante, lumineuse, généreuse, travailleuse, dotée d'un sens prononcé de l'humour et de l'autodérision mais prenant au sérieux, ô combien ! son métier de chercheuse », glisse Béatrice Hibou, sa collègue au Centre de recherches internationales de Sciences Po (Ceri) ¹ et grande amie. « Une personnalité d'une intégrité et d'une indépendance d'esprit absolues, prête à mourir en lionne au moment de sa grève de la faim fin 2019, pour protester contre son incarcération, défendre sa liberté, son métier et sa dignité », ajoute Jean-François Bayart, professeur à l'Institut de hautes études internationales et du développement, à Genève, et l'un des piliers de son comité de soutien ².

Privée de liberté depuis deux ans

L'anthropologue franco-iranienne, en poste au Ceri, a été arrêtée le 5 juin 2019 par les Gardiens de la Révolution, l'armée idéologique du régime, à l'aéroport de Téhéran, avec Roland Marchal, lui aussi en poste au Ceri et venu la rejoindre pour une visite privée. Tous deux ont été détenus à la prison d'Evin, avant que Roland Marchal ne soit libéré en mars 2020. Sortie elle aussi de prison pour raison sanitaire le 3 octobre 2020, après un procès kafkaïen et une grève de la faim de 49 jours, la chercheuse est aujourd'hui encore assignée à résidence.

« Le CNRS condamne avec la plus grande fermeté la privation de libertés qui affecte encore aujourd'hui Fariba Adelkhah, anthropologue talentueuse et engagée, affirme



© SYLVANE HOUELCHE / SCIENCES PO

1. Unité CNRS/Sciences Po Paris. 2. <https://faribaroland.hypotheses.org> 3. L'Iran cherche à échanger des prisonniers occidentaux avec des prisonniers iraniens, que ceux-ci soient détenus en France, en Belgique, en Allemagne...



► Un portrait de la chercheuse pris en 2012.

retrouver sa liberté en Iran. Elle serait évidemment très heureuse de revenir en France, mais pas avant d'avoir été lavée des accusations dont elle est victime ni d'avoir obtenu la garantie de pouvoir retourner en Iran quand elle le souhaite. »

Cette soif de liberté, de savoir, d'émancipation, Fariba Adelkhah, née à Téhéran en 1959 dans une famille de la petite classe moyenne originaire du Khorassan (nord-est de l'Iran), la manifeste en quittant l'Iran jeune bachelière pour aller étudier en France grâce au soutien de son père, modeste fonctionnaire très pieux et très lettré qui a financé les études de sa fille quitte à ne pas pouvoir effectuer son pèlerinage à La Mecque.

Inspirée par Simone de Beauvoir

« La lecture – dans une traduction en farsi – du Deuxième sexe de Simone de Beauvoir explique pour partie son choix d'entamer des études de sociologie à l'université de Strasbourg, à l'automne 1977, pense Jean-François Bayart. Ce livre a été pour elle une révélation. De même, comme la plupart des étudiants de sa génération, elle a été très marquée par l'exigence de vérité et de justice présente dans les écrits du philosophe islamique Ali Shari'ati qui avait fait lui-même ses études en France dans les années 1960 et qui est l'un des principaux inspirateurs de la révolution iranienne de 1979, avant que la République islamique ne le voue aux gémonies. »

Entrée à l'École des hautes études en sciences sociales (EHESS) en 1984, Fariba Adelkhah y soutient une thèse de doctorat en 1990, thèse parue l'année suivante sous le titre *La Révolution sous le voile : femmes islamiques d'Iran* (Éd. Karthala, 1991). Son idée-force, étayée par des entretiens avec plusieurs dizaines de femmes ayant adhéré à la Révolution au nom de valeurs religieuses : montrer comment celles-ci se sont approprié le voile (*hejâb*) pour s'arracher à leur rôle traditionnel et sortir dans la rue, s'affirmer dans l'espace public, faire irruption sur la scène politique. *« Cette catégorie très particulière de femmes révolutionnaires incarnait à sa manière une forme de féminisme islamique, commente Jean-François Bayart.*

Antoine Petit, président-directeur général du CNRS. Son emprisonnement arbitraire, sa condamnation puis cette assignation à résidence constituent une grave atteinte à la libre circulation indispensable à l'exercice de la recherche. Cela a trop duré. »

C'est avec un bracelet électronique à la cheville que la chercheuse a regagné son domicile dans le centre nord de Téhéran. Restant condamnée à la même peine et sans possibilité de contact hormis avec sa famille et quelques proches, *« Fariba est visitée tous les jours par la police et elle a interdiction de se déplacer à plus de 300 mètres de chez elle, sauf autorisation exceptionnelle pour se rendre par exemple à l'hôpital ou sur la tombe de ses parents »,* précise Roland Marchal. Son moral ? Fluctuant, sans surprise. *« Il y a des hauts et des très bas, d'autant que son ordinateur et la plupart de ses documents de travail lui ont été confisqués. Comme les autorités iraniennes ne reconnaissent pas la double nationalité, elle ne sera pas échangée contre un Iranien détenu en France ou en Belgique ³. Elle-même, pour l'instant, ne désire pas quitter son pays d'origine. Elle veut*

© THOMAS ARREVESENCES P/O/APF

Fariba Adelhkhah connaît de l'intérieur la religiosité de son pays natal, elle est l'une des premières à avoir parlé du voile en Iran en tant que moyen d'"accès à la vie sociale". Alors qu'en Occident, la façon dont le voile a permis à des Iraniennes de s'affirmer et de jouer un rôle politique a parfois été mal compris. »

L'identité iranienne scrutée à la loupe

Au fil des années, bien d'autres problématiques centrées sur les mutations de l'Iran postrévolutionnaire, impossible à comprendre à l'aune du seul islam et à réduire à un régime dictatorial monolithique, vont mobiliser son intérêt. Son deuxième essai, *Être moderne en Iran* (Éd. Karthala, 2006), décortique les rouages complexes d'une société d'où la religion est loin de disparaître mais qui endosse certains habits de la modernité (développement de l'individualité, y compris des femmes, diffusion de la civilisation matérielle, débat autour de la sexualité...).

Autre facette de l'identité iranienne scrutée à la loupe par Fariba Adelhkhah depuis le milieu des années 1990 et exposée dans son livre *Les Mille et une frontières de l'Iran. Quand les voyages forment la nation* (Éd. Karthala, 2012) : les relations de ce pays avec le reste du monde. Où l'on découvre comment « l'iranité » s'enracine dans une expérience pluriséculaire d'échanges avec l'extérieur, ce que démontre l'ouvrage à travers la figure de fidèles **chiites** iraniens se rendant sur les lieux saints de l'islam en Arabie saoudite, en Syrie, en Irak, etc. Ou via l'analyse de la diaspora iranienne en Californie, à Dubaï, au Japon, de la contrebande entre l'Iran, les pays du Golfe, la Turquie, le Pakistan, de la situation des millions d'Afghans réfugiés en Iran...

Plus récents mais non moins novateurs, les travaux conduits par Fariba Adelhkhah en Afghanistan lui ont permis d'ausculter, parfois à ses risques et périls, la circulation des clercs chiites entre Kaboul (Afghanistan), Qom (Iran) et Nadjaf (Irak), le sort réservé aux femmes hazaras

▲ Fariba Adelhkhah en tenue d'Afghane, anthropologue sur le terrain, à Bamyan (Afghanistan), vers 2016.

CHIITES

Adeptes du chiisme, courant minoritaire de l'islam, alors que le sunnisme, courant majoritaire, rassemble environ 85 % des musulmans.

▲ Sur le terrain en Iran, dans les environs de Yazd, en avril 2019 avec sa collègue Béatrice Hibou.



© DR/FARIBA ADELKHAH

(ethnie minoritaire chiite), la gestion des conflits fonciers par les Talibans... Qu'elle travaille sur l'évergétisme (don effectué par un particulier à la collectivité), la colombophilie (l'élevage de pigeons, une activité traditionnellement masculine) ou les évolutions du fiqh (droit islamique) en suivant des cours de théologie réservés d'ordinaire aux hommes, « *Fariba part toujours du terrain, du quotidien*, relève Béatrice Hibou. *C'est pour elle, qui excelle dans l'art d'écouter et d'éclairer ces "petits riens" si fréquents qu'ils finissent par passer inaperçus alors qu'ils révèlent des actions ou des phénomènes riches de significations, la partie la plus fascinante du travail de recherche.* »

Avant tout, « *Fariba a le souci d'appréhender les transformations de la société iranienne ou afghane sous l'angle des pratiques*, ajoute Jean-François Bayart. *Elle a ainsi montré qu'un pèlerinage est non seulement une expérience religieuse, mais comporte aussi des aspects extra-confessionnels, profanes, économiques...* ». Quant à ses qualités de plume, Fariba Adelhkhah possède un style « *extrêmement visuel*, relève Agnès Devictor, maître de conférences à l'université Paris 1 et spécialiste du cinéma iranien. *Son écriture alterne plans larges et gros plans. Ses observations, décrites avec une précision photographique et sans jargon, font ressentir de façon ultra-précise les enjeux économiques, politiques et sociaux d'une situation donnée.* »

Prisonnière scientifique

Intervenues sur fond de vives tensions entre Téhéran et les capitales occidentales, l'arrestation et la condamnation de Fariba Adelhkhah font de cette prisonnière scientifique « *la victime collatérale de la décision de Donald Trump, début mai 2018, de retirer les États-Unis de l'accord de 2015 sur le programme nucléaire iranien, et des méthodes d'une fraction*



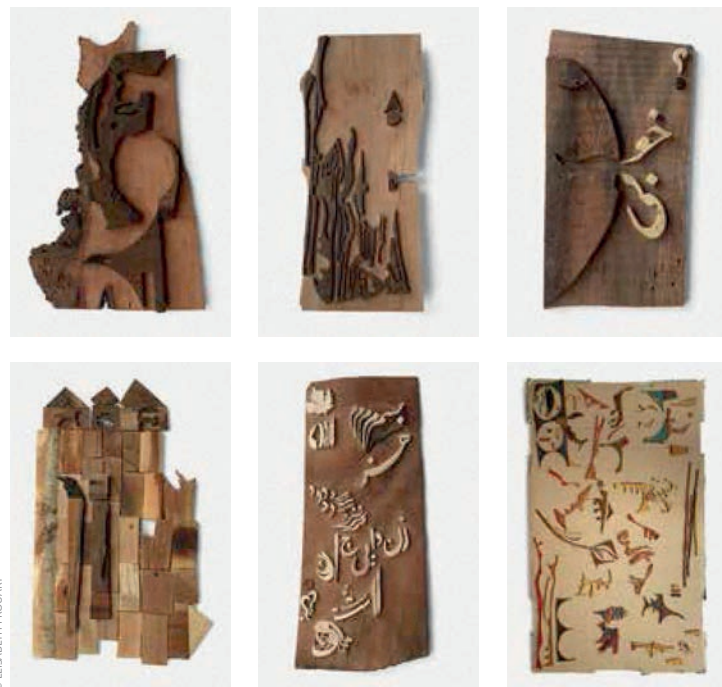
© JEAN-FRANÇOIS BAYART

“Elle a l’art d’éclairer ces “petits riens” qui révèlent des phénomènes riches de significations. ”

de l'establishment révolutionnaire de la République islamique opposée à tout rapprochement avec l'Occident et restée fidèle à son habitude de la prise d'otages, analyse Jean-François Bayart. Il se peut aussi que Fariba soit impliquée à son insu dans un règlement de comptes interne au régime et qu'elle ait été arrêtée sur ordre d'acteurs du système pour en embarrasser d'autres, un "jeu" sur lequel elle n'a aucune prise ». Ou serait-ce en tant que chercheuse que certains cercles du pouvoir la jugeraient menaçante ?

Un point, du moins, est sûr : travailler en Iran est chose de moins en moins simple pour les spécialistes de sciences sociales. « L'Iran est un terrain de recherche difficile d'accès, témoigne Agnès Devictor. Il est très compliqué d'obtenir un visa et des durées de séjour suffisantes alors qu'il faut disposer de temps pour comprendre des systèmes de vie politiques, économiques, sociaux, nécessaires à toute contextualisation de la recherche, même en histoire de l'art. Travailler uniquement avec des sources de deuxième main, c'est perdre le contact avec le réel. Le terrain long est indispensable, comme le sait mieux que personne Fariba. » Laquelle n'a cessé de défendre son métier et poursuit son

► Série de collages réalisés par Fariba Adelhah à la prison d'Evin.



© ELISABETH FROUJART

combat pour la liberté scientifique, même dans les pires conditions. « Fariba Adelhah incarne les exigences d'une recherche libre, pointe Béatrice Hibou. Comme elle l'écrit joliment, "la recherche est l'abreuvoir de la liberté". Son combat est celui de tous ceux qui défendent la possibilité de produire du savoir dans le respect de leurs droits les plus fondamentaux. »

« Ce que nous dit inlassablement Fariba depuis son arrestation, c'est qu'il ne faut rien céder sur ce qui constitue le cœur de notre travail, c'est-à-dire la liberté de la recherche, renchérit Sandrine Revet, elle aussi membre du Ceri et l'une des initiatrices du numéro 90 de la revue *Critique Internationale* qui rend hommage aux travaux, au courage et à l'engagement de l'anthropologue. À travers des enquêtes de terrain parfois difficiles, Fariba revendique toujours la même posture : "Je ne fais pas de politique, je ne suis pas une militante, je fais de la science et, à ce titre, je dois pouvoir observer toutes les pratiques sociales d'une culture donnée". »

L'indispensable liberté de la recherche

Que de nombreux États autoritaires craignent aujourd'hui la menace que peut représenter la vérité scientifique, François-Joseph Ruggiu, directeur de l'Institut des sciences humaines et sociales du CNRS, le constate et le déplore lui aussi. « Les libertés de pensée, d'expression, voire de circulation des scientifiques, et avec eux de beaucoup de citoyens, sont remises en question, observe-t-il. C'est le cas en Iran mais aussi, entre autres, en Turquie d'où de nombreux universitaires ont été contraints de s'exiler. Même au cœur de l'Europe, il est indispensable d'offrir aux chercheuses et chercheurs la possibilité d'exercer leurs activités d'enquête, de réflexion et de diffusion de leurs résultats, dans des conditions de parfaite indépendance et de sérénité. C'est pour cette raison que le CNRS, qui soutient en la personne de Fariba Adelhah une anthropologue et une chercheuse exemplaire, a voulu, avec ses partenaires du réseau du G6 qui réunit les principales organisations de la recherche européenne⁴ et représente 135 000 professionnels, réaffirmer solennellement l'importance fondamentale du principe de liberté de la recherche. Je tiens aussi à rendre hommage au travail considérable de Sciences Po qui agit sans relâche pour qu'elle ne soit pas oubliée. »

L'anthropologue parle d'elle-même comme une « Iranienne aimant vivre en France pour des raisons affectives et professionnelles ». « Fille du désert », elle s'adonne aussi à la traduction de poésies françaises depuis une dizaine d'années⁵. Cela fait maintenant plus de 700 jours qu'elle est injustement privée de sa liberté. II

À lire

- *La Liberté académique. Enjeux et menaces*, Vanessa Frangville, Aude Merlin, Jihane Sfeir et Pierre-Étienne Vandamme (dir.), Éditions de la MSH, 2021.

- « Écrits d'avant prison. Pour la libération de Fariba Adelhah », *Critique internationale*, n° 90, Presses de Science Po, 2021/1.

4. CNR, CNRS, CSIC, Helmholtz Association, Leibniz Association et Max Planck Society.

5. Traductions à retrouver sur le site www.akhbar-rooz.com.

ÉVÉNEMENT

Voici les quatre lauréats de la médaille de l'innovation du CNRS 2021, distinction créée il y a dix ans pour honorer des personnalités dont les recherches ont conduit à des innovations marquantes, valorisant la recherche scientifique française.

PAR MATHIEU GROUSSON

Aux avant-postes du développement d'une chimie durable dont l'utilisation de la biomasse représente l'un des axes essentiels,

François Jérôme, directeur de recherche CNRS à l'Institut de chimie des milieux et matériaux de Poitiers¹, a pour moteur *« l'exploration, associée à la possibilité que mes travaux aident à résoudre des problématiques sociétales importantes. »*

Ses travaux sont fondés sur l'utilisation d'agents physiques (champs électriques, ondes de choc, ondes ultrasonores) pour déclencher des réactions de transformation du sucre d'origine végétale en produits chimiques : tensio-actifs, solvants, monomères... évitant ainsi le recours à une activation chimique. Afin d'accélérer la mise sur le marché de produits innovants, François Jérôme collabore notamment avec le groupe Solvay. Depuis 2019, son équipe est d'ailleurs devenue le laboratoire « miroir » de l'unité mixte internationale phare CNRS-Solvay sur la catalyse, située à Shanghai. Comme il l'explique, *« l'essor d'une chimie durable passe par la construction de liens étroits entre les scientifiques, les industriels et la société. »* Pour y contribuer davantage, le chercheur a créé la fédération de recherche CNRS Incease, qui réunit huit laboratoires et de nombreux industriels. Il est aussi à l'initiative de l'International symposium on green chemistry, congrès de référence de la chimie verte. De quoi aider à faire de la chimie verte une réalité qui profite à tous.

1. Unité CNRS/Université de Poitiers.

François Jérôme

LA CATALYSE AU DÉFI
DE LA CHIMIE DURABLE



© YVES ALMEJAC/CNRS PHOTOTHÈQUE

Directrice de recherche CNRS à l'Institut Néel du CNRS, Nora Dempsey a une passion, le magnétisme.

Et une boussole : *« le fait que mes recherches aident à résoudre des problématiques à fort impact sociétal »*, explique cette Irlandaise recrutée au CNRS en 2001. Depuis, elle a acquis une renommée internationale en développant des procédés de synthèse de micro-aimants haute performance, dont elle contrôle la structure magnétique à différentes échelles. Des travaux qui ont amené la physicienne à collaborer avec plusieurs industriels dont Toyota, où ses réalisations servent à améliorer les performances d'aimants utilisés pour la motorisation de véhicules hybrides. En parallèle, celle qui met en avant *« le travail d'équipe, l'environnement scientifique extra-*



© CHRISTIAN MOREL/CNRS PHOTOTHÈQUE

Nora Dempsey

DES MICRO-AIMANTS
PLEIN DE PROMESSES

ordinaire et le support technique irremplaçable dont j'ai bénéficié au laboratoire», a participé à la maturation de la start-up Magia Diagnostics, qui exploite désormais deux de ses brevets pour des applications dans le domaine du diagnostic médical. Nora Dempsey a également contribué au développement d'un dispositif de caractérisation magnétique, lui aussi breveté. Actuellement, elle mène le projet de maturation MicroMag-Fab, dédié à l'intégration de micro-aimants dans des micro-systèmes de type moteur, actionneur ou récupérateur d'énergie. Preuve qu'en matière de valorisation, la spécialiste des aimants emprunte toutes les directions possibles.

de l'innovation



© FRÉDÉRIQUE PLACONS PHOTOTHÈQUE

Amanda Silva Brun

DES THÉRAPIES INNOVANTES
À BASE DE VÉSICULES

« **Mon objectif est de développer en équipe des thérapies innovantes à partir des vésicules extracellulaires et de comprendre les mécanismes associés** », résume Amanda Silva Brun, docteure en pharmacie et en biologie, chargée de recherche au CNRS au laboratoire Matière et systèmes complexes¹. Son activité de recherche s'étend de la conception de technologies de production et d'ingénierie des vésicules extracellulaires (VEs) à leurs applications pour la médecine régénérative et la délivrance de principes actifs. À partir de 2016, elle travaille sur le développement d'une technologie pour produire en masse ces « parti-



© CNRS PHOTOTHÈQUE

Antoine Aiello

L'INGÉNIERIE ÉCOLOGIQUE
AU SERVICE DE LA MER

cules cellulaires » naturellement émises par les cellules, en stimulant leur libération via un flux turbulent. En parallèle, elle travaille à la mise au point d'un traitement des fistules digestives (des communications anormales entre deux organes par exemple), permettant de retenir les VEs dans la fistule grâce à un gel. Afin de valoriser ces innovations, la jeune femme et ses collaborateurs cofondent en 2019 et 2020 les deux start-up EverZom, dédiée à la production des vésicules, et Evora, autour du traitement des fistules et qui est à la recherche d'investisseurs avec en ligne de mire la préparation d'essais cliniques sur l'humain. Lauréate de l'ERC en 2020, Amanda Silva Brun entend poursuivre ses recherches, aussi sur les aspects mécanistiques.

1. Unité CNRS/Université de Paris.

Issu d'une famille de pêcheurs, chercheur en modélisations et simulations comportementales des systèmes complexes, président de l'université de Corse... et désormais directeur de la plateforme Stella Mare¹ qu'il a créée, Antoine Aiello a, comme il le dit lui-même, un « *profil atypique* » et « *transforme la recherche en*

richesses afin de répondre à des questions socialement vives ». Dédiée à l'ingénierie écologique marine et littorale, l'objectif de Stella Mare, labellisée par le CNRS en 2011, est de parvenir à une gestion intégrée des ressources

halieutiques. De quoi « *agir sur le maintien des stocks, restaurer les environnements ou encore bénéficier des apports écosystémiques d'une espèce* », explique le scientifique. Un exemple : l'huître plate, que les ostréiculteurs corses ne parvenaient pas à cultiver, compte désormais 500 000 individus dans l'étang de Diana et il est prévu de passer à quelques millions l'année prochaine. Installées dans le port de Bastia, ces mêmes huîtres sont capables de « *bio-épurer* » l'équivalent du volume d'eau du port en une semaine ! Comme le résume Antoine Aiello, « *il y a dix ans, Stella Mare était une utopie, aujourd'hui nous démontrons par l'innovation que nous pouvons transformer le réel, et être à l'origine de la création d'une bio économie bleue en Méditerranée.* »

1. Unité CNRS/Université de Corse Pasquale Paoli.

Christelle Roy à la tête de la Derci

Christelle Roy a été nommée directrice Europe de la recherche et coopération internationale du CNRS, le 17 mai. Elle était depuis novembre 2020 chargée de mission Europe auprès du directeur général délégué à la science du CNRS. Directrice de recherche au CNRS, spécialiste de physique subatomique, directrice de l'Institut pluridisciplinaire Hubert Curien à Strasbourg de 2011 à 2017, elle a ensuite été vice-présidente Stratégies et Développements de l'université de Strasbourg pour laquelle elle a, entre autres, porté le projet d'Alliance d'universités européennes EPICUR puis en a assuré la coordination stratégique. Elle succède à la Derci à Patrick Nédellec, nommé délégué aux affaires européennes et internationales (DAEI) au sein du ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation.



© CIRIL FRÉJILLON / CNRS PHOTO THÈQUE

Les Talents 2021 du CNRS

En 2021, le CNRS attribue 20 médailles d'argent à des scientifiques reconnus pour leurs travaux sur le plan national et international. 46 chercheuses et chercheurs se voient récompensés par la médaille de bronze pour les encourager à poursuivre leurs recherches bien engagées et déjà fécondes. La médaille de cristal distingue cette année 26 lauréats, personnels d'appui à la recherche, pour leur contribution à l'avancée de la recherche. Notons que cette année, le CNRS décernera une nouvelle médaille pour valoriser la médiation scientifique, qui sera remise par la ministre Frédérique Vidal pendant la Fête de la science, entre le 1^{er} et le 11 octobre.

Découvrez tous les lauréats sur www.cnrs.fr/talent/index

Un nouveau directeur pour les systèmes d'information du CNRS

Le 15 mars dernier, Philippe Bénézech a été nommé directeur des systèmes d'information (DSI) du CNRS. Ingénieur diplômé de Centrale Paris, il a commencé sa carrière en 1989 au sein de l'entreprise Unilog avant de rejoindre, en 1995, Christian Dior Couture. Il entre dans le groupe GrandVision en 1999, et devient en 2010 DSI de la filiale GrandVision France regroupant les enseignes GrandOptical, Générale d'Optique et Solaris. Il succède à Jean-Marc Voltini qui occupait ces fonctions depuis 2009.

Philippe
Bénézech

14

C'est le nombre de bourses ERC « Advanced » 2020 qui vont financer des projets dont le CNRS est hôte. Au total, l'appel « ERC Advanced grant 2020 », qui vise des chercheurs confirmés, financera cette année 209 chercheurs et chercheuses avec ces bourses pour un montant de 507 millions d'euros. Avec 14 lauréats, le CNRS est la première institution hôte à l'échelle européenne devant deux universités britanniques, Cambridge (12 projets) et Bristol (6 projets).

Sébastien
Turci

© D.R.

NOMINATIONS

Plusieurs nominations ont également eu lieu ces dernières semaines. Ainsi, Marie-Hélène Papillon, chargée de mission auprès du directeur général délégué aux ressources (DGDR) du CNRS, a été nommée déléguée régionale de la délégation Île-de-France Villejuif à compter du 15 mars. De même, Sébastien Turci est nommé directeur délégué aux achats et à l'innovation (DDAI) du CNRS à compter du 26 avril.



© LAURENT LECERF/CNRS

Marie-
Hélène
Papillon

GRAND FORMAT

The background of the entire page is a stylized, geometric illustration of Notre-Dame de Paris. The cathedral is rendered in a low-poly, faceted style using various shades of blue, purple, and white. It is set against a dark blue night sky filled with stars, planets, and nebulae. The title 'GRAND FORMAT' is written in a large, white, sans-serif font at the top.

*Découvrez les pôles, territoires
aux mille enjeux, pénétrez le chantier
de Notre-Dame et défiez
le modèle standard avec les physiciens.*

ILLUSTRATION : STEPHANIE F. SCHOLZ / COLAGENE

Les pôles si loin, si proches

Manchot Adélie (*Pygoscelis adeliae*), en Antarctique.

TERRE



SOCIÉTÉS



Pôle Nord, pôle Sud. Arctique, Antarctique... Sous la double influence des bouleversements climatiques et de la mondialisation, les pôles changent. Vite. Pollution, tourisme, développement économique, menaces sur les écosystèmes, mobilisent les chercheurs, toutes disciplines confondues. Hauts lieux de la coopération scientifique, carrefours de nombreux enjeux diplomatiques, les pôles sont cette année au centre de tous les regards. En juin, la France accueillera la 43^e réunion du Traité sur l'Antarctique ; dès le mois d'octobre, le Pavillon France à l'Exposition universelle de Dubaï mettra à l'honneur la recherche sur le continent blanc. Les régions polaires n'ont en réalité jamais été aussi proches.

DOSSIER RÉALISÉ PAR LAURE CAILLOCE

Les pôles au centre de l'échiquier mondial

Les pôles, ces lointains territoires gelés, cachent une réalité contrastée : Antarctique et Arctique n'ont pas la même histoire ni le même statut juridique. Retour sur les enjeux géopolitiques des pôles, alors que la France accueillera du 14 au 24 juin la 43^e réunion du Traité sur l'Antarctique.



Au cœur du continent antarctique, la base franco-italienne Concordia est « posée » sur plus de 3 km d'épaisseur de glace.

Soyons honnêtes : hormis les scientifiques qui y travaillent et quelques experts, rares sommes-nous à avoir une vision très claire des pôles. Ces lointaines étendues gelées ont même tendance à se confondre dans l'esprit du grand public, qui place indifféremment les ours polaires en Antarctique et les manchots en Arctique... (en réalité, les premiers sont endémiques des contrées arctiques et les seconds ne se retrouvent que dans les régions antarctiques et subantarctiques).

La géographie des lieux semble tout aussi floue, et pourtant : « *La première grande différence entre l'Arctique et l'Antarctique est géographique justement, comme le rappelle la géographe et politiste Camille Escudé, du Centre de recherches internationales de Sciences Po*¹. *L'Arctique est un océan bordé par des continents – les continents eurasiatique et nord-américain. En fait, c'est presque une mer fermée à l'image de la Méditerranée. L'Antarctique, à l'inverse, est un continent entouré d'un vaste océan, l'océan Austral.* » Alors qu'on les imagine vides de toute présence, ou presque, les régions

polaires accueillent des populations humaines diverses : habitées depuis des centaines de milliers d'années, les régions arctiques et subarctiques abritent pas moins de cent dix populations autochtones, sans compter les millions de travailleurs venus s'employer dans les exploitations minières et les ports, tandis que l'Antarctique – certes inhabité – voit débarquer chaque été austral (de novembre à avril) des milliers de scientifiques et des touristes en nombre toujours plus grand. Loin d'être des régions isolées, les pôles sont aujourd'hui au cœur des enjeux internationaux.

L'Antarctique, terre de science avant tout

Si l'existence d'un continent antarctique, en équilibre avec l'Arctique, a été postulée dès l'Antiquité par le Grec Aristote, il faut attendre la première moitié du XIX^e siècle pour que les premiers explorateurs abordent le continent blanc. Parmi eux, le Français Dumont d'Urville, parti à la recherche du pôle Sud magnétique, accoste le 21 janvier 1840 à un endroit que le navigateur nomme « Terre Adélie », en l'honneur de sa femme Adèle, et prend possession du territoire au nom de la France. « *En droit international, historiquement, il existe la théorie des "territoires sans maître", que l'on peut s'approprier si l'on est le premier à les découvrir* », rappelle la juriste Anne Choquet, enseignante-chercheuse à Brest Business School.

Les débuts de la science moderne

Au fil des explorations, sept pays se retrouvent ainsi à revendiquer une portion du continent de 14 millions de kilomètres carrés : la France, l'Australie, la Nouvelle-Zélande, le Chili, l'Argentine, la Norvège et le Royaume-Uni. Parmi eux, l'Argentine, le Chili et l'Australie revendiquent même des territoires identiques de la péninsule antarctique, au nord-ouest du continent, ce qui n'est pas sans occasionner des tensions. Pourtant, à part quelques expéditions mémorables et une activité de pêche à la baleine et au phoque sur ses côtes, la région de l'Antarctique est quelque peu délaissée durant la première moitié du XX^e siècle.... C'est l'Année géophysique internationale, en 1957-1958, qui propulse véritablement le continent dans l'aventure scientifique. Soixante-sept États s'engagent dans une étude géophysique de la Terre pour améliorer les connaissances des propriétés physiques de notre planète (magnétisme, etc.) et de son interaction avec le Soleil.

C'est ainsi que douze pays installent quarante-huit stations scientifiques en Antarctique, la plupart sur les côtes, mais également à l'intérieur du continent, comme la base soviétique de Vostok, célèbre pour ses forages de glace profonds. « *On comptera jusqu'à 25 000 scientifiques sur le terrain*, rappelle Jérôme Chappellaz, directeur de l'Institut polaire français Paul-Émile Victor qui gère les stations françaises aux pôles. *C'est véritablement le début de la science moderne en Antarctique.* »



© THIBAUT VERGOZ/PEV/ZEPPELIN NETWORK

1. Unité CNRS/Sciences Po Paris.

La fin de l'année géophysique laisse néanmoins les scientifiques sur leur faim. « *Ils aimeraient pouvoir continuer à travailler en Antarctique, mais la situation du continent réclamé par sept pays est contestée par d'autres, qui considèrent que l'Antarctique ne devrait pas être partagé. C'est un vrai problème* », explique Anne Choquet.

Prétentions territoriales gelées

Le Traité sur l'Antarctique, signé en 1959 par les douze États de l'Année géophysique internationale, permet de dépasser ces dissensions. « *C'est un "accord de non-accord"* », résume la juriste. Au nom de la coopération scientifique, on gèle les prétentions territoriales, et chacun accepte que les autres puissent avoir une appréciation différente de la situation. En gros, les États qui ont des prétentions territoriales – aussi appelés « possessionnés » – peuvent continuer à les affirmer, et les autres peuvent continuer à dire qu'ils ne sont pas d'accord !

Le traité de 1959 consacre trois principes : le maintien de la paix – l'Antarctique est une terre non militarisée et non nucléarisée – ; la recherche scientifique et la coopération internationale qui doit permettre à chacun, quelle que soit sa nationalité, de s'installer où il le souhaite sur le continent afin d'y conduire des recherches (la station franco-italienne Concordia, au centre du continent, se trouve ainsi sur le territoire revendiqué par l'Australie) ; et enfin la protection de l'environnement, qui implique que chaque projet en Antarctique doit évaluer son impact sur le milieu.

Ce traité, unique en son genre, a permis durant toute la guerre froide que les deux ennemis d'alors, États-Unis et Union soviétique, continuent à collaborer sur le continent

Le Traité sur l'Antarctique, un lieu de rencontre unique pour les scientifiques

« Participer aux réunions du Traité sur l'Antarctique, c'est l'occasion pour un scientifique comme moi de sortir de son champ de recherche. 200 à 300 sujets différents y sont en effet abordés à chaque session, certains étant de simples remontées d'informations scientifiques pertinentes, d'autres donnant lieu au vote de résolutions, voire à des réflexions plus longues. Mais cette année, Covid oblige, la réunion du Traité présidée par la France devra malheureusement se tenir en distanciel. »

Yan Ropert-Coudert, biologiste², membre de la délégation française à la réunion du Traité sur l'Antarctique.

Lire l'entretien sur CNRSInfo : <https://bit.ly/3bBkFpQ>



Le Norvégien Roald Amundsen est le premier explorateur à avoir atteint le pôle Sud, le 15 décembre 1911.

© BRIDGEMAN IMAGES

blanc. Soixante ans plus tard, le Traité sur l'Antarctique est toujours là, et bien là. Preuve de sa solidité : le nombre des signataires n'a cessé de progresser, passant de 12 à 54 aujourd'hui. « *En réalité, seuls 29 ont le droit de vote lors des réunions du traité qui se tiennent une fois par an – comme celle qu'accueillera la France en juin 2021* », précise Anne Choquet. Ces « parties consultatives » comme on les nomme, incluent les sept États « possessionnés » et ceux qui entretiennent des stations de recherche ou conduisent des expéditions régulières en Antarctique. Parmi ces derniers, nombre de pays européens, mais aussi asiatiques comme la Corée, le Japon et bien sûr la Chine, qui est en passe de posséder le plus grand nombre de stations scientifiques en Antarctique – soit cinq bases au total.

Interdiction de l'activité minière

Si l'Antarctique est avant tout une terre de science – on y dénombre aujourd'hui près de quatre-vingts stations scientifiques, appartenant à une trentaine de pays –, le traité de 1959 prévoit que d'autres activités sont possibles telles que la pêche ou le tourisme, à condition de respecter certaines règles comme la protection des phoques, ou la conservation de la faune et de la flore marines. La Convention de Wellington en 1988 prévoyait, elle, d'autoriser l'exploitation des ressources minérales, dans le respect des règles environnementales. On soupçonne en effet que le continent autrefois rattaché à l'Amérique du Sud et à l'Afrique recèle une équivalente richesse en minerais et métaux précieux...

2. Centre d'études biologiques de Chizé (CNRS/La Rochelle Université).

Mais plusieurs marées noires en 1989, dont celle de l'*Exxon Valdez* en Alaska, pointent le danger que de telles exploitations représentent par le simple fait des transports qu'elles engendrent, et conduisent à la remise en cause de la convention sur les ressources minérales : en 1991, la signature du Protocole de Madrid va interdire l'exploitation de l'Antarctique à des fins autres que scientifiques. « *Ce protocole, dont nous célébrons les 30 ans cette année, consacre le caractère de sanctuaire de l'Antarctique. Il prévoit l'interdiction de l'exploitation minière pour une durée de cinquante ans, mais aussi des conditions très strictes pour changer la règle du jeu, au-delà de l'échéance* », précise Anne Choquet. Mais si l'Antarctique est une terre de science, cela ne signifie pas que les pays qui y envoient leurs chercheurs soient totalement exempts d'arrière-pensées politiques ou économiques... « *Être en Antarctique permet d'avoir une place sur la scène internationale et une présence dans une zone stratégique du globe* », souligne la juriste.

Quand l'Arctique entre de plain-pied dans la mondialisation

Au contraire de l'Antarctique, dont le statut juridique est réglé par un traité international, la propriété des territoires n'est pas un sujet en Arctique. « *Si l'on s'en tient à une définition stricte, l'Arctique désigne la zone située au nord du Cercle polaire, ou 66° parallèle. Ici, on sait exactement ce qui appartient à qui* »,

indique Camille Escudé, qui rappelle que huit États sont présents dans ces régions où 4 millions de personnes vivent à l'année (dont 15 % de populations autochtones). La Russie, premier pays arctique par son territoire, réalise d'ailleurs près de 20 % de son PIB dans ses régions polaires. Suivent le Canada, les États-Unis qui ont racheté l'Alaska à la Russie au XIX^e siècle et ne sont séparés du géant russe que par l'étroit détroit de Béring, la Norvège, la Suède, la Finlande, l'Islande et, enfin, le Danemark, via le territoire autonome du Groenland.

Forum de discussion

Ces pays, bien que souverains, ont décidé de s'organiser dès les années 1990 et ont créé en 1996 le Conseil de l'Arctique. Ce forum de discussion, dont les décisions n'ont pas force de loi, cible deux domaines bien précis : la protection de l'environnement et le développement durable. En plus des huit pays arctiques, six associations représentant les populations autochtones font partie des participants permanents de l'organisation.

« *Il n'est pas question d'y aborder les sujets qui fâchent, comme la forte présence militaire tout le long des rives de l'Arctique, ou encore la pêche*, souligne Camille Escudé. *On est sur le plus petit dénominateur commun, même s'il ne faut pas se méprendre : les enjeux liés à l'environnement sont énormes en Arctique, à travers notamment la question des polluants comme le mercure que l'on retrouve dans toute la chaîne alimentaire,*



Pipelines menant au champ de gaz de Bovanenkovo, dans la péninsule de Yamal, à l'ouest de la Sibérie.

“L'Arctique est l'une des rares zones du monde où la France n'a pas de territoire et est toujours l'invitée de quelqu'un d'autre.”

ou encore la question de la biodiversité, fortement impactée par le changement climatique. »

Toutes les discussions sont alimentées par les travaux de scientifiques réunis au sein de six groupes de travail permanents (polluants, biodiversité, faune et flore arctiques...). Les chefs d'État du Conseil de l'Arctique se réunissent tous les deux ans, et accueillent à cette occasion un certain nombre de membres observateurs : une douzaine de pays comme la France, l'Allemagne, l'Inde, mais surtout la Chine, qui se considère aujourd'hui comme un *near Arctic State* – « un État proche de l'Arctique » –, des ONG comme le WWF et des organismes intergouvernementaux. « Si les membres observateurs ont le droit de participer aux négociations, ils ne sont en revanche pas autorisés à prendre la parole en séance ni à participer aux votes », précise Camille Escudé.

Ce qui avait conduit l'ancien Premier ministre français Michel Rocard, nommé ambassadeur des pôles en 2009, à qualifier le Conseil de l'Arctique de « *syndic de copropriété* », entre dépit et ironie... « L'Arctique est l'une des rares zones du monde où la France n'a pas de territoire et est toujours l'invitée de quelqu'un d'autre, confirme Jérôme Chappellaz. Nous y partageons seulement une petite station scientifique avec les Allemands au Svalbard, un archipel situé au nord de la Norvège dont fait partie l'île du Spitzberg. »

Nouvelles routes maritimes

Les enjeux sont pourtant nombreux dans la zone, et rebattent quelque peu les alliances traditionnelles. C'est le cas de l'ouverture à la navigation commerciale des passages du nord-est, côté Russie, et du nord-ouest, côté Amérique. « Les pôles sont les régions du monde où le changement climatique est le plus rapide, rappelle Camille Escudé. L'Arctique se réchauffe deux à trois fois plus vite que le reste de la planète. Conséquence, la banquise voit sa surface diminuer d'année en année, et pourrait même avoir totalement disparu durant les mois d'été à l'horizon 2040, rendant possible la navigation tout au long des côtes sibériennes et à travers les archipels situés au nord du Canada. »

Une véritable opportunité pour la navigation commerciale, qui trouverait là des routes 30 à 40 % plus courtes (en distance tout du moins) pour relier l'Asie à l'Europe. Et un motif de tensions internationales bien réel : un certain nombre d'États, au sein desquels les États-Unis ou la Chine, mais

aussi l'Union européenne, considèrent que ces passages devraient avoir le statut de détroits internationaux et que l'on devrait pouvoir y circuler librement. Ce que contestent vigoureusement la Russie et le Canada, notamment, qui rappellent que la règle des 12 milles nautiques (le droit de la mer accorde la jouissance exclusive des 12 premiers milles au pays riverain) leur accorde la souveraineté sur ces fameux passages. « Pour l'instant, tout cela reste encore très théorique, car les routes en question demeurent difficilement praticables, tempère Camille Escudé. Les conditions extrêmes des régions arctiques (froid, tempêtes de givre, multiplication des petits icebergs détachés de la banquise et des glaciers continentaux), l'absence d'infrastructures le long des côtes de l'Arctique, hormis les ports en eau profonde de la Sibérie..., font que les armateurs restent très frileux sur la question. »

Aujourd'hui, c'est surtout l'exploitation des ressources minières (pétrole, gaz, mais aussi métaux comme l'or ou l'uranium) qui aiguise les appétits, bien au-delà des seuls



Bateau de croisière dans le petit port de Tasilaq, sur la côte est du Groenland.



© PHILIPPE ROYAL/ARNAUDS VIA AFP



Le développement de l'exploitation du gaz en Sibérie arctique, une menace pour les nomades Nenets.

« La France a besoin d'une stratégie polaire globale »

Trois questions à
Olivier Poivre d'Arvor,
ambassadeur des pôles

La France va accueillir en juin 2021 la 43^e réunion consultative du Traité sur l'Antarctique. Ce n'était pas arrivé depuis trente-deux ans. Des thèmes en particulier seront-ils au cœur des discussions ?

Olivier Poivre d'Arvor. Il y a deux sujets majeurs en Antarctique : les effets du changement climatique et la biodiversité. L'Antarctique se réchauffe plus vite qu'on l'imaginait il y a dix ans – en témoigne l'iceberg gros comme l'Île-de-France qui s'est détaché début mars de la péninsule antarctique –, c'est une vraie préoccupation. La biodiversité unique de ce continent doit également être préservée. La France propose depuis plusieurs années la création d'une aire marine protégée de 4 millions de kilomètres carrés au large de la Terre Adélie, à l'est du continent, mais s'est heurtée jusqu'à présent aux réticences de la Russie et de la Chine. Enfin, l'essor du tourisme, avec près de 70 000 visites annuelles, pose la question du développement durable de cette activité.

Et en Arctique, quelles sont les préoccupations de la France ?

O. P. A. Huit pays sont présents au-dessus du cercle polaire. Il y a un Conseil de l'Arctique – où nous ne sommes que simples observateurs – et une gouvernance que nous ne remettons évidemment pas en question. Nous avons en revanche une vraie ambition sur le plan scientifique, et voulons renforcer notre activité de recherche, déjà très active. Pour ce faire, il faudra plus d'argent – 15 à 20 millions d'euros – et une collaboration plus étroite encore avec nos partenaires arctiques qui disposent de bases scientifiques sur place, notamment le Canada que nous pouvons en retour accueillir dans nos stations antarctiques de Dumont d'Urville et de Concordia...

Vous avez été nommé ambassadeur des pôles en décembre 2020. Le poste lui-même existe depuis 2009. Quel est votre rôle exact ?

O. P. A. Le sujet polaire a longtemps pu paraître lointain aux Français... Mais il est aujourd'hui très présent, ne serait-ce qu'à travers le prisme du changement climatique. La France a besoin d'une stratégie polaire globale, forte, qui intègre toutes les problématiques liées aux pôles : scientifiques, mais aussi économiques, politiques... Ce sera mon rôle de la porter.

pays arctiques. D'après les estimations, l'Arctique recèlerait ainsi près d'un quart des ressources de pétrole et de gaz de la planète. Si l'exploitation minière est déjà ancienne, que ce soit en Alaska, au Yukon ou en Sibérie, où elle remonte aux années 1950-1960, elle n'était pas toujours très rentable.

Explosion des projets d'extraction

Avec la tension sur les stocks mondiaux de matières premières et la hausse des cours, exploiter ces territoires hostiles prend à nouveau tout son sens. « *L'Arctique est devenu un vaste chantier*, témoigne l'anthropologue Alexandra Lavrillier du centre Cultures, environnements, Arctique, représentations, climat, dont c'est le terrain d'étude. *Depuis un peu plus de dix ans, on assiste à une explosion des projets d'extraction en mer, comme à terre.* » C'est le cas à l'ouest de la Sibérie, dans l'énorme presqu'île de Yamal, où l'exploitation de gaz liquéfié (dont le français Total est d'ailleurs partie prenante) a fait sortir de terre des zones urbaines de plusieurs dizaines de milliers d'habitants. Une course au développement qui n'est pas sans conséquences pour les populations autochtones, éleveurs de rennes ou chasseurs...

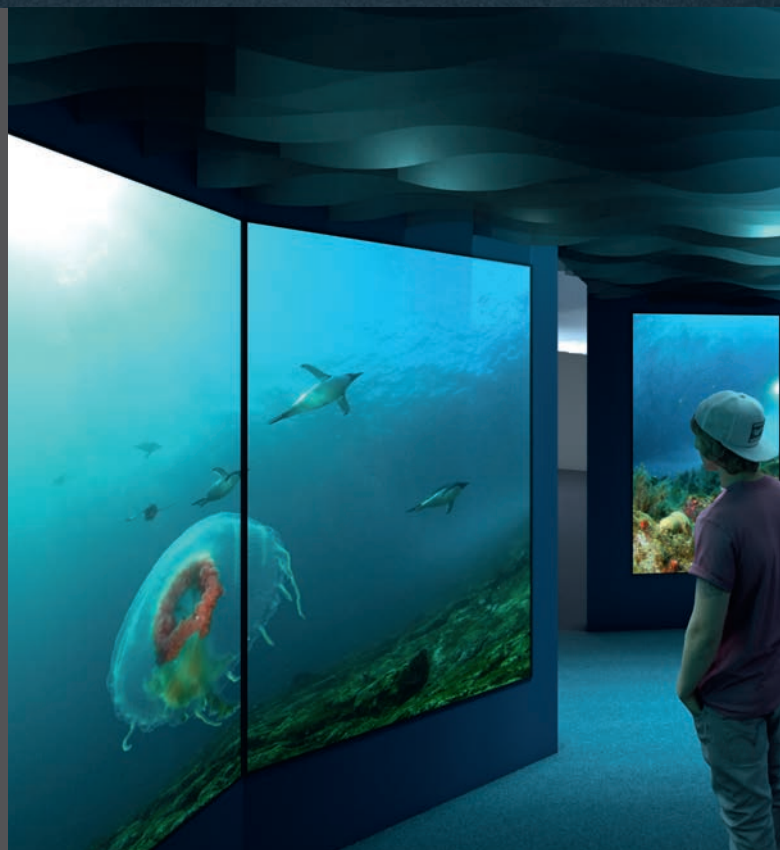
Le cas du Groenland illustre bien les tensions qu'elle engendre : facilitées par le réchauffement climatique et la fonte des glaciers, l'ouverture de mines et la venue de touristes toujours plus nombreux sont certes une manne financière qui permet de servir la volonté d'indépendance de ce territoire autonome aujourd'hui rattaché au Danemark, mais leurs effets sur les écosystèmes inquiètent une partie de la population inuite qui vit encore des activités traditionnelles. Des dissensions qui ont manqué faire éclater le gouvernement de coalition groenlandais au début de l'année 2021. Les régions polaires n'ont pas fini de faire parler d'elles. II

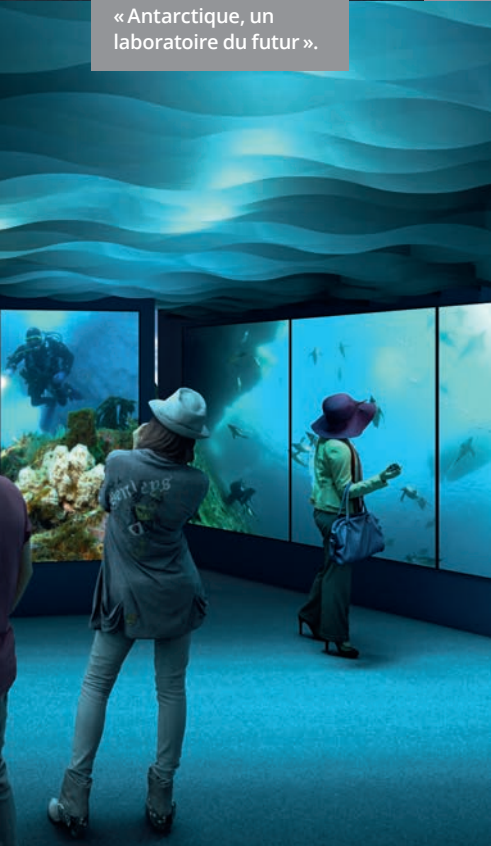


L'Antarctique à l'affiche de l'Exposition universelle

C'est une sacrée vitrine pour les scientifiques : le CNRS va participer à l'Exposition universelle qui ouvrira ses portes le 1^{er} octobre prochain à Dubaï, pour une durée de six mois. 20 000 visiteurs par jour sont attendus dans le Pavillon France, l'un des 190 pays à participer à l'événement (un chiffre record). Situé au cœur de l'exposition permanente consacrée à la notion de progrès, l'espace CNRS, réalisé avec le soutien de l'Institut polaire français Paul-Émile Victor, fera la part belle à la recherche en Antarctique. Un dispositif vidéo et sonore immersif a été imaginé afin de plonger le visiteur au cœur du continent blanc. Le voyage commence sous la banquise, à 70 mètres de profondeur, avec la découverte de l'étonnante biodiversité des eaux australes. La visite se poursuit sur la glace, au côté des scientifiques qui œuvrent à la connaissance du continent antarctique : glaciologues, sismologues, astronomes, biologistes... À noter que la nappe sonore diffusée dans l'ensemble de l'espace CNRS sera conçue à partir d'enregistrements de la faune sous-marine australe réalisés par le biologiste Laurent Chauvaud, du laboratoire des sciences de l'environnement marin*. « Avec cette expérience immersive, notre objectif est d'éveiller la conscience du visiteur envers ce territoire de science, témoin du passé et du futur de notre planète », explique Antoine Petit, PDG du CNRS.

*Unité CNRS/Ifremer/IRD/Université de Bretagne occidentale.





Le Pavillon français à Dubaï.

© DANY EID



La science en pole position

Sentinelles du climat, les régions polaires sont aujourd'hui au cœur des changements globaux : les pollutions, la dégradation des écosystèmes, la fonte de la glace, l'intensification des activités industrielles et ses conséquences..., sont autant de sujets qui mobilisent les scientifiques, toutes disciplines confondues.

La glace, mémoire des climats du passé

L'anecdote est entrée dans la légende : c'est en mettant dans son whisky un glaçon vieux de plusieurs milliers d'années et en voyant s'en échapper des bulles d'air, que le glaciologue français Claude Lorius a eu l'intuition que les glaces accumulées en Antarctique depuis des centaines de milliers d'années pouvaient contenir des gaz témoins de l'atmosphère du passé. Nous étions au milieu des années 1960.

Depuis, la science des carottes de glace a pu établir ce qui fonde la climatologie moderne. Non seulement la glace contient la mémoire des climats du passé – température et concentration en gaz à effet de serre –, mais ces deux variables sont intimement liées : une augmentation des gaz à effet de serre dans l'atmosphère signifie un réchauffement inéluctable de la planète. « Grâce aux archives glaciaires, ces carottes extraites du plus profond de la calotte glaciaire

antarctique, les scientifiques ont pu reconstituer le climat des 800 000 dernières années », raconte le glaciologue et directeur de l'Institut polaire français Paul-Émile Victor, Jérôme Chappellaz. Objectif, désormais : trouver les plus vieilles glaces du continent, les *oldest ice*, et remonter jusqu'à 1,5 million d'années dans le passé.

Des témoins du réchauffement global

Les pôles sont aujourd'hui les régions du globe qui se réchauffent le plus. C'est particulièrement vrai en Arctique, où l'on estime que la température augmente deux à trois fois plus vite que sur le reste de la planète. Les populations autochtones habituées à chasser le phoque sur la glace le savent bien, elles qui voient la glace de mer saisonnière se former chaque hiver un peu plus tard... Mais ce réchauffement des pôles n'impacte pas que les régions polaires.

À la station Concordia, en Antarctique, cette « bibliothèque » de carottes de glace renferme 800 000 ans d'histoire climatique.

Débutée dans les années 1990, la fonte lente et inexorable de la calotte glaciaire du Groenland, deuxième plus grosse masse de glace terrestre après l'Antarctique, participe directement à la hausse du niveau de la mer partout sur la planète (contrairement à la banquise, constituée d'eau de mer gelée et flottant sur celle-ci, les glaciers terrestres, en fondant, ajoutent à la quantité d'eau dans l'océan, Ndlr).

Le réchauffement des pôles a surtout une multitude d'effets sur le climat global : courants marins, circulation atmosphérique..., sont fortement dépendants de ce qu'il se passe dans les régions froides. Les circulations profondes de l'océan en sont une bonne illustration. « Prenons l'exemple du *Gulf Stream*, intervient Marie-Noëlle Houssais, océanographe au Laboratoire d'océanographie et du climat : expérimentations et approches numériques ¹. *Ce courant chaud, qui garantit à l'Europe ses hivers doux, monte des régions tropicales vers les régions arctiques, où il se refroidit et se charge en sel* (en se formant, la glace de mer rejette du sel dans l'océan, Ndlr). *Devenu très dense, ce courant plonge au plus profond de l'océan et redescend lentement vers l'équateur. Mais le réchauffement de l'océan Arctique, provoqué notamment par la disparition progressive de la banquise, pourrait venir gripper ce mécanisme de tapis roulant.* »

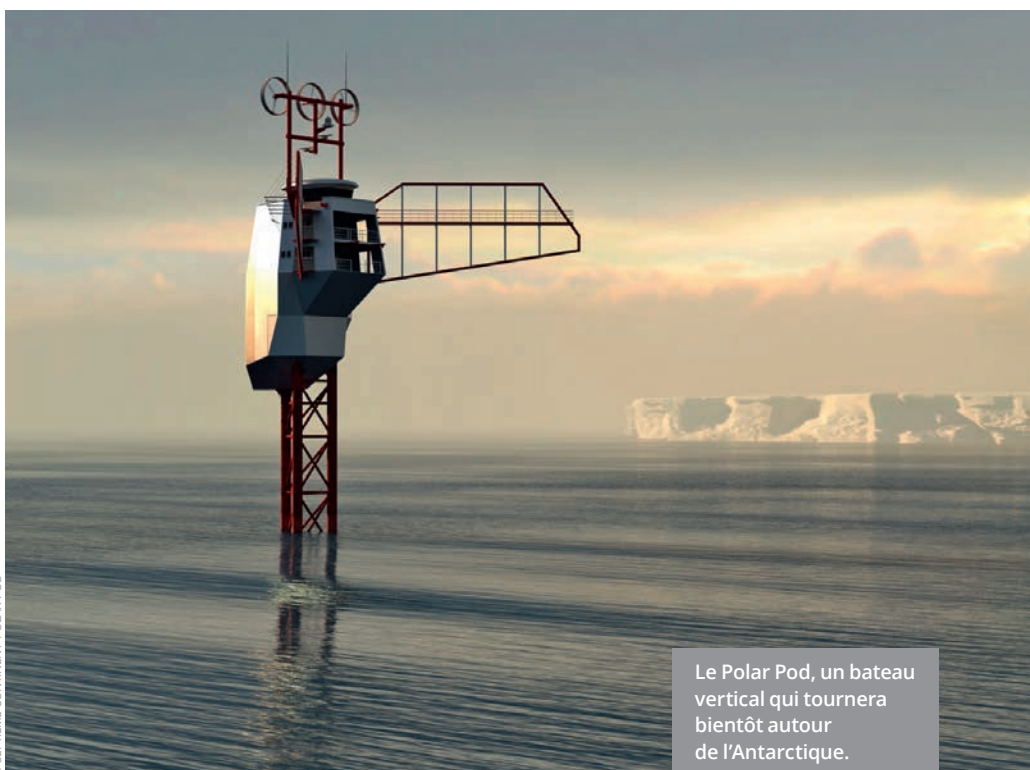
La glace renvoie en effet les rayons du soleil et leur chaleur vers l'espace ; avec moins de banquise, l'océan voit sa couleur s'assombrir et absorbe davantage de chaleur... Moins froide, moins chargée en sel également (du fait des apports d'eau douce liés à la fonte du Groenland), l'eau est moins dense et plonge moins volontiers vers le fond. Problème : du fait de la difficulté d'accès des régions polaires, en hiver notamment, les chercheurs manquent encore de données pour comprendre tous ces phénomènes et mieux prédire ce qu'il pourra advenir dans les prochaines décennies. Parmi les nombreuses questions qui se posent, nul ne sait par exemple pourquoi l'Antarctique, véritable « congélateur » de la planète, bien plus froid que les régions arctiques, fond plus vite qu'on l'avait imaginé il y a dix ans – un phénomène particulièrement marqué sur la vaste péninsule située au nord-ouest du continent, et qui pourrait brutalement

s'accroître dans la partie est, aujourd'hui encore relativement préservée... Les chercheurs doivent donc multiplier les observations et affiner leurs modèles.

Le projet Polar Pod, imaginé par l'explorateur Jean-Louis Étienne et mis au point avec les scientifiques, pourrait aider à combler en partie ces lacunes. « *Ce navire vertical unique au monde, haut comme la statue de la Liberté, va faire le tour de l'Antarctique sans moteur, en se laissant porter par le courant marin qui tourne autour du continent*, explique Cyril Moulin, directeur adjoint de l'Institut des sciences de l'Univers du CNRS. *Équipé d'une nacelle pouvant héberger huit personnes, et de quantité d'instruments, il mesurera les variables océaniques et atmosphériques dans l'océan Austral, et étudiera la faune sous-marine et les craquements de la croûte océanique grâce à des sondes acoustiques.* »

Un puits de pollution sous surveillance

L'Antarctique, de par son éloignement, est encore relativement épargné par la pollution... Ce n'est malheureusement pas le cas des régions arctiques, directement impactées par les activités humaines. « *Beaucoup de polluants émis dans l'atmosphère, en Europe, en Asie, en Amérique..., sont transportés jusqu'au pôle Nord par le jeu des courants atmosphériques*, explique Jérôme Fort, spécialiste d'écotoxicologie marine au laboratoire Littoral, environnement et sociétés ². *Les courants marins, plus lents, amènent aussi leur lot de microplastiques, pesticides, métaux lourds et autres composés*



Le Polar Pod, un bateau vertical qui tournera bientôt autour de l'Antarctique.

1. Unité CNRS/MNHN/IRD/Sorbonne Université.

2. Unité CNRS/La Rochelle Université.



© FRED OLIVIER-WON LE MAHO

Ce robot « poussin » permet d'identifier les oiseaux équipés d'une puce électronique sans les stresser.

Des écosystèmes uniques, mais menacés

Ours blanc, morse ou renard polaire pour l'Arctique, manchots Adélie ou Empereur pour l'Antarctique, sans oublier le poisson antigel de l'océan austral (le *Notothenioidei*), seul poisson capable de sécréter des protéines antigel..., sont quelques-unes des espèces emblématiques des régions polaires. « *Ce sont des espèces adaptées aux conditions extrêmes, froid, glace, vent..., qu'on ne retrouve que dans ces milieux, raconte Jérôme Fort. C'est ce qui fait le côté unique des écosystèmes polaires, mais aussi leur grande fragilité, car ils sont beaucoup plus vulnérables au changement climatique.* »

Or, si le réchauffement du climat voit migrer vers le nord un certain nombre d'espèces végétales ou animales tempérées, difficile de monter plus haut lorsqu'on est déjà dans les régions polaires. On a tous en tête l'image de l'ours blanc privé de banquise, son terrain de chasse favori... « *Avec le réchauffement climatique, c'est à une véritable redistribution de la répartition des espèces qu'on est en train d'assister* », confirme Laurent Chauvaud, biologiste au Laboratoire des sciences de l'environnement marin³. La moule bleue, une espèce qu'on trouve en Bretagne et dans tout l'Atlantique Nord, est désormais présente au sud du Spitzberg où elle est arrivée à la faveur d'un courant chaud. Les grandes algues migrent vers le nord, de même que le phytoplancton et le zooplancton...

Les oiseaux aussi sont directement concernés par le phénomène. Ainsi, certaines espèces de goélands européens viennent désormais nicher au Groenland, entrant directement en concurrence avec les espèces arctiques. « *Beaucoup de ces espèces tempérées sont généralistes, c'est-à-dire qu'elles ont des ressources alimentaires variées. Ce n'est pas le cas des espèces arctiques, qui sont bien souvent plus spécialisées, donc plus sensibles aux perturbations* », indique Jérôme Fort.

perfluorés... Sans oublier les fleuves russes qui se jettent dans l'océan Arctique et charrient également des polluants. C'est comme si l'Arctique agissait tel un réservoir de nos pollutions, avec une concentration bien plus importante qu'ailleurs. »

Le cas du mercure est emblématique : depuis l'ère pré-industrielle, ce métal émis principalement lors des combustions d'énergies fossiles et des activités minières a été multiplié par trois dans les sédiments des lacs arctiques, et on le retrouve dans toute la chaîne alimentaire – plancton, poissons, jusqu'aux grands prédateurs (bélugas, ours, phoques...) où ses concentrations ont été multipliées par dix sur la même période. Un vrai problème pour les écosystèmes et pour la santé humaine.

Avec le développement industriel dans les régions polaires, les sources de pollution locales se multiplient, ajoutant encore à ces concentrations historiques. « *Le problème des polluants en Arctique est devenu critique. C'est d'ailleurs l'une des principales préoccupations du Conseil de l'Arctique, instance représentant les huit États arctiques (voir page 19), qui y consacre un groupe de travail permanent, alimenté par les travaux des scientifiques* », rappelle Jérôme Fort.

Le dégel du pergélisol, le sol gelé en permanence caractéristique des régions arctiques et subarctiques, pose aussi problème : non content d'émettre du méthane, un gaz à effet de serre, il est soupçonné de libérer les polluants qui y sont piégés (émissions industrielles diverses, mais aussi retombées radioactives liées à Tchernobyl...).



© ALEXANDRA LAVRIER/CEARC

3. Unité CNRS/Ifremer/IRD/Université de Bretagne occidentale.

“Nul ne sait pourquoi l'Antarctique, bien plus froid que les régions arctiques, fond plus vite qu'on l'avait imaginé il y a dix ans.”

Les incertitudes sont telles que les chercheurs ont du mal à imaginer des scénarios de biodiversité pour le futur. Celle-ci va-t-elle augmenter ou, au contraire, diminuer ? Nul ne peut le dire aujourd'hui, car c'est toute la chaîne alimentaire qui se modifie. « Ça va trop vite, s'inquiète Laurent Chauvaud. Ce à quoi nous assistons, c'est à un changement drastique des écosystèmes, un véritable bouleversement. » Résultat : des pans entiers de biodiversité risquent de disparaître, alors qu'on les connaît encore si mal. « En Arctique comme en Antarctique, on sait trop peu de choses sur ce qui se passe sous la glace, quand il fait nuit durant plusieurs mois », signale le biologiste.

Des sociétés fragilisées

Quatre millions d'humains peuplent les régions situées au-dessus du cercle polaire arctique (dont 15 % appartiennent aux peuples autochtones), 52 millions si l'on élargit aux régions subarctiques. « Ce ne sont pas des territoires déserts. Il

y a là-bas une grande variété de populations et de cultures, raconte Alexandra Lavrillier, anthropologue au centre Cultures, environnements, Arctique, représentations, climat. Dans les régions circumpolaires et subarctiques, on compte 110 peuples autochtones différents, Inuits, Cris, Saamis, Yakoutes, ou encore les Évènes et les Evenks avec lesquels je travaille dans l'est de la Sibérie... »

Or ces populations sont directement affectées par la course au développement économique dans les régions arctiques (voir page 21), et voient dans le même temps leurs activités traditionnelles bouleversées par le changement climatique.



Les éleveurs de rennes du peuple évenk voient leur vie quotidienne bouleversée par le changement climatique.

« Les populations de colons venues s'installer ces quarante dernières années peuvent trouver un intérêt aux nouveaux projets miniers, car ils ont la formation qui leur permet d'y travailler, commente Alexandra Lavrillier. Ce n'est pas le cas des peuples autochtones qui en sont réduits à constater les dégâts que ces activités causent à leur environnement : les polluants émis par les mines empoisonnent les rennes qu'ils élèvent, les pipelines coupent la route des troupeaux sauvages... »

« Quant au changement climatique, il est tellement rapide qu'ils peinent à s'y adapter », ajoute l'anthropologue. Le dégel du pergélisol, le sol gelé et dur sur lequel ont construit les humains, déstabilise les infrastructures et les habitations ; les perturbations dans le manteau neigeux et les glaces rendent difficile leur quotidien. « Quand on mène des entretiens avec eux, la plupart commencent par dire "La nature est cassée", raconte Alexandra Lavrillier. Ce n'est pas comme si l'on basculait dans un nouveau climat, différent d'autrefois, mais avec lequel on pourrait composer. Désormais, tout est imprévisible. » Les températures se réchauffent puis se refroidissent brutalement, par exemple. Les Saamis du nord de l'Europe constatent la formation de croûtes de neige glacée qui empêchent les rennes d'accéder au lichen qu'ils vont habituellement brouter sous la neige ; les troupeaux sont affamés. « Les peuples arctiques font face à trop de pressions cumulées, conclut l'anthropologue. S'ils ne peuvent pas manifester contre le dérèglement climatique, partout en Arctique, on voit se multiplier les protestations contre le développement minier. »

Des observatoires de choix pour comprendre l'Univers

Les pôles, et notamment l'Antarctique, sont enfin des lieux privilégiés pour étudier les phénomènes géophysiques de notre planète, et observer l'Univers de manière plus générale. « À la station Concordia, située à plus de 3 000 mètres d'altitude, au cœur du continent antarctique, on enregistre tout particulièrement les fluctuations du champ magnétique terrestre et les séismes de toute la planète, raconte Cyril Moulin. Ces mesures réalisées dans une région complètement isolée apportent des informations cruciales pour mieux comprendre le fonctionnement de la Terre. » De nombreuses autres études géophysiques sont également menées, afin de percer les secrets du continent antarctique lui-même, encore mystérieux pour les géologues.

L'Antarctique est enfin un lieu privilégié pour observer le reste de l'Univers. « L'atmosphère est particulièrement sèche au pôle Sud, poursuit Cyril Moulin. Il n'y a pas de vapeur d'eau qui perturbe l'observation des étoiles. » C'est d'ailleurs à Concordia qu'a été observée la 2^e exoplanète autour de l'étoile Beta Pictoris, en 2019. Autre avantage de taille : du fait de leurs conditions de vie extrêmes – froid, isolement prolongé durant l'hiver... –, les pôles permettent aux agences spatiales de mener avec les chercheurs les études biomédicales nécessaires à la préparation de leurs futures missions habitées vers Mars. La science des pôles n'a pas dit son dernier mot. II

Notre-Dame de Paris livre ses secrets

NUMÉRIQUE

MATIÈRE

ARCHÉOLOGIE. Nous avons suivi les chercheurs du chantier scientifique CNRS/Ministère de la Culture à l'œuvre depuis l'incendie du 15 avril 2019. Leur mission : percer les secrets des bâtisseurs des XII^e et XIII^e siècles pour aider à la restauration de l'édifice. Voici leurs premiers résultats avec un focus sur la pierre, le fer, l'acoustique et la restitution numérique du monument, double virtuel conçu¹ pour intégrer l'ensemble des données passées, présentes et futures de la cathédrale dans un outil de visualisation interactif 3D.

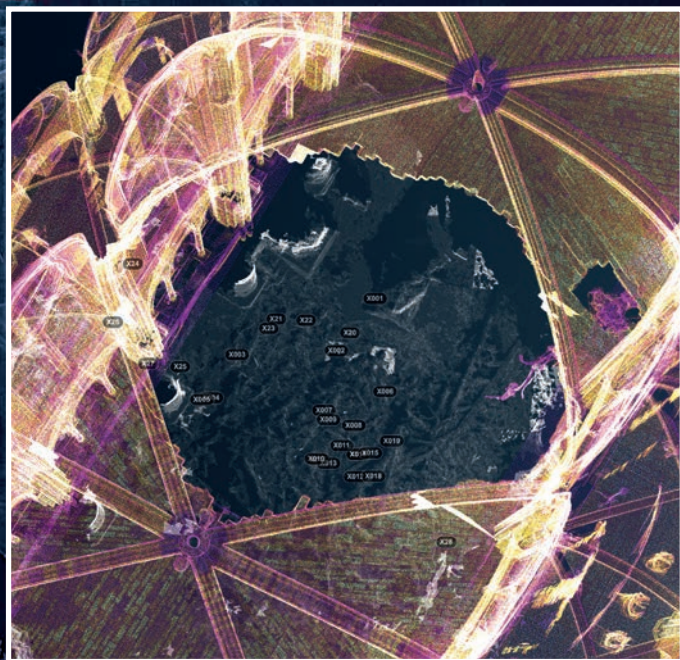
TEXTE CHARLINE ZEITOUN, AVEC MATTHIAS SOMM ET CYRIL FRESILLON

1. Par le laboratoire Modèles et simulations pour l'architecture et le patrimoine (CNRS/Ministère de la Culture), sous la direction de Livio de Luca.
2. D'après l'étude de Frédéric Épaud du laboratoire Cités, territoires, environnement et sociétés (CNRS/Université de Tours).
3. Datations révisées par Olivier Girardclos du laboratoire Chrono-Environnement (CNRS/Université de Franche-Comté).

1. Cette majestueuse vue de la face Nord, que surplombe la flèche ajoutée par Viollet-Le-Duc au XIX^e siècle, est le résultat de la superposition de différents nuages de points 3D relevés au laser avant l'incendie. Elle offre aussi, en rouge, une visualisation « fantomatique » de la charpente partie en fumée.

2. Les datations des charpentes, qui étaient en fait au nombre de trois², sont intégrées dans cette restitution 3D. Elle montre ainsi celle de la nef (en vert), réalisée vers 1215 et celle du chœur (en marron) réalisée vers 1226 en réutilisant une partie du bois de la première charpente (en bleu) construite vers 1185³.

3. Cette restitution, en vue de dessus, laisse notamment voir une partie des décombres, dûment numérotés, à travers la zone effondrée des voûtes de la nef.





© V. ABERGEL/J. JACQUOT/MAP/VASSAR COLLEGE/AGP/GEA/MIS/CHANTIER SCIENTIFIQUE NDP/MIN. CULT./CNRS



© P. DE PARISCAL/CNRS IMAGES/CNRS 2021

6. Des échantillons de mortier, prélevés sur les blocs effondrés mais aussi via de parcimonieux carottages dans la cathédrale, sont analysés au microscope⁵. Ils commencent à livrer la chimie de leur recette et leurs proportions de quartz (qui vient du sable) et de chaux (qui sert de liant). Assurant la cohésion des blocs de pierre depuis 800 ans, ils s'avèrent assez homogènes et très fins pour l'époque.

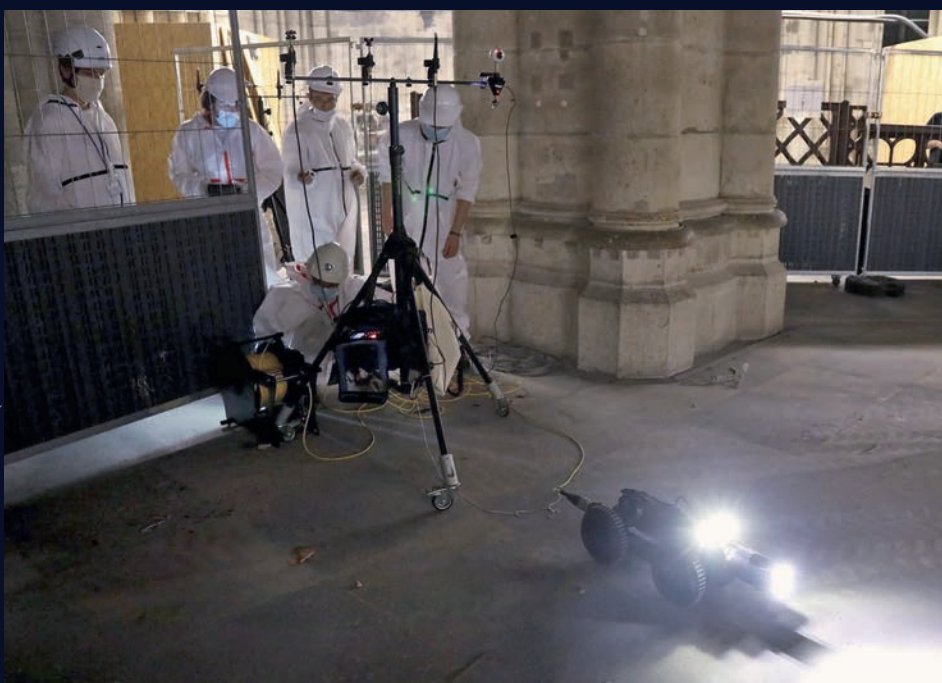
4. Ici, Yves Gallet de Ausonius - Institut de recherche Antiquité et Moyen Âge (CNRS/Univ. Bordeaux Montaigne/Ministère de la Culture), Élise Baillieul de l'Institut de recherches historiques du Septentrion (CNRS/Univ. Lille) et leur équipe. **5.** Ici par Mélanie Emo de l'Institut Jean Lamour (CNRS/Univ. de Lorraine).



4. Ici, les charpentes disparues sont restituées à travers les zones effondrées de la croisée du transept, et des voûtes de la nef et du chœur.



5. Les blocs de pierre de ces zones, retrouvés au sol parmi les débris, offrent d'ailleurs aux chercheurs⁴ un défi de taille : ils tentent de les assembler comme un puzzle pour reconstituer l'arc de la nef.



7. Quant à l'acoustique actuelle du lieu, elle s'est notamment révélée plus sèche et moins réverbérante qu'en 2015. Pour faire leurs mesures, les chercheurs⁶ ont utilisé de nombreux microphones fixés sur des trépieds à roulettes comme celui-ci. Il a fallu le remorquer jusqu'au milieu de la nef, alors interdite d'accès, avec un mini-rover télécommandé et équipé d'une torche pour tracer sa route dans la nuit, à l'abri de la pollution sonore de la journée.

© CHANTIER CNRS NOTRE-DAME/GROUPE ACOUSTIQUE

5. Ici, Mylène Pardoën de la Maison des sciences de l'homme Lyon Saint-Étienne (CNRS/ENS de Lyon/Univ. Jean-Moulin/Sciences Po Lyon/Univ. Lumière), Brian Katz de l'Institut Jean le Rond d'Alembert (CNRS/Sorbonne Université) et leur équipe.



© P. DE PARSCAU/CNRS IMAGES/CNRS 2021

8. L'effondrement de la charpente a permis de découvrir des agrafes de fer, insérées dans la pierre pour renforcer la construction, et identifiées en haut des murs, dans les chapelles, les bas-côtés et les tribunes.



9. Ces agrafes ont-elles été insérées dans la maçonnerie a posteriori, comme le chaînage posé au XIX^e siècle sur le haut-chœur, ou mises en œuvre dès la construction ?

10. Des échantillons d'éléments métalliques sont découpés, inclus dans une résine et polis pour être observés au microscope. Selon de premières datations de l'acier mélangé au fer, les agrafes des tribunes ont bien été mises en œuvre dès la construction, dans la seconde moitié du XII^e siècle, ce qui en fait une des utilisations les plus précoces du fer dans l'architecture gothique.

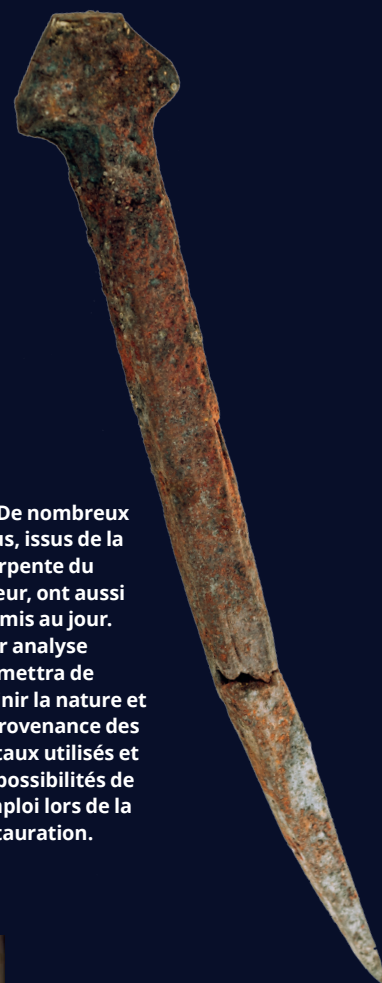


© C. FRESILLON/IRAMAT/INM/BEARSCAN/CEA CHANTIER SCIENTIFIQUE NDPMIN. CULT./CNRS

© C. FRESILLON/IRAMAT/INM/BEARSCAN/CEA CHANTIER SCIENTIFIQUE NDPMIN. CULT./CNRS



11. De nombreux clous, issus de la charpente du chœur, ont aussi été mis au jour. Leur analyse permettra de définir la nature et la provenance des métaux utilisés et les possibilités de emploi lors de la restauration.



© C. FRESILLON/IRAMAT/INMIBEA/ARSCANCE/CHANTIER SCIENTIFIQUE/NDP/MIN. CULT./CNRS



12. Les scientifiques⁷ utilisent un détecteur de métaux pour révéler le fer encore caché dans la pierre. Les recherches ne font que commencer, mais selon eux, l'architecte de Notre-Dame aurait véritablement souhaité renforcer la structure en utilisant massivement des agrafes dès l'origine du chantier pour élever une construction bien plus haute que ses contemporaines.

+ Ce diaporama est notamment tiré des vidéos « À Notre-Dame, les matériaux livrent leurs secrets » et « En 2020, la recherche à l'ouvrage pour Notre-Dame », ainsi que du dossier « Notre-Dame de la recherche », disponibles sur cnrslejournal.fr

© P. DE PARCAU/CNRS IMAGES/CNRS 2021

⁷ Ici Maxime l'Héritier, maître de conférences en histoire médiévale à l'Université Paris 8 - Vincennes Saint-Denis et membre de l'unité Archéologies et sciences de l'Antiquité (CNRS/Univ. Panthéon-Sorbonne/Univ. Paris-Nanterre/Ministère de la Culture).

MATIÈRE

UNIVERS

PHYSIQUE DES PARTICULES Malgré la robustesse de son modèle standard, la physique des particules garde quelques mystères. Plusieurs expériences tentent de le mettre en défaut et ouvrir ainsi la voie vers une nouvelle synthèse. Tour d'horizon à l'occasion du 50^e anniversaire de l'Institut national de physique nucléaire et de physique des particules (IN2P3) du CNRS.

PAR MATHIEU GROUSSON ET LA RÉDACTION



Illumination des fils du trajectographe de l'expérience SuperNEMO.

La recherche à l'assaut du modèle standard

La physique des particules est à un tournant de son histoire. D'un côté, le modèle standard (MS), l'édifice théorique qui décrit les particules élémentaires et les interactions qui constituent la matière en une poignée d'équations, et qui a vu ses prédictions vérifiées les unes après les autres avec un luxe de détails inouï. De l'autre, des physiciens convaincus que cette extraordinaire construction formelle ne peut constituer l'ultime théorie de la matière.

En effet, dès l'élaboration du modèle standard, dans les années 1970, ils ont compris que celui-ci souffrait d'importants problèmes de cohérence interne. S'y sont ajoutés des faits expérimentaux. Ainsi, les cosmologistes ont montré que 95 % de l'énergie totale contenue dans l'Univers échappe à la théorie : on parle de matière noire et d'énergie sombre. On a aussi découvert que les neutrinos possèdent une masse, ce que le MS peut accommoder mais ne peut pas expliquer. Enfin, demeure le mystère de la disparition de l'antimatière que l'on devrait observer dans les mêmes quantités. Le MS peut fournir plusieurs sources pour expliquer ce phénomène mais peine à en expliquer l'ampleur.

À tout cela s'ajoute l'incompatibilité formelle radicale entre la théorie quantique des particules, qui décrit l'infiniment petit, et la relativité générale qui décrit l'infiniment grand. Ainsi, aux quatre coins du monde, les physiciens traquent le moindre écart aux prévisions du modèle standard, la moindre anomalie qui pourrait les guider dans l'élaboration d'une nouvelle synthèse.

Traquer les écarts minimes

Un de ces signes s'est peut-être manifesté tout récemment au Fermilab (États-Unis) lors de l'expérience Muon g-2. Celle-ci vise à mesurer la valeur du moment magnétique – ou aimantation interne – d'une particule appelée muon, sorte de cousin obèse de l'électron. Début avril, les

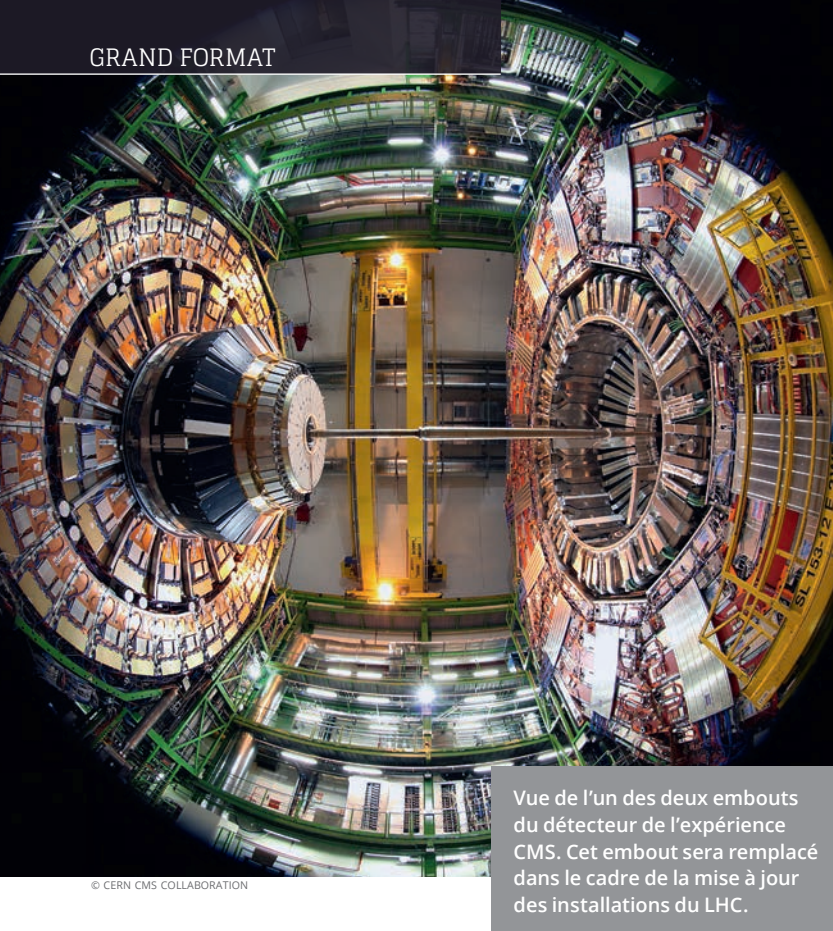
chercheurs ont annoncé que cette valeur diffère de celle prédite par le MS. Le résultat manque encore de significativité statistique pour pouvoir être qualifié de découverte, mais il a pour lui sa robustesse expérimentale et théorique. En effet, il est cohérent avec les estimations publiées en décembre 2020 par un autre groupe de 130 chercheurs. Cette dernière équipe s'est appuyée sur une méthode astucieuse couplant calculs et données expérimentales, développée depuis vingt ans par des physiciens dont Michel Davier, professeur émérite à l'université Paris-Saclay au sein du Laboratoire de physique des 2 infinis - Irène Joliot-Curie (IJCLab)¹ et membre de l'Académie des sciences. « *Notre prédiction théorique du moment magnétique du muon fait l'objet d'un très large consensus, ce qui rend le résultat de l'expérience Muon g-2 très excitant. Précisément, il n'y a qu'une chance sur 40 000 que la différence observée entre théorie et expérience soit le fruit du hasard* », indique l'académicien.

Pour autant, la prudence reste de mise. Une méthode différente a été élaborée par une équipe internationale comprenant celle de Laurent Lellouch, directeur de recherche CNRS au Centre de physique théorique²; leurs calculs, publiés récemment dans *Nature*, réduisent sensiblement l'écart avec la valeur expérimentale obtenue. Le modèle standard n'a donc peut-être pas dit son dernier mot !

Rechercher de nouvelles particules et affiner les statistiques

En attendant, les spécialistes du moment magnétique du muon sont loin d'être les seuls à traquer les écarts expérimentaux aux prédictions du MS. Pour cela, plusieurs stratégies sont actuellement mises en œuvre au LHC, l'accélérateur géant de particules du Cern, situé près de Genève à la frontière franco-suisse. La première, la plus directe, consiste à rechercher dans leur creuset de

1. Unité CNRS/Université Paris-Saclay. L'équipe de Michel Davier comprend des membres de l'IJCLab, du Cern et du LPNHE (Unité CNRS/Univ. Paris-Sorbonne). 2. Unité CNRS/Aix-Marseille Université/Université de Toulon.



Vue de l'un des deux embouts du détecteur de l'expérience CMS. Cet embout sera remplacé dans le cadre de la mise à jour des installations du LHC.

nouvelles particules prédites par des théories qui vont au-delà du modèle standard. Certaines sont des candidates au statut de matière noire, d'autres permettent de corriger certains défauts du MS. Reste que pour l'heure, les détecteurs sont restés muets. Une deuxième stratégie consiste à étudier le plus précisément possible le boson de Higgs : la façon dont il interagit avec les autres particules, celle dont il se désintègre...

Les expérimentateurs ont ainsi commencé à observer comment le Higgs se couple aux quarks bottom et top, au lepton tau, un autre cousin massif de l'électron, et aux bosons W et Z qui véhiculent l'interaction dite « faible ». Et plus récemment, les premiers signes du couplage au lepton muon ou la désintégration très rare, dite de Dalitz, du Higgs en deux leptons et un photon. L'accélérateur passera à plein régime entre 2022 et 2025, ce qui permettra de multiplier par un facteur deux à trois la quantité de données déjà accumulées. « On devrait ainsi commencer à entrevoir d'éventuelles différences entre la manière dont le Higgs se désintègre soit en paires de muons, soit en paires de leptons tau », s'enthousiasme Yves Sirois, directeur de recherche au Laboratoire Leprince-Ringuet (LLR)³ et membre de la collaboration CMS. « Il est probable que l'on commence à avoir des mesures un peu plus précises sur la production des quarks top », ajoute Marie-Hélène Genest, chercheuse au Laboratoire de physique subatomique et de cosmologie⁴ et membre de la collaboration Atlas.

Pour autant, les grandes manœuvres ne débiteront qu'à partir de 2027. D'ici là : mise à jour de l'accélérateur dans le but de quintupler le nombre de collisions par

seconde, renouvellement ou ajout de détecteurs, changement des électroniques pour faire face au flux de données, évolution des stratégies d'analyse... le LHC se muera alors en HL-LHC ou LHC haute luminosité. À la clé : dix ans de fonctionnement supplémentaire qui démultiplieront les données disponibles, car « aujourd'hui on ne dispose que de 5 % des données », note Yves Sirois.

LHCb étudie les désintégrations exotiques

Outre Atlas et CMS, une autre expérience en cours au LHC compte bien tirer parti des dernières améliorations en cours d'installation. Il s'agit de l'expérience LHCb, spécialement conçue pour étudier la désintégration de particules appelées mésons B, composées d'un quark bottom et d'un antiquark d'une des cinq autres saveurs possibles (up, down, charm, strange ou top). Les théoriciens s'attendent en effet à ce que les désintégrations de ces particules soient sensibles à des phénomènes non prévus par le MS.

De fait, depuis sa mise en service, LHCb a mis en évidence un faisceau de phénomènes étranges, sous la forme de différences dans la manière dont certains mésons B se désintègrent en muons ou en électrons. « D'après le modèle standard, les deux processus devraient être parfaitement équivalents, ce qui d'après nos données n'est pas exactement le cas, explique Renaud Le Gac, directeur de recherche au Centre de physique des particules de Marseille (CPPM)⁵, et responsable de l'expérience LHCb pour la France.

Dernière bizarrerie en date, publiée en mars dernier : le résultat de la comparaison entre la désintégration d'un méson B+ en une particule appelée K+ et soit deux muons, soit un électron et un positron (l'antiparticule de l'électron), en intégrant non plus seulement les données accumulées entre 2010 et 2016, mais également celles de 2017 et 2018. Conclusion : il n'y a plus aujourd'hui qu'une chance sur 1 000 que la différence observée entre les deux processus résulte d'une fluctuation statistique sans signification. Les physiciens, habitués aux facéties du hasard, restent néanmoins prudents à ce stade : « Pour intrigantes qu'elles soient, ces différences ne sont pas encore significatives, prévient Renaud Le Gac. Mais nous avons bon espoir de pouvoir conclure dans les prochaines années. »

Belle II : collisions propres et faisceaux de particules ultrafins

Pour y aider, les physiciens du Cern peuvent désormais compter sur leurs collègues de l'expérience Belle II, commencée au Japon en 2018. Tout comme LHCb, l'expérience vise à étudier la physique associée aux mésons B, mais plutôt que d'être engendrés par des collisions entre protons, les mésons de Belle II résultent de collisions entre des électrons et des positrons accélérés dans l'anneau du collisionneur SuperKEKB. Or ceux-ci, à l'inverse des protons qui sont composés de quarks, sont de véritables particules élémentaires. Résultat : des collisions beaucoup plus « propres », dont les « débris » sont beaucoup plus faciles à analyser qu'au LHC.

3. Unité CNRS/École polytechnique. 4. Unité CNRS/Université Grenoble-Alpes. 5. Unité CNRS/Aix-Marseille Université.

“Les neutrinos constituent aujourd'hui la principale voie d'accès à une physique radicalement nouvelle.”

De plus, Belle II a la possibilité de créer des faisceaux de particules d'une extrême finesse – quelques dizaines de nanomètres contre quelques microns en général. Cela a permis l'année dernière d'établir le record mondial de collisions par seconde et par centimètre carré. En revanche, elle ne peut pas rivaliser avec le LHC quant à l'énergie impliquée dans les collisions, si bien que certains mésons B ne peuvent être étudiés actuellement qu'au LHC. Mais comme le résume Isabelle Ripp-Baudot, directrice de recherche à l'Institut pluridisciplinaire Hubert Curien⁶ et membre de la collaboration Belle II, « *Belle II et LHCb sont absolument complémentaires et pourront ainsi, le cas échéant, s'appuyer l'une sur l'autre en cas de découverte extraordinaire.* »

Belle II et LHCb vont également s'attaquer à la violation de la symétrie CP : une toute petite différence observée depuis les années 1960 entre certains processus impliquant des particules de matière et leur équivalent impliquant des particules d'antimatière. La problématique est d'importance car l'existence de cette minuscule asymétrie pourrait expliquer pourquoi notre Univers n'est composé que de matière, alors que le MS prédit une production

égale de matière et d'antimatière. « *Belle II et LHCb permettront d'atteindre des précisions ultimes dans ces mesures* », prévient Isabelle Ripp-Baudot. Toutefois, les expériences Babar et Belle menées dans les années 1990 ont montré que la violation de CP au niveau des quarks est trop faible pour expliquer la totalité du déséquilibre observé entre matière et antimatière.

TK2 en renfort sur la violation de symétrie CP

Pour résoudre cette énigme, les physiciens regardent désormais du côté des neutrinos. En 1998, ils ont mis en évidence que les trois neutrinos connus – électronique, muonique et tauique – ont l'étrange propriété de se transformer les uns dans les autres. On dit qu'ils oscillent. Cette propriété est aussi une condition nécessaire pour que ces particules violent la symétrie CP.

Plusieurs expériences se sont donc attaquées à la mesure de la violation de CP dans le secteur des neutrinos, en particulier l'expérience T2K, conduite au Japon. Dans un dispositif s'étendant sur plusieurs centaines de kilomètres, celle-ci observe la transformation de neutrinos muoniques en neutrinos électroniques. Les derniers résultats, publiés en avril 2020⁷, indiquent que les neutrinos oscillent plus souvent que les antineutrinos du même nom. Ainsi, en l'absence de violation de CP, les expérimentateurs s'attendaient à détecter 68 neutrinos et 20 antineutrinos ; or ils en ont détecté respectivement 90 et 15. Comme l'explique Michel Gonin, directeur de recherche CNRS au LLR et responsable France de T2K : « *Ces résultats, s'ils ne constituent qu'une indication, semblent montrer non seulement qu'il y a bien violation de CP dans le secteur des neutrinos, mais que de surcroît cette violation pourrait prendre la valeur maximale possible.* »

Quoi qu'il en soit, l'expérience qui succédera à T2K est en cours de préparation depuis avril 2020. Bénéficiant d'un accélérateur producteur de neutrinos plus puissant et surtout du volume de détection de 1 000 millions de litres du détecteur Hyper-Kamiokande (contre 50 millions pour Super-Kamiokande, le détecteur utilisé dans T2K), l'expérience commencera en 2027 et devrait permettre de conclure dans le courant de la prochaine décennie. À moins que la réponse ne vienne des États-Unis, où la construction du projet DUNE a débuté, avec des objectifs assez similaires mais une technique de détection différente et complémentaire : des grandes cuves instrumentées en chambre à bulles des temps modernes, avec un volume total de 68 000 tonnes d'argon liquide à -186 °C, placées au fond d'une mine du Dakota du Sud, serviront de cible à un faisceau de neutrinos produit à 1 300 km de là, au laboratoire national Fermi près de Chicago.

KM3NeT-ORCA mesure la hiérarchie de masse

Les neutrinos n'auront pas pour autant livré tous leurs secrets. De nombreux chercheurs considèrent en fait que ces particules constituent aujourd'hui la principale voie d'accès à une physique radicalement nouvelle. Et pour

Déploiement au large de Toulon (Var) des lignes ORCA du détecteur de neutrinos KM3NeT. Objectif : capter les neutrinos produits dans l'atmosphère terrestre et étudier leurs masses.



© PATRICK DUMAS/CNRS / PHOTOHÈQUE IN2P3

6. Unité CNRS/Université de Strasbourg. 7. <https://www.nature.com/articles/s41586-020-2177-0>

«La France a été présente dans toutes les grandes découvertes du domaine»

L'IN2P3 a été créé en 1971. Pour quelles raisons ?

Reynald Pain. La France a un passé glorieux dans le domaine de la physique nucléaire, avec de grands scientifiques comme Marie et Pierre Curie, Henri Becquerel ou Irène et Frédéric Joliot-Curie. En 1971, il existait de nombreux laboratoires universitaires qui menaient d'excellentes recherches mais souvent de manière isolée, voire en compétition les uns avec les autres. Or les sciences qui nous intéressent – physique nucléaire, physique des particules, astroparticules – demandent des moyens importants et l'émergence de l'Organisation européenne pour la recherche nucléaire (Cern) dans les années 1950 avait montré la nécessité de s'organiser au niveau national et international. L'institut a donc été créé, le 14 avril 1971, pour coordonner l'ensemble des efforts de recherche en France dans ces domaines.



© F. PLASCHINS PHOTOTHÈQUE

Le 14 avril, l'Institut national de physique nucléaire et de physique des particules (IN2P3) du CNRS a fêté ses 50 ans. Retour sur les réussites

et projets de l'institut avec son directeur, Reynald Pain.

PROPOS RECUEILLIS PAR SOPHIE FÉLIX

Quelles en étaient les ambitions ?

R. P. Nous étudions à la fois l'infiniment petit et l'infiniment grand. Nous avons donc besoin de fabriquer des accélérateurs de particules qui produisent les plus hautes énergies possible, d'observer les rayonnements cosmiques naturels issus de phénomènes astrophysiques violents dans l'Univers et de traiter et interpréter toutes ces données dans un cadre théorique cohérent. Il fallait donc que la France s'organise pour peser à l'international et construire ensemble, avec d'autres nations, les machines gigantesques et coûteuses comme des accélérateurs et des détecteurs de particules. Cela demande des connaissances et des compétences variées, à la fois scientifiques et techniques : l'IN2P3 a été créé pour cela. Il est l'un des trois instituts du CNRS à mener une mission nationale en coordonnant dans ces domaines les activités de recherche des laboratoires du CNRS et des universités

Quel bilan tirez-vous de ces 50 années de recherche ?

R. P. Aujourd'hui, la France est un acteur majeur du domaine et nous avons été présents dans toutes les grandes découvertes des 30-40 dernières années. Durant cette période,

la physique des deux infinis a été récompensée d'un prix Nobel de physique tous les deux ans et nos scientifiques et nos infrastructures ont eu un rôle clé dans toutes ces réussites. Pour ne citer que les découvertes les plus récentes : le boson de Higgs en 2013, les oscillations de neutrinos qui démontrent que les neutrinos ont une masse en 2015, les travaux sur le fond diffus cosmologique et l'importance de la matière noire en 2019, et bien sûr la découverte des ondes gravitationnelles en 2017 récompensée la même année par la médaille d'or du CNRS.

Et aujourd'hui, comment se porte l'institut que vous dirigez ?

R. P. L'empreinte de la France est toujours très forte à l'étranger et les collaborations internationales, exigeantes en termes d'excellence, restent l'essence même de notre travail. Les projets européens sont souvent multilatéraux mais nous travaillons aussi de manière bilatérale avec le Royaume-Uni, l'Italie et l'Allemagne, où nous installerons notre prochain laboratoire de recherche international (IRL), le DMLab, dédié à la matière noire. Nous travaillons aussi avec les États-Unis, le Japon (notamment via l'IRL Ilance nouvellement créé), la Russie et la Chine.

La crise du Covid-19 change-t-elle votre manière de travailler ?

R. P. Grâce au fort côté international des projets, nos scientifiques ont l'habitude de travailler à distance, mais l'absence de déplacements commence à avoir des conséquences gênantes. Sur le long terme, les voyages courts devraient diminuer au profit des visioconférences, mais nous garderons un besoin d'échanges spontanés, les relations humaines sont indispensables à la recherche !

Instrumentation utilisée pour détecter le signal d'ondes gravitationnelles et contrôler l'interféromètre Virgo (Cascina, Italie).



© CYRIL FRESTON/VIRGO/CNRS PHOTOTHÈQUE

Quelles sont les promesses des années à venir ?

R. P. Le Cern restera au centre de la physique des particules avec la mise en service du HL-LHC qui promet des découvertes et peut-être des signes d'une nouvelle physique. En France, le Grand accélérateur national d'ions lourds (Ganil) à Caen va produire des faisceaux de noyaux exotiques d'une intensité et d'une qualité inégalées. Et de nouveaux accélérateurs de particules sont à l'étude au Cern, au Japon ou en Chine.

Dans le domaine des neutrinos, plusieurs expériences s'apprêtent à mesurer les propriétés avec une précision accrue : Juno en Chine, DUNE aux États-Unis et Hyper-Kamiokande au Japon, dès 2026. Enfin, seule infrastructure de recherche française dans le domaine des astroparticules, l'expérience sous-marine KM3NeT-ORCA, située au large de Toulon et qui vient de conclure sa phase de démonstration, utilisera les neutrinos atmosphériques pour faire progresser notre compréhension de ces particules encore mystérieuses. Autre sujet prioritaire : découvrir la nature de la matière noire. Nous sommes dans un processus continu de développement technologique et des expériences déjà en cours, comme celles situées dans les laboratoires souterrains de Modane ou d'Italie, vont être grandement améliorées. Enfin en cosmologie, le Legacy Survey of Space and Time (LSST) permettra de mieux comprendre l'énergie noire grâce à des observations répétées et systématiques du ciel pendant une dizaine d'années.

Des questions comme la compréhension du vide ou de l'antimatière, et de la raison pour laquelle il y a plus de matière que d'antimatière dans l'Univers, restent aussi au cœur des recherches de l'institut. Notre univers est extraordinaire. Il reste beaucoup de choses à découvrir. ▀

...

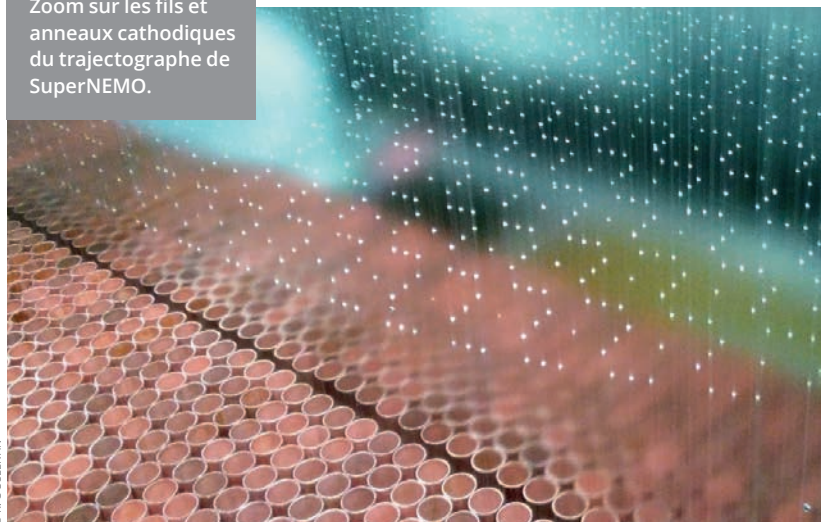
cause : si les neutrinos se transforment les uns dans les autres, la théorie est formelle, c'est qu'ils possèdent une masse. Or d'après le MS, c'est tout simplement impossible. Cette masse est si minuscule qu'il semble difficile de pouvoir la mesurer directement. Dans un premier temps, les physiciens entendent donc accéder à ce qu'ils appellent la hiérarchie de masse, qui se résume à la question suivante : la masse des neutrinos électronique, muonique et tauique va-t-elle croissante, ou bien est-ce l'inverse ? De la nature de cette hiérarchie dépendent les extensions possibles au MS permettant d'expliquer la violation de symétrie CP.

L'objectif de l'expérience KM3NeT-ORCA, qui commence à enregistrer ses premières données, est donc d'étudier cette hiérarchie de masse des neutrinos. Ainsi, lorsqu'elle atteindra son plein régime, plus de 66 000 capteurs de lumière immergés à 2 450 mètres de profondeur et à 40 kilomètres au large de Toulon, auront pour tâche de capter les neutrinos produits dans l'atmosphère terrestre de « l'autre » côté de la Terre, après leur traversée de notre planète ! Comme le détaille Mathieu Perrin-Terrin, chercheur au CPPM et membre de la collaboration KM3NeT, « l'oscillation des neutrinos lors de leur traversée d'une couche de matière dépend de la hiérarchie de masse, et ce d'autant plus que l'épaisseur de cette couche est importante. D'où la configuration de l'expérience ».

SuperNEMO et la double désintégration bêta

Par ailleurs, les scientifiques voudraient comprendre la nature du mécanisme à l'origine de la masse des neutrinos. Selon certains théoriciens, cette masse est d'une manière ou d'une autre liée au boson de Higgs, comme c'est le cas pour les autres particules. Les neutrinos appartiendraient alors à la classe des particules de Dirac, dont la particule est différente de l'antiparticule. D'autres pensent que les neutrinos sont leur propre antiparticule, ce qui les rangerait dans la classe des particules de Majorana et impliquerait l'existence de neutrinos dits « stériles », indétectables mais

Zoom sur les fils et anneaux cathodiques du trajectographe de SuperNEMO.



© K. O'SULLIVAN

ultra-massifs, qui auraient joué un rôle dans la disparition de l'antimatière aux tout premiers instants de l'Univers. Si les neutrinos sont des particules de Majorana, la théorie prévoit qu'à l'issue de la double désintégration bêta de certains noyaux atomiques radioactifs, qui s'accompagne habituellement de la production de deux électrons et de deux neutrinos, les neutrinos ne soient pas émis.

Pour vérifier l'existence du phénomène, des expérimentateurs terminent actuellement la mise en place de l'expérience SuperNEMO, au sein du Laboratoire souterrain de Modane⁸. Elle consiste en 6 kilos de sélénium sous la forme de feuilles de 300 microns d'épaisseur, entourées de près de 15 000 fils et de plus de 700 détecteurs permettant de visualiser la trajectoire des particules et mesurer leur énergie. L'ensemble est protégé de tout rayonnement parasite par une épaisse couche de fer et d'eau et par les 1 700 mètres de roches sous lesquels se trouve le laboratoire. De quoi mettre en évidence cette fameuse réaction de double désintégration bêta sans émission de neutrino. « *SuperNEMO est une expérience offrant une approche de détection unique au monde qui pourrait permettre de révéler la nouvelle physique à l'origine de cette désintégration interdite par le modèle standard* », précise Christine Marquet, directrice de recherche au Centre d'études nucléaires de Bordeaux Gradignan⁹.

EDELWEISS-SubGeV et XENON 1 T à la recherche de la matière noire

En attendant, installée dans le même laboratoire que SuperNEMO, l'expérience EDELWEISS-SubGeV va s'attaquer à un autre phénomène non expliqué par le modèle standard : la nature de la matière noire. Même si elle n'a jamais été détectée directement, les astrophysiciens sont

persuadés de son existence car ils en observent les effets gravitationnels à toutes les échelles du cosmos. EDELWEISS est constituée de détecteurs solides au germanium ultra-sensibles refroidis à une température proche du zéro absolu. « *Une fois optimisée, EDELWEISS-SubGeV nous permettra de détecter d'hypothétiques particules de matière très légères* », explique Corinne Augier, professeure à l'Institut de physique des deux Infinis de Lyon (IP2I)¹⁰ et membre de la collaboration EDELWEISS. En parallèle d'autres expériences traquent sans relâche la matière noire sous la forme de particules plus massives. C'est notamment le cas de l'expérience XENON 1T, installée dans le laboratoire souterrain du Gran Sasso, en Italie. L'année dernière, ses 3,2 tonnes de xénon liquide ont détecté un premier signal. Celui-ci ne correspond pas aux caractéristiques attendues pour la matière noire telle qu'elle est recherchée par cette expérience, mais pourrait correspondre à une particule hypothétique appelée axion. Si cette observation était confirmée, ce qui sera possible d'ici quelques années avec sa successeuse XENONnT, elle deviendrait alors la première expérience à mettre en évidence un phénomène physique « non standard ».

ALPHA-g, AEGIS et GBAR pour peser l'antimatière

À moins que la révolution n'éclate finalement dans l'enceinte du Cern... mais pas au LHC. C'est en tout cas l'espoir des physiciens opérant les trois expériences ALPHA-g, AEGIS et GBAR. Leur ambition : déterminer si, dans un champ de pesanteur, l'antimatière se comporte de la même manière que la matière, ou bien différemment tel que le prévoient certaines théories.

Le principe de ces expériences : lancer une particule d'antimatière et mesurer sa trajectoire en chute libre. À ceci près que le moindre contact entre un grain d'antimatière et la matière environnante se traduit par une annihilation mutuelle. D'où l'extrême difficulté de réaliser une telle expérience, d'autant plus qu'afin d'échapper aux incontournables perturbations électromagnétiques, beaucoup plus fortes que l'effet gravitationnel, les scientifiques ne pourront pas utiliser des antiprotons ou des positrons, électriquement chargés, mais devront d'abord assembler ces particules pour créer des atomes d'antihydrogène neutres.

Et ce ne sera pas tout puisque comme le précise David Lunney, directeur de recherche à l'IJCLab : « *Le plus difficile sera in fine de réduire la vitesse initiale de ces antiatomes, sans quoi il ne sera pas possible d'observer une éventuelle différence de temps de chute avec l'hydrogène.* » Il est possible qu'ALPHA-g produise ses premiers résultats cette année, suivie de ses consœurs l'année prochaine. Selon certains scénarios théoriques, il est envisageable que l'antimatière anti-gravite, auquel cas les antiatomes du Cern, plutôt que de tomber, « s'envoleront » dans le champ de pesanteur ! La physique fondamentale se retrouverait alors bel et bien cul par-dessus tête. **II**

Installation de détecteurs dans le cryostat de la collaboration EDELWEISS au Laboratoire souterrain de Modane.

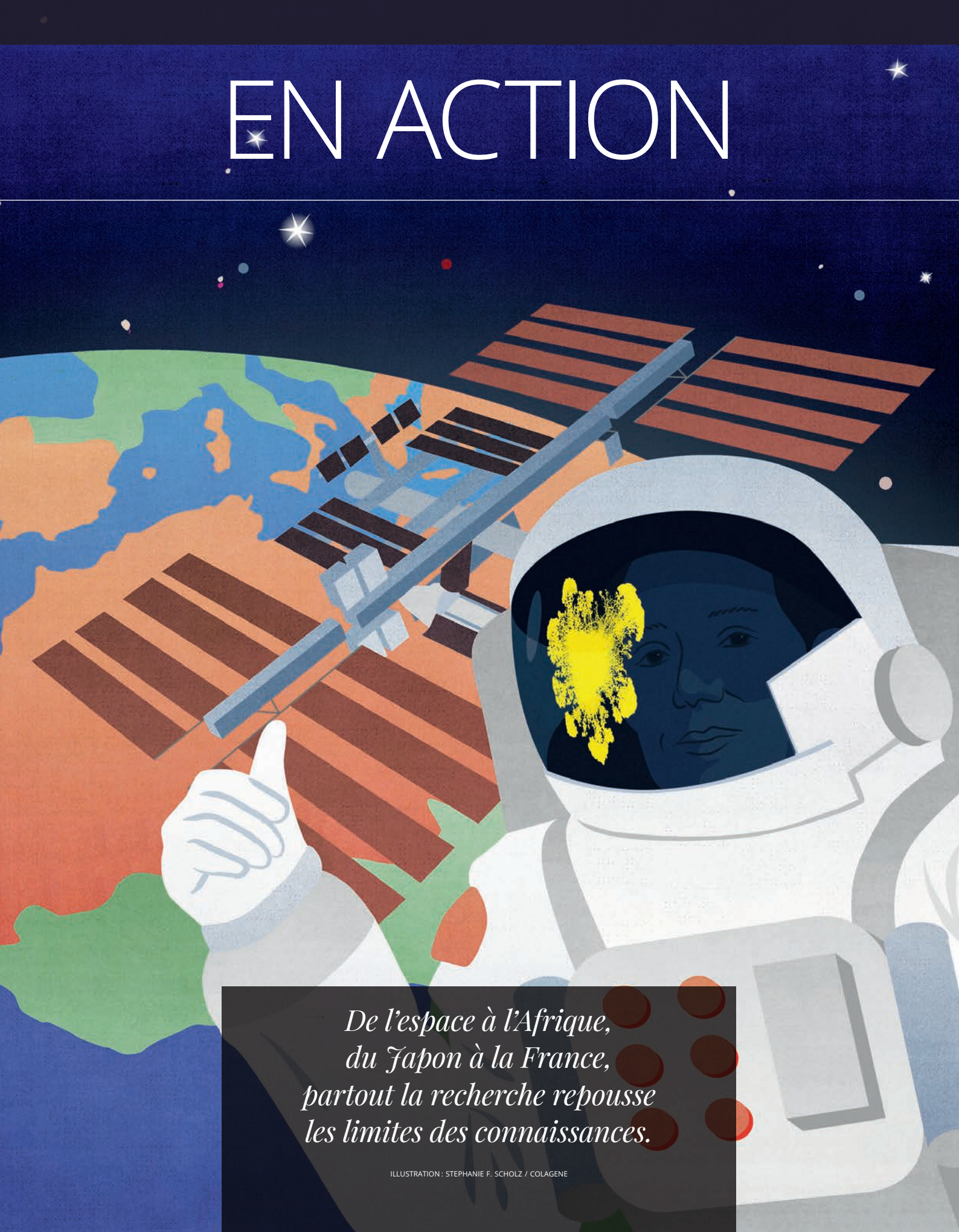


© CNRS/IN2P3

8. Unité CNRS/université Grenoble-Alpes. 9. Unité CNRS/Université de Bordeaux. 10. Unité CNRS/Université Claude-Bernard Lyon 1.



EN ACTION

An illustration of an astronaut in a white spacesuit floating in space. The astronaut's helmet visor shows a dark face with a bright yellow, textured mark on the left side. In the background, a satellite with large solar panels is visible against a dark blue space filled with stars. A portion of the Earth, showing green land and blue water, is visible on the left side of the frame.

*De l'espace à l'Afrique,
du Japon à la France,
partout la recherche repousse
les limites des connaissances.*

ILLUSTRATION : STEPHANIE F. SCHOLZ / COLAGENE

Le blob à la conquête de l'espace

« Je vous propose d'adopter un blob ! » Thomas Pesquet lançait cet appel sur les réseaux quelques semaines avant d'embarquer, le 23 avril, pour son second séjour à bord de la station spatiale internationale (ISS). Les élèves de près de 2 000 classes françaises, de niveau primaire, collège et lycée, sont invités à participer avec le spationaute à une grande expérience sur cette drôle de créature.

« Les blobs sont des amœbozoaires, des organismes composés d'une seule cellule à plusieurs noyaux, explique Audrey Dussutour, directrice de recherche CNRS au Centre de recherches sur la cognition animale¹ et spécialiste de ces créatures étranges. Pourtant unicellulaire, le blob peut s'étendre sur plusieurs mètres carrés et doubler chaque jour de taille. Dépourvu de cerveau, il est capable d'apprendre et mémoriser, de transmettre des informations à ses congénères ou encore de trouver son chemin dans un labyrinthe. »

Issue de la classe des myxomycètes, contenant environ 10 000 espèces, *Physarum polycephalum* s'élève facilement en laboratoire. Mais en sera-t-il de même dans l'espace pour les quatre blobs qui rejoindront l'ISS en juillet ? Thomas Pesquet sera tout d'abord chargé de les sortir de leur dormance en les réhydratant. Un état stationnaire



► Audrey Dussutour avec un blob, placé en dormance au centre d'une boîte en plexiglas translucide (blob cell).

VIVANT 

BIOLOGIE Quatre blobs, êtres unicellulaires dépourvus de cerveau, vont rejoindre Thomas Pesquet à bord de l'ISS au mois de juillet. Ils feront l'objet d'expériences que des milliers d'élèves pourront reproduire sur Terre grâce au concours du Cnes et du CNRS.

PAR MARTIN KOPPE

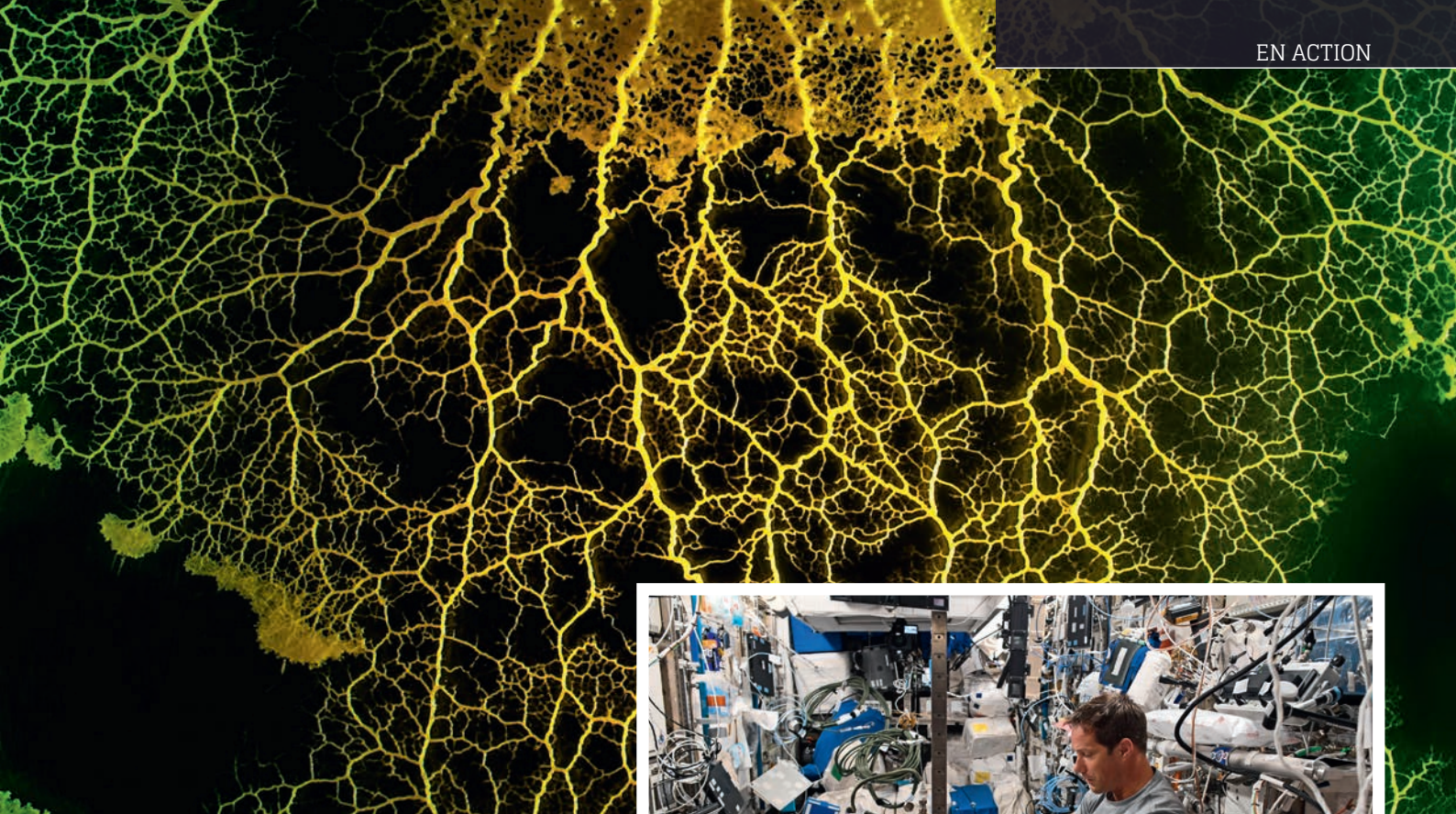
dans lequel ils peuvent rester plusieurs décennies ! Sans que l'on comprenne encore comment elle y parvient, la dormance régénère également la cellule lorsqu'elle a trop vieilli. « Notre doyen fête ses 70 ans et se porte comme un charme, s'amuse Audrey Dussutour. Nous en avons aussi réveillé un qui était en dormance depuis trente ans ! »

« Blob box » et réveil en apesanteur

À bord de l'ISS, les blobs seront maintenus dans des boîtes les protégeant de la lumière, où ils seront filmés par à-coups afin de ne pas trop les exposer, au rythme de quelques secondes toutes les dix minutes. Deux auront dans leur « blob box » quatre flocons d'avoine, leur aliment préféré, les deux autres seront privés de nourriture. Les vidéos montreront si leurs comportements et leurs stratégies changent en microgravité (les résultats de l'expérience ne seront connus qu'une fois que Thomas Pesquet aura ramené sur Terre les cartes mémoire contenant les films). En temps normal, les blobs se connectent aux flocons un par un. Un phénomène que pourront constater les élèves, qui reproduiront l'expérience sur Terre avec les blobs préparés par Audrey Dussutour et son équipe.

Organisée avec le Centre national d'études spatiales (Cnes), cette opération sera avant tout à but éducatif. « Nous ne pourrions malheureusement pas envoyer assez de blobs pour aboutir à une publication scientifique, regrette Audrey Dussutour. Le moindre gramme à expédier dans l'espace coûte extrêmement cher, et chaque élément est soumis à des protocoles stricts. Même la colle des boîtes et les papiers filtres, qui permettront aux blobs de respirer, doivent être homologués. Nous testons d'ailleurs des méthodes pour stériliser les blobs sans les stresser, une étape obligatoire pour tout ce qui rentre dans l'ISS. » Un cahier des charges bien compliqué quand on connaît le talent de ces créatures pour se faufiler dans des espaces infimes, d'autant plus qu'ils

1. Unité CNRS/Université Toulouse Paul Sabatier.



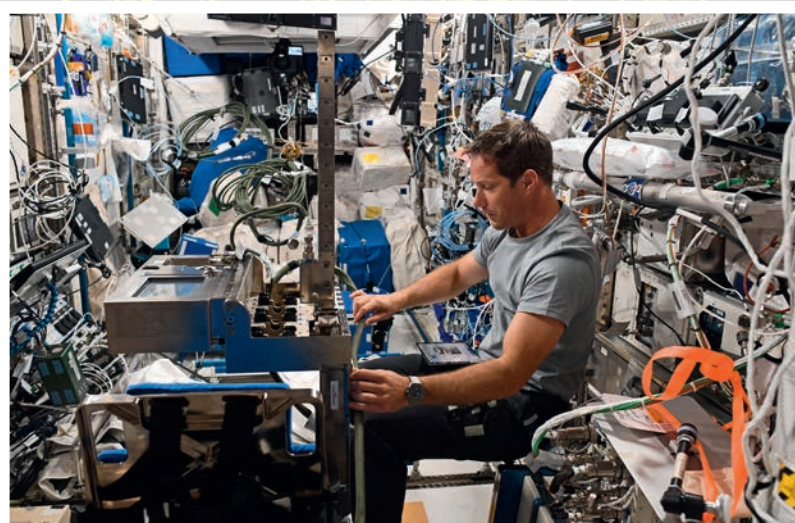
© DAVID VILLA/SCIENCEIMAGE/CBI/CNRS

seront pour la première fois en apesanteur. Les gestes pour les réhydrater et les entretenir sont également consignés et optimisés, car Thomas Pesquet devra les effectuer sans ouvrir les boîtes tout en étant occupé à de nombreuses autres tâches. Les kits envoyés aux établissements scolaires seront bien entendu plus simples, et tiennent dans une enveloppe. « *Nous espérons pouvoir envoyer davantage de blobs sur l'ISS lors d'une prochaine mission, surtout si nous sommes étonnés par leur comportement dans l'espace*, poursuit Audrey Dussutour. *Pour l'instant, ce sera déjà une victoire s'ils se réveillent, car on ne sait pas à quel point l'apesanteur va les affecter. Des tests de vibration ont en tout cas montré qu'ils ne devraient pas être perturbés par les secousses du décollage.* »

Une fois à bord, qui sait comment les blobs vont réagir à la microgravité ? Audrey Dussutour pense que cela leur permettra d'adopter une structure en 3D, formant des sortes de piliers, alors que sur Terre ils s'étalent toujours à plat en suivant les formes de leur substrat. De quoi ajouter de nouveaux talents à cette créature déjà incroyable.

Psychologie du blob et comportements sociaux

La chercheuse et son équipe mènent de véritables expériences de psychologie sur les blobs. Il s'agit de tester leur capacité à prendre des décisions face à des sources de nutriments qu'ils ne peuvent pas toutes atteindre en même temps. Mis en présence de congénères, le blob sait reconnaître qui est en bonne santé et n'est pas stressé par le manque de nourriture. Il va alors s'approcher des biens portants et fuir les autres. Il parvient aussi à identifier ceux qui ont été exposés à la lumière ou empoisonnés, et ce sans avoir à les toucher. « *Le blob va même détecter et éviter un camarade qui a été stressé par le passé, mais a été nourri*



© ESA/NASA - T. PESQUET

▼ le 24 avril, Thomas Pesquet a rejoint l'ISS où il mènera bientôt des expériences avec les blobs. Ces derniers s'étaleront-ils comme sur Terre (en haut), ou adopteront-ils des structures inédites en 3D ?

depuis, s'étonne Audrey Dussutour. *On suppose qu'ils communiquent en diffusant des molécules, mais nous n'avons pas encore trouvé quelles substances chimiques sont utilisées en cas de problème. Ils émettent par contre du calcium quand ils sont en bonne santé, ce qui attire les collègues. Ils fuient surtout les blobs affamés, qui sont pour eux bien pires qu'un individu irradié ou empoisonné !* »

Les blobs sont aussi étudiés pour des questions d'optimisation. Ils sont en effet composés de réseaux de veines qui changent tout le temps de taille et de forme selon les besoins. Une équipe japonaise de l'université d'Hokkaidō a ainsi placé un myxomycète sur une carte du Japon, où des flocons de nourriture étaient disposés au niveau des grandes villes. Le blob s'est alors étendu d'une manière aussi robuste et efficace que le véritable réseau ferré nippon, mais à moindre coût car il reliait moins souvent les points qui étaient déjà suffisamment « desservis ». Après le train et la fusée, que nous réserve le blob pour l'avenir ? II

Pour en savoir +

Retrouvez les expériences menées à bord de l'ISS : <https://bit.ly/3hiQtDI>

L'Afrique, un partenaire d'avenir pour le CNRS

RECHERCHE Avec un premier appel à propositions qui préfigure une feuille de route, le CNRS se donne comme ambition de mieux et plus collaborer avec les pays d'Afrique, continent à fort potentiel scientifique.

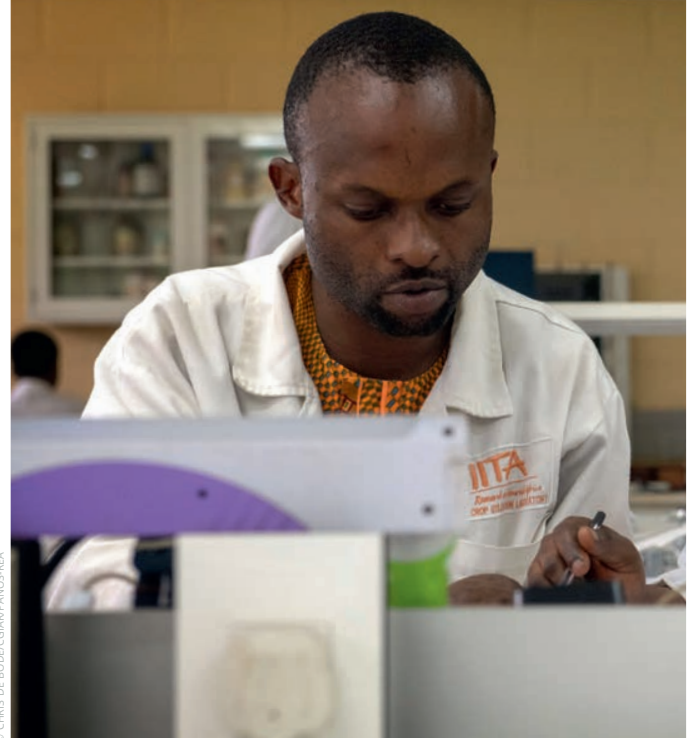
PAR SOPHIE FÉLIX

« **L'** Afrique sera un acteur important des années à venir au niveau scientifique », prédit Antoine Petit, président-directeur général du CNRS. C'est pourquoi l'organisme souhaite « co-construire des collaborations scientifiques basées sur de réels partenariats avec les pays africains ». Une ambition inscrite dans le Contrat d'objectifs et de performance du CNRS et dont la première étape, un appel à propositions lancé auprès de ses chercheurs en décembre 2020, donnera bientôt ses résultats.

Une production scientifique en augmentation

Alors que l'Afrique devrait atteindre un quart de la population de la planète à l'horizon 2050, au niveau mondial, elle ne représente aujourd'hui que 2,4 % des scientifiques, moins de 1 % des dépôts de brevet et moins de 4 % des publications. Cependant, sa production scientifique annuelle n'a cessé d'augmenter au cours de la dernière décennie, comme les engagements financiers en faveur de la R&D de la plupart des pays.

Un continent « en plein essor » donc, qui concentre « de nombreux challenges sociétaux et technologiques nécessitant de la recherche scientifique », explique Amel Feredj, adjointe



© CHRIS DE BODE/CGIAR/PANOS-REA

à la directrice de la Direction Europe de la recherche et coopération internationale du CNRS pour l'Afrique, le Moyen-Orient et l'Inde.

Seuls douze pays, dominés par l'Afrique du Sud, l'Égypte et les pays du Maghreb, produisent à eux seuls 90 % des publications africaines. Les chercheurs africains ont aussi une forte habitude de coopération : 50 % des copublications impliquent une collaboration entre un pays d'Afrique et le reste du monde, même si de forts réseaux de science panafricains existent. Le CNRS est le premier partenaire de copublications non africain des pays du continent sur la période 2010-2019.

L'Afrique profite également d'un certain engouement politique et la France accueillera à Montpellier, cet automne, le 28^e sommet Afrique-France. Cette rencontre de grande envergure prévoit la venue de 500 entreprises françaises et africaines pour échanger sur le thème de la ville et des territoires durables. Dans ce cadre, le CNRS fait état de fortes relations structurées avec les pays du Maghreb et l'Afrique du Sud (voir encadré) et souhaite désormais nouer des partenariats avec l'Afrique subsaharienne¹. Ceux-ci devront répondre « au double objectif d'excellence scientifique et de partenariat équitable et juste », car il s'agit de construire une stratégie de coopération pérenne et basée sur « les valeurs de coopération que nous mettons en place avec tous les pays », explique Alain Schuhl, directeur général délégué à la science du CNRS (DGDS).

Un grand potentiel de collaborations

« Nous avons aujourd'hui de nombreux échanges avec les scientifiques de ces pays, mais très peu d'accords institutionnalisés », détaille Amel Feredj qui cite un laboratoire ainsi que des réseaux et projets « dynamiques » en sciences humaines, écologie et mathématiques. Une étude bibliographique a pourtant montré l'existence de liens forts

1. Ce terme sera utilisé ici pour désigner l'ensemble des pays d'Afrique hors pays du Maghreb, Égypte et Afrique du Sud. 2. Bénin, Burkina Faso, Cameroun, Éthiopie, Ghana, Kenya, Nigéria, Ouganda, Sénégal et Tanzanie.



► Un laboratoire à l'Institut international d'agriculture tropicale (IIAT) à Ibadan, au Nigéria. L'agriculture est un thème de recherche central en Afrique subsaharienne.

entre chercheurs africains et français, dans une large palette de thématiques scientifiques.

Pour évaluer le potentiel de collaborations institutionnalisées, la gouvernance a donc d'abord voulu questionner les communautés de recherche du CNRS sur leur intérêt à travailler avec leurs homologues d'Afrique subsaharienne, et en particulier dix pays prioritaires² sélectionnés sur leur dynamique de publications et la confiance de leurs dirigeants dans la science comme « *clé pour relever les défis sociétaux auxquels ils font face* ». L'appel lancé a montré « une vraie attente », avec 221 propositions issues de laboratoires de tous les instituts du CNRS et portant majoritairement sur des collaborations avec les pays prioritaires (70 %), en particulier le Sénégal (23 %). Une quarantaine de projets devraient être financés, pour un montant total d'environ 600 000 euros.

Ces projets seront mis en œuvre par des échanges entre des chercheurs ou chercheuses permanents dans une unité CNRS ou une université africaine, l'organisation de séminaires de recherche thématiques, des séjours courts pour doctorants ou post-doctorants, ou encore des demandes d'équipements. Les thématiques sont variées : santé (immunologie, parasitologie, maladies infectieuses, médecine tropicale et santé publique), sciences environnementales, ressources en eau, agriculture et conséquences du changement climatique, mais aussi zoologie et mathématiques fondamentales. Des domaines qui reflètent souvent les plans de développement nationaux et régionaux, mais surtout pour lesquels une « *recherche bilatérale pourra se mettre en place rapidement* », selon Alain Schuhl.

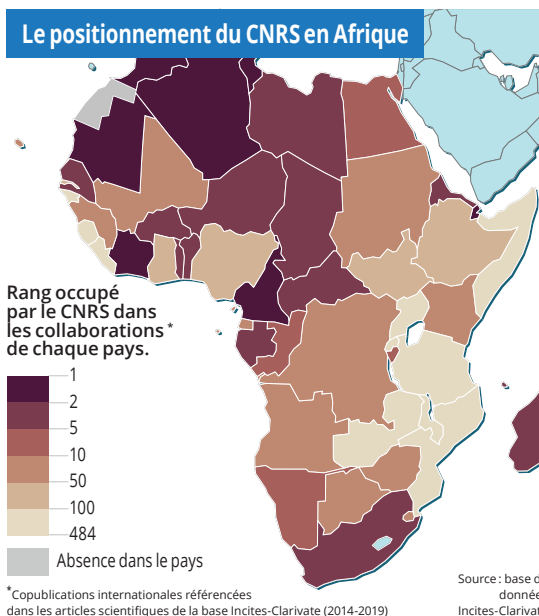
Une démarche intégrée à visée internationale

L'appel à propositions aura ainsi permis d'établir une cartographie des intérêts que le CNRS partage avec l'Afrique, préfigurant une feuille de route pluriannuelle qui devrait être établie pour l'automne. Celle-ci s'inscrira dans une stratégie plus globale, notamment en lien avec les actions internationales inscrites dans la politique européenne, en associant l'Institut de recherche pour le développement et le Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement, l'Institut national de la recherche agronomique, l'Agence nationale de la recherche et le ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation. Elle devrait notamment contenir l'établissement de hubs de sciences où des séminaires scientifiques pourraient se tenir avec le soutien des ambassades françaises locales, un prix CNRS du jeune scientifique africain et la multiplication de structures comme les laboratoires de recherche internationaux (IRL) et les réseaux de recherche internationaux (IRN). II

Des liens à élargir

La feuille de route Afrique du CNRS concerne particulièrement les pays d'Afrique subsaharienne, car des relations sont déjà établies avec l'Afrique du Sud, les pays du Maghreb et l'Égypte. En Afrique du Sud, pays qui investit des moyens importants dans la recherche et qui est très connecté aux écosystèmes internationaux, « *notre stratégie est la même qu'avec tout grand pays de science* », indique Amel Feredj. Des partenariats sont donc mis en place avec les grandes institutions locales, comme le programme conjoint de doctorat à l'université du Witwatersrand à

Johannesburg qui permet aussi aux chercheurs CNRS d'obtenir le statut de professeur invité. Un Bureau du CNRS y est également établi. L'Égypte, qui talonne l'Afrique du Sud à la tête du classement des pays publiant le plus en Afrique, ainsi que les pays francophones du Maghreb ont des systèmes de recherche organisés et reliés aux communautés de recherche internationales. Des stratégies spécifiques tournées vers la dynamique euro-méditerranéenne d'une part et la péninsule arabique d'autre part sont en cours de réflexion.



L'aération : une arme fatale contre le Covid-19 ?

MATIÈRE

VIVANT

PHYSIQUE Un groupe de chercheurs s'organise afin de promouvoir l'utilisation de détecteurs de CO₂ dans les lieux fermés. Leur but : une meilleure ventilation des espaces intérieurs pour aider à lutter contre la propagation du nouveau coronavirus.

PAR SEBASTIÁN ESCALÓN

Benoît Semin, physicien du laboratoire Physique et mécanique des milieux hétérogènes¹, s'est douté très tôt que l'une des voies d'infection du virus était liée aux aérosols, ces fines particules issues de nos voies respiratoires et qui restent longtemps en suspension dans l'air. Pour ce spécialiste de la dynamique des fluides, la ventilation était l'une des clés pour limiter la propagation du Covid-19. Dès juin dernier, il s'est donc intéressé aux détecteurs de dioxyde de carbone (ou CO₂). La concentration de ce gaz augmente en effet dans les espaces clos du fait de notre respiration. Et moins un espace est ventilé, plus celle-ci s'élève au-dessus des 400 parties par million (ppm) correspondant au taux de CO₂ présent dans l'atmosphère.

En septembre, le chercheur a organisé une visioconférence pour en discuter avec ses collègues. Parmi eux, François Pétrélis, chercheur du Laboratoire de physique de l'École normale supérieure², a décidé de placer dans sa salle de cours un détecteur de CO₂ indiquant les taux supérieurs à 800 ppm,

« seuil le plus souvent recommandé par les autorités en France », commente Benoît Semin. Résultat : « les étudiants ouvraient eux-mêmes les fenêtres quand c'était nécessaire, explique François Pétrélis. Auparavant, ils auraient plutôt eu tendance à se plaindre du froid ». L'expérience a convaincu les chercheurs et un groupe de physiciens, biologistes, mathématiciens, médecins et membres du Haut conseil de la santé publique s'est rassemblé pour créer le « Projet CO₂ ».

Cacophonie virale

Au début de la pandémie, l'Organisation mondiale de la santé (OMS) démentait le fait que les aérosols soient une voie d'infection du SARS-CoV-2. Seules les gouttelettes (plus grosses et qui retombent plus vite sur les surfaces) étaient alors jugées responsables. Cette erreur initiale a notamment repoussé l'adoption des masques par les pays occidentaux et reste difficile à comprendre dans la mesure où « les maladies respiratoires comme la tuberculose, la grippe, le SRAS³ ont une composante aérosol »,

Pour en savoir +
le site web du projet CO₂ :
<http://projetco2.fr/>.



Des élèves passent un examen équipés de masques de protection, dans une salle aux fenêtres grandes ouvertes (Groß-Gerau, Allemagne, 21 avril 2020).

rappelle Benoît Semin. Les preuves se sont depuis accumulées. Des recherches sur des rongeurs et des furets ont montré que le virus se propageait entre cages peu proches. Et l'analyse de clusters a prouvé que l'on peut se contaminer sans contact direct avec un individu infecté. Or si le virus reste dans l'air, la règle des deux mètres de distanciation est insuffisante dans des salles mal ventilées.

En juillet 2020, 239 scientifiques ont adressé une lettre ouverte à l'OMS lui enjoignant de prendre en compte ce risque. Pour beaucoup d'entre eux, les aérosols étaient même la voie principale d'infection. L'OMS a fini par en prendre acte et les autorités sanitaires nationales ont adapté leurs recommandations. La ventilation, qui permet de disperser les aérosols, est alors devenue un fort enjeu de santé publique. En mars 2021, l'OMS elle-même a publié ses recommandations en la matière. Enfin, une étude publiée mi-avril dans *The Lancet*⁴ affirme, définitivement peut-être, que la transmission du SARS-CoV-2 se fait principale-

1. Unité CNRS/Sorbonne Université/ESPCI Paris/Université de Paris. 2. Unité CNRS/Sorbonne Université/ENS Paris/Université de Paris. 3. Maladie causée par le virus SARS-CoV-1 et apparue en novembre 2002 en Chine. 4. Greenhalgh, T., Jimenez, J., Prather, K. et al., "Ten scientific reasons in support of airborne transmission of SARS-CoV-2", *The Lancet*, 15 avril 2021.



© SEBASTIAN GOLLNOW/PAUPA PICTURE-ALLIANCE VIA AFP

ment par aérosols, renforçant l'intérêt du port du masque et minorant celui du nettoyage des surfaces.

Pour un air intérieur de qualité

« Le taux de CO_2 indique combien de fois l'air d'une pièce a déjà été respiré », reprend François Pétrélis. Plus ce taux est proche de celui de l'atmosphère, mieux le lieu est ventilé et moins le risque d'infection est grand.

Problème : « la plupart des gens croient leur pièce assez aérée même si ce n'est pas le cas. » Pour se décider à ouvrir les fenêtres, il faut prendre conscience du niveau réel de ventilation. Bureaux, restaurants, usines, théâtres... devraient mesurer régulièrement le taux de CO_2 avec des détecteurs. D'autant qu'ils sont aussi faciles à utiliser qu'un thermomètre et ne coûtent que 100 ou 200 euros.

On peut aussi imaginer que l'Éducation nationale en équipe chaque établissement, comme au Luxembourg. La mesure vaudrait le coup : « la situation épidémiologique reste préoccupante, et l'amélioration de la ventilation est une mesure de prévention réalisable à court terme. Cela permettrait aussi de réduire les contaminations liées aux maladies respiratoires saisonnières et d'être mieux préparé en cas de nouvelle pandémie par aérosols », commente Benoît Semin.

Le taux de CO_2 est aussi une problématique en soi : au-delà de 1 000 ppm, les capacités cognitives sont affectées, la concentration diminue et des maux de tête peuvent survenir. Or, d'après une enquête de 2018 de l'Observatoire de la qualité de l'air intérieur, 36 % des écoles maternelles et élémentaires ont au moins une classe où le taux de CO_2 approche 1 700 ppm ! Enfin, une meilleure ventilation des espaces intérieurs réduirait la concentration de certaines molécules toxiques (benzène, toluène, moisissures...).

Les chercheurs du Projet CO_2 ont créé un site web riche de conférences, de documents techniques et de matériel pédagogique pour fabriquer en classe des détecteurs CO_2 . Ils mènent aussi des actions de vulgarisation dans les médias et via des initiatives comme « La main à la pâte ». Et Benoît Semin prépare des projets de recherche avec le CHU de Nantes et l'AP-HP. « Des questions basiques, par exemple sur la façon dont varie la probabilité d'infection en fonction du taux de CO_2 , n'ont pas encore de réponse. Il reste beaucoup à faire... », conclut-il. ■



Lire l'intégralité de l'article sur lejournalcnrs.fr

En bref

ASTRONOMIE

L'Europe était jusqu'ici dotée de deux grands réseaux collaboratifs pour les observations astronomiques au sol, l'un optique et l'autre dans le domaine des ondes radio. En se regroupant aujourd'hui, Opticon et RadioNet donnent naissance au plus grand réseau collaboratif européen d'astronomie au sol. Amorcé grâce à une subvention de 15 millions d'euros du programme européen H2020, ce réseau ORP vise à harmoniser les méthodes et outils d'observation, et à favoriser l'accès à un éventail élargi d'installations astronomiques. Le CNRS coordonnera le projet, avec l'université de Cambridge (Royaume-Uni) et le Max-Planck Institute for Radio Astronomy (Allemagne).

ÉTHIQUE

Le Comité d'éthique du CNRS (Comets) a publié un nouvel avis sur le principe de précaution et la responsabilité morale des chercheurs liés aux risques de certaines applications de la recherche. Il comprend des recommandations destinées d'une part aux établissements de recherche, d'autre part à leurs personnels. L'avis est à consulter dans son intégralité sur <https://comite-ethique.cnrs.fr/2470-2/>

PARTENARIATS

Ces dernières semaines, le CNRS a renforcé ses liens avec plusieurs de ses partenaires universitaires. Des conventions de partenariat avec les universités de Lille, Montpellier, Paul-Valéry Montpellier 3, Bordeaux, Nantes et Picardie Jules-Verne ont ainsi témoigné de la détermination de l'organisme et des universités à poursuivre la construction d'une politique scientifique partagée.

Fukushima : les leçons d'une décontamination

© BENOIT DECOUT/REA

MATIÈRE

TERRE



ENVIRONNEMENT Après l'accident de la centrale nucléaire en mars 2011, les autorités japonaises ont décidé de décontaminer la région. Olivier Evrard, spécialiste en géosciences, nous explique la stratégie employée et les inconnues qui subsistent.

PROPOS RECUEILLIS PAR JULIEN BOURDET

La catastrophe de Fukushima a engendré d'importantes retombées de matière radioactive sur une zone de 9 000 km², grande comme la Corse. Quelle a été la stratégie des autorités japonaises pour décontaminer cette zone ?

Olivier Evrard¹. La stratégie a consisté à retirer, dans les champs cultivés et les jardins des zones résidentielles, la couche superficielle du sol sur une épaisseur de cinq centimètres. Les études avaient montré, en effet, que le radionucléide représentant le plus de risque pour la population, le césium 137 – un isotope du césium –, émis en quantité lors de l'accident et dont on estime qu'il subsistera deux siècles dans l'environnement en l'absence d'action de décontamination, est fortement piégé par l'argile

présente dans les premiers centimètres de terre. En décapant la surface du sol, on se débarrasse du même coup de l'essentiel du césium. Si au départ, l'idée était relativement simple, le chantier de nettoyage, commencé en 2013 et achevé en 2019, a quant à lui été colossal : il a coûté 24 milliards d'euros, impliqué 16 000 personnes et généré 20 millions de mètres cubes de déchets – soit 8 000 piscines olympiques – qui seront stockés pendant plusieurs décennies à proximité de la centrale avant d'être envoyés dans des sites de stockage définitif en dehors de la préfecture de Fukushima, à l'horizon 2050.

Ces travaux de décontamination, qui constituent une grande première après un accident nucléaire, se sont-ils révélés efficaces ?

O. E. Oui. Dans une étude publiée en 2019², nous avons montré que le

décapage du sol a permis de réduire les concentrations en césium de 80 %, et ainsi de ramener la radioactivité résiduelle dans les zones décontaminées au niveau de la radioactivité naturelle moyenne sur le territoire japonais.

Les habitants, qui commencent à revenir dans la région, ne courent-ils pour autant plus aucun risque ?

O. E. Difficile à dire car il reste encore de nombreuses inconnues. Par exemple, les forêts et les zones montagneuses n'ont pas été décontaminées, pour des raisons de coût et parce que ce serait très difficile techniquement. Or, celles-ci couvrent les trois-quarts de la surface touchée par le panache radioactif. Elles constituent donc un réservoir potentiel, à long terme, de césium qui pourrait être redistribué par les cours d'eau vers les parties basses habitées. D'où l'importance de continuer à suivre régulièrement les niveaux de radioactivité dans les sédiments au niveau des fleuves côtiers et des lacs. Autre interrogation : les autorités japonaises ont finalement décidé de ne pas décontaminer les zones les plus proches de la centrale. Là aussi, il faudra continuer à suivre les niveaux et les transferts de radioactivité.

1. Chercheur au Commissariat à l'énergie atomique (CEA), au Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement (CNRS/Univ. Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines/CEA) dans l'équipe Géochimie des impacts. 2. « Effectiveness of landscape decontamination following the Fukushima nuclear accident: a review », O. Evrard et al., *SOIL*, 5, 333, 2019.

► Déchets contaminés entreposés dans un «kariokiba» de la région de Fukushima (novembre 2014).

Quelles autres questions sont encore en suspens ?

O. E. Il y a d'abord le problème du retraitement des déchets. Entreposer la terre contaminée n'est pas une solution en soi, il faudrait parvenir à en extraire le césium pour le retraiter et récupérer la partie dépolluée. Plusieurs procédés ont été testés sur de petites quantités de sol, mais pour le moment aucun n'est applicable à grande échelle. Se pose ensuite la question de la ré-exploitation des parcelles agricoles. Dans les zones décontaminées, la partie manquante du sol a été remplacée par du granite concassé disponible localement, qui a été ensuite mélangé avec la sous-couche. Mais ces « nouveaux » sols sont-ils toujours aussi fertiles ? Et que doivent planter les agriculteurs pour limiter au maximum le transfert du césium résiduel dans les plantes ainsi que sa diffusion dans l'environnement, par l'érosion et la pluie ? C'est un point important car l'activité agricole pourrait aussi reprendre dans les zones proches de la centrale qui ne seront pas décontaminées.

Que conseiller alors aux agriculteurs qui souhaitent reprendre leur activité ?

O. E. Une des pistes serait l'utilisation des terres pour des cultures non alimentaires, destinées à la production de biocarburants ou de biomatériaux. La population appréhende encore de consommer de la nourriture produite localement, même si les études scientifiques montrent que le riz, par exemple, absorbe finalement très peu de césium d'un sol contaminé. De ce point de vue-là, la phytoremédiation, qui consiste à utiliser des végétaux capables, au contraire, d'absorber beaucoup de césium, a montré depuis ses limites : trop de cycles de culture pour être efficace et trop de biomasse contaminée à gérer. Reste que la reprise agricole devra être suivie de près par les chercheurs : il faudra déterminer en quelle quantité cette activité, qui met à nu le sol une partie de l'année et l'expose ainsi à l'érosion, participe à la dissémination du césium. Nous avons d'ailleurs le projet de faire de telles mesures sur des parcelles tests situées hors du panache, dans la zone décontaminée et dans la zone non décontaminée³.



À lire :

Fukushima, 10 ans après. Sociologie d'un désastre nucléaire, Cécile Asanuma-Brice, éd. MSH Paris, mars 2021, 256 p., 12 €.

► Géologues de la Japan Atomic Energy Agency inspectant une station d'observation des effets du césium (novembre 2014).



© BENOÎT DECOUTRÉA

Les leçons tirées de la décontamination seront-elles utiles dans le cas d'un autre accident nucléaire ?

O. E. Ce retour d'expérience sera très utile pour mieux gérer les conséquences d'éventuels accidents nucléaires et industriels en général – comme l'incendie de l'usine Lubrizol à Rouen en 2019 – où les mêmes problématiques de redistribution de la contamination se retrouvent. Toutes les mesures de terrain réalisées à Fukushima vont nous permettre de calibrer nos modèles⁴ de transfert de polluants dans l'environnement, qui constitueront à l'avenir de véritables outils d'aide à la décision pour les politiques. On pourra par exemple arbitrer entre un scénario à la Tchernobyl, où on ferme la zone touchée en laissant la nature reprendre ses droits, ou un autre à la Fukushima où on intervient directement pour « reconquérir » le territoire.

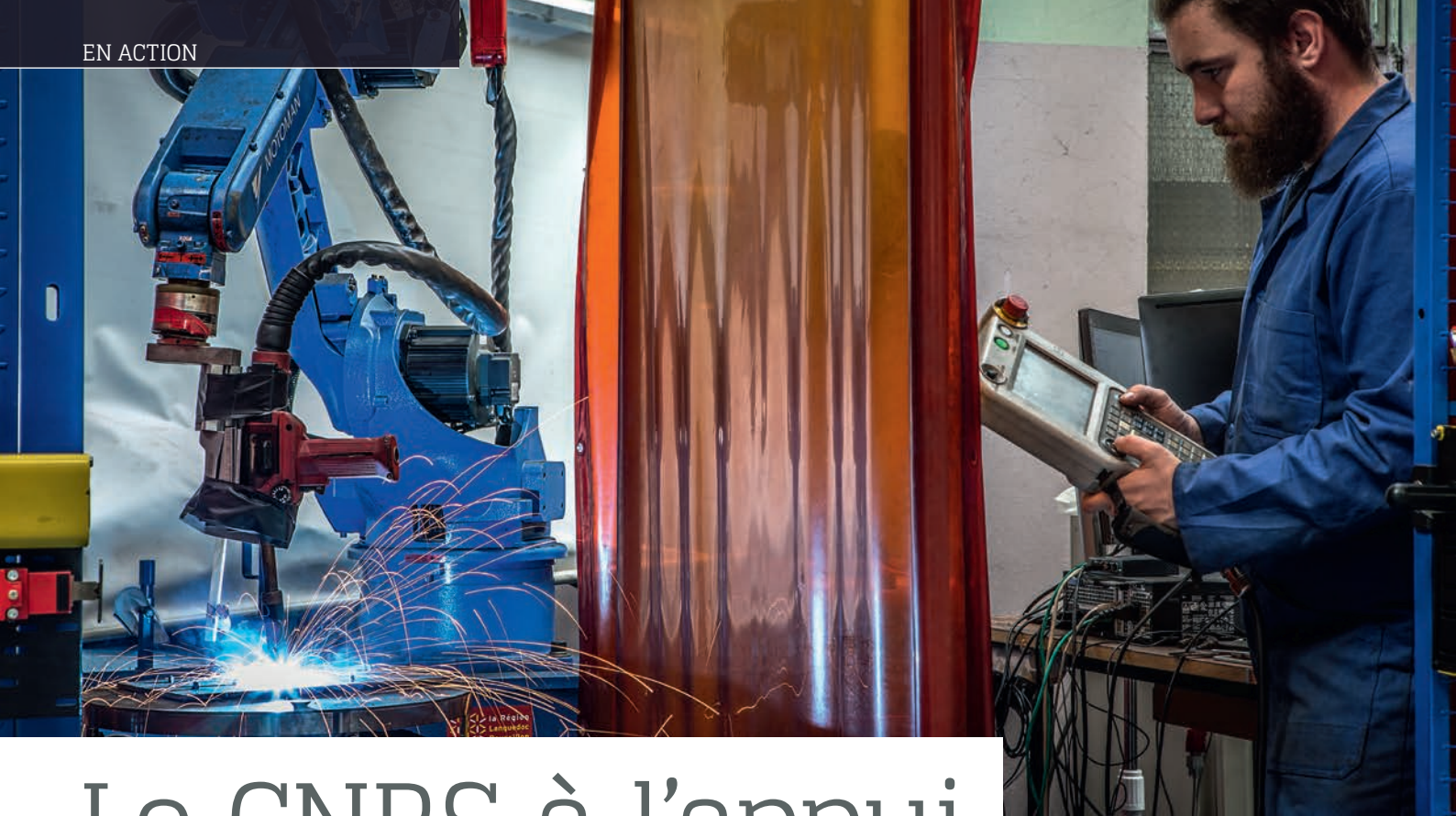
Faudra-t-il impliquer la population dans ces décisions ?

O. E. Ce sera essentiel pour la réussite du projet. On le voit à Fukushima où le bénéfice des travaux de décontamination est à ce jour relativement faible au regard de leur coût, puisque dans la majorité des communes évacuées après l'accident, on enregistre moins de 30 % de retour. Pour trouver les bonnes solutions, il faudra non seulement continuer à évaluer l'évolution des taux de contamination dans les zones repeuplées mais aussi comprendre ce que les gens reprennent comme activité et pourquoi. C'est pour cette raison que nous avons lancé en 2020 et pour cinq ans, avec Cécile Asanuma-Brice, sociologue au CNRS, le programme de recherche international Mitate Lab⁵ dans lequel on abordera la question de la réouverture de la zone évacuée sous tous ses aspects : physiques, chimiques, biologiques et humains. Pour qu'aucune donnée du problème ne nous échappe. ||



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

3. Projet porté par l'Institut de biosciences et biotechnologies d'Aix-Marseille. 4. Développés avec le Bureau de recherches géologiques et minières. 5. Un programme accueilli par l'université Nihon de Tokyo et qui réunit le CNRS, le CEA, avec divers organismes de recherche japonais dont l'université de Fukushima, le NIES et l'université préfectorale de Kyoto.



Le CNRS à l'appui des entreprises

► Le CNRS pourra accueillir des ingénieurs et scientifiques issus des entreprises.

« Une mesure exceptionnelle dans une période sanitaire et économique difficile. » C'est

ainsi que Jean-Luc Moullet, directeur général délégué à l'innovation du CNRS, résume le dispositif du plan France Relance visant à préserver les emplois de R&D privés et à favoriser l'insertion des jeunes docteurs et diplômés. À ce jour, la majorité des organismes et établissements de recherche français se sont engagés dans le cadre de cette mesure dotée globalement de 300 millions d'euros de budget, avec l'objectif de venir en aide aux entreprises touchées par la crise économique qui accompagne la crise sanitaire du Covid-19.

Près de 270 emplois concernés

Avec un budget de 41 millions d'euros, reçu dans le cadre d'une convention signée avec l'Agence nationale de la recherche, « le CNRS vise à créer ou sauvegarder de l'ordre de 270 emplois », décrit Chantal Vernis, directrice des

PARTENARIATS Grâce à un dispositif dédié du plan France Relance, le CNRS dispose de nouveaux moyens financiers pour développer ses activités de recherche partenariale avec les entreprises.

PAR SOPHIE FÉLIX

opérations à la direction générale déléguée à l'innovation (DGDI), en charge de cette mesure du plan France Relance au sein du CNRS. Un nombre qui pourra varier selon les demandes des entreprises, prises en compte au fil de l'eau dans la limite du budget alloué. « Dès le début de la crise du Covid-19, nous avons vu l'impact économique sur les entreprises avec lesquelles nous sommes engagés dans des collaborations de recherche », raconte Chantal Vernis.

Deux types d'actions (voir encadré) sont proposées dans le cadre de cette mesure : il peut s'agir d'accueillir des ingénieurs et scientifiques issus des entreprises sur une période donnée ou encore de recruter de jeunes diplô-

més sur des contrats à durée déterminée, dont une partie se passe au sein de l'entreprise partenaire.

Des relations durables

Cette mesure s'inscrit surtout dans « l'orientation stratégique de long terme du CNRS d'approfondissement des relations avec les entreprises », précise Jean-Luc Moullet. Augmenter les porosités entre entreprises et laboratoires permet ainsi de « mieux diffuser les connaissances scientifiques dans le monde économique ». Un objectif déjà présent dans le Contrat d'objectifs et de performance 2019-2023 du CNRS qui ambitionne de « contribuer au renforcement du potentiel scientifique des entreprises, dans le cadre d'une écoute, d'un

dialogue et d'un partenariat renouvelés ». Outre l'apport scientifique, l'échange de personnels permet aussi une « *meilleure connaissance réciproque* » et un « *partage des cultures* » entre laboratoires et entreprises, ce qui renforce les liens et favorise des relations plus durables. En témoignent les nombreux laboratoires communs nés de ce type de relations entre scientifiques.

Plusieurs démarches sont prévues pour diffuser l'information. Les services Partenariat et Valorisation des 18 délégations du CNRS sont à la disposition des clubs d'entreprises intéressés pour présenter la mesure. Avec la direction des relations avec les entreprises du CNRS, la DGD organise à cette fin un webinaire fin mai. « *Nous nous devons d'être exemplaires dans la mise en œuvre de cette mesure du plan France Relance en termes de rapidité de déploiement et d'atteinte de nos objectifs de développement partenarial avec les entreprises* », conclut Jean-Luc Moullet. ▮

La mesure en détails

Via cette mesure du plan France Relance, le CNRS peut prendre en charge une partie de la rémunération de personnels R&D engagés dans une collaboration de recherche avec l'organisme, selon quatre actions :

Accueil de personnels R&D en CDI dans une entreprise :

- ✓ mis à disposition dans un laboratoire public pour plus ou moins 80 % de leur temps de travail sur 12 à 24 mois ;
- ✓ mis à disposition dans un laboratoire public pour plus ou moins 50 % de leur temps de travail sur 36 mois, afin de suivre une formation doctorale (« thèse de milieu de carrière »).

Recrutement en CDD de jeunes diplômés, accueillis dans un laboratoire public (20 % du temps de travail) et dans une entreprise (80 %) pour 24 mois maximum, en vue de faciliter leur insertion professionnelle :

- ✓ jeunes diplômés de niveau Master 2 (bac+5) ;
- ✓ jeunes docteurs.

En bref

LE CNRS À VIVATECH

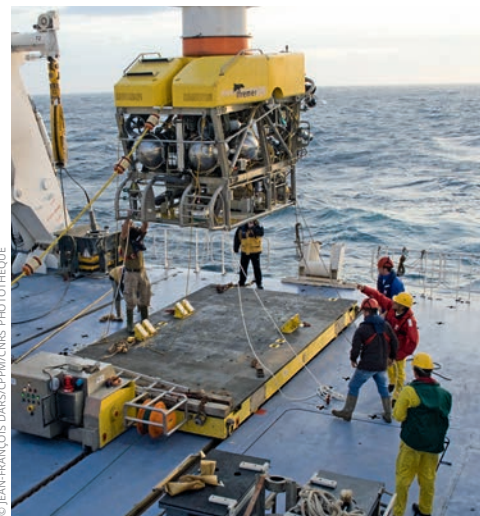
Pour la deuxième fois, le CNRS sera présent au rendez-vous de la tech mondiale en Europe du 16 au 19 juin, à Paris. L'occasion pour l'organisme de présenter un large panel de son savoir-faire dans la DeepTech. À découvrir par exemple : des biocapteurs pour le diagnostic médical et le suivi des patients à distance, des solutions pour augmenter la durée de vie des modules photovoltaïques, ou encore un vélo qui stimule les muscles de personnes en situation de handicap moteur. Les technologies quantiques et l'hydrogène seront particulièrement à l'honneur.

UNE FÉDÉRATION POUR L'HYDROGÈNE

La Fédération Hydrogène du CNRS (FRH2) a été officiellement lancée le 9 mars dernier. Elle regroupe plus de 270 chercheurs et 28 laboratoires CNRS, en partenariat avec des universités, organismes de recherche et écoles d'ingénieurs. Objectif : permettre à cette « énergie du futur » de devenir un élément clé de la transition énergétique. Pour rappel, le CNRS et le CEA assurent le pilotage scientifique du Programme et équipements prioritaires de recherche dédié à l'hydrogène et doté d'un budget de 80 millions d'euros.

UN GDR POUR LES MERS...

Le CNRS, l'un des tout premiers organismes de recherche sur les mers et l'océan au monde, vient de créer le Groupement de recherche (GDR) Omer sur les mers et océans, au sein duquel l'écologie et les sciences du climat se mélangent à la philosophie, l'économie et l'art. Lancé pour une durée de cinq ans, le GDR devrait regrouper 4 à 5 000 scientifiques. Cette création s'inscrit dans un paysage où les programmes sur l'océan se multiplient, avec par exemple la décennie des océans des Nations unies, le programme Starfish de la Commission européenne ou encore le programme prioritaire de recherche Océan piloté par le CNRS et l'Ifremer.



© JEAN-FRANÇOIS DARCY/CPMA/CNRS PHOTOOTHÈQUE

▼ Mise à l'eau du robot téléopéré Victor.

... UNE COALITION POUR LES ALGUES

Le CNRS, la Fondation Lloyd's Register et le Pacte mondial des Nations unies (UNGC) s'associent pour lancer la Safe Seaweed Coalition, première institution internationale dédiée à la valorisation des algues marines. L'objectif est de développer leur culture et leurs utilisations dans les secteurs alimentaire, agricole, médical, cosmétique et des matériaux, tout en répondant aux préoccupations environnementales et climatiques. Le CNRS assurera le rôle de pilote scientifique et redistribuera les plus de 2,8 millions d'euros apportés par la Fondation Lloyd's Register.



© JEAN-CLAUDE MOSCHETTI / IMN / CNRS PHOTOOTHÈQUE

▼ Station-service hydrogène à Nantes.



Quand les enfants rescapés racontaient le génocide des Tutsi

SOCIÉTÉS



© D.R.

HISTOIRE En 1994, le génocide des Tutsi a causé près d'un million de morts au Rwanda. Douze ans plus tard, dans un pays encore fragile, des orphelins rescapés ont rédigé leurs témoignages. Des archives sur lesquelles s'est penchée l'historienne Héléne Dumas.

PROPOS RECUEILLIS PAR GRÉGORY FLÉCHET

Héléne Dumas, vous vous attachez depuis des années à construire une historiographie du génocide des Tutsi. Qu'en est-il aujourd'hui du travail de mémoire associé à ce génocide ?

Héléne Dumas 1. Ce travail a débuté dès la fin de l'année 1994 au Rwanda. Dans les mois qui ont suivi l'arrêt des massacres s'est forgée une véritable « culture survivante », qui s'est exprimée au travers de très nombreux poèmes, chants, témoignages audio ou vidéo... Des centaines de milliers de sources accumulées au fil des années permettent aujourd'hui de comprendre la manière dont cette mémoire s'est structurée depuis la fin du génocide. Se pose dès lors la question de la préservation de ces archives en même temps que celle de la mémoire des survivantes et des survivants. Par ailleurs, de très nombreux fonds méritent encore d'être explorés avec attention.

Comment vous êtes-vous intéressée aux témoignages d'un groupe d'enfants victimes du génocide ?

H. D. Tout est parti d'une rencontre fortuite en 2016, alors que j'aidais à trier des documents dans la bibliothèque de la Commission nationale de lutte contre le génocide (CNLG) au Rwanda. Dans une armoire, j'ai découvert de fragiles cahiers d'écoliers sur lesquels étaient couchés les récits en kinyarwanda (*la langue nationale du Rwanda, parlée par la totalité de la population du pays, Ndlr*) de la vie avant, pendant et après le génocide, de 105 orphelins victimes de ces massacres. Après avoir photographié chaque page de ces récits, je me suis attelée à leur traduction en français avec l'aide de deux amis rwandais, également rescapés du génocide.

En quoi le contenu de ces cahiers, qui a donné lieu à l'ouvrage *Sans ciel ni terre* que vous avez publié en



À lire :
Sans ciel ni terre. Paroles orphelines du génocide des Tutsi (1994-2006), Héléne Dumas, La Découverte, oct. 2020, 200 p., 19 €.

octobre dernier, présente-t-il un caractère inédit ?

H. D. Ces récits écrits à la première personne décrivent la violence et la cruauté du génocide depuis le monde de l'enfance, selon leur propre subjectivité et sans filtre, avec une écriture à la fois très crue et transparente. Par ailleurs, c'est la première fois que nous avons accès à un ensemble de témoignages aussi important et cohérent. L'atelier d'écriture dont sont issus ces textes a été organisé en 2006 par l'Association des veuves du génocide d'avril (Avega) et réunissait des enfants originaires d'une même région située dans l'est du Rwanda. Or cette unité géographique est extrêmement intéressante car d'une commune à l'autre ou d'une paroisse à l'autre se dessine une histoire différenciée du génocide. En effet, bien que le massacre des Tutsi

1. Chargée de recherche CNRS au Centre d'études sociologiques et politiques Raymond Aron (CNRS/EHESS). 2. Les Nations Unies ont estimé le nombre de victimes à 800 000 quand le gouvernement rwandais porte l'estimation à 1 300 000.

► Le Centre mémorial Gisimba à Kigali a été le refuge de nombreux orphelins rwandais jusqu'en 2015. Il est désormais un centre d'accueil pour les enfants défavorisés.

ait été planifié à l'échelle nationale, il a aussi pour spécificité d'être extrêmement décentralisé, ce qui explique sa redoutable efficacité².

Ces témoignages ont été recueillis douze ans après la fin du génocide. Cela n'a-t-il pas modifié la perception du traumatisme subi par leurs auteurs ?

H. D. Lorsqu'ils se lancent dans ce récit, en avril 2006, ces jeunes gens qui ont alors entre 20 et 25 ans pour la plupart, sont encore pleinement des orphelins du génocide. Cette période, qui coïncide avec le début des procès *gacaca*, ces tribunaux populaires destinés à juger les centaines de milliers de génocidaires, est en outre marquée par une réactivation de la violence. C'est en effet au cours de cette année qu'auront lieu le plus grand nombre d'assassinats de Tutsi rescapés du génocide. J'ai notamment pu avoir accès à un rapport sur ce que le gouvernement rwandais appelle l'« idéologie du génocide », faisant état de tracts racistes distribués en 2007 par certains élèves dans les écoles secondaires, appelant au meurtre de leurs camarades de classe Tutsi. Lorsque les scripteurs prennent la plume, la situation est donc encore extrêmement fragile.

Quel est l'intérêt de ces récits d'un point de vue purement historique ?

H. D. J'ai d'abord été frappée par leur grande précision sur les lieux, les acteurs, les structures familiales, jusqu'aux scènes de massacre retracées dans leur moindre détail. Cette minutie descriptive transparaît également dans la restitution du processus ayant mené au génocide, lorsque les scripteurs évoquent par exemple la façon dont ils ont découvert leur assignation raciale par l'école. Tous ces éléments factuels sont précieux car ils permettent d'analyser de

manière très concrète les systèmes de discrimination renforcés avec l'accession au pouvoir de Juvénal Habyarimana, en 1973. Alors que certains chercheurs en sciences politiques soutiennent encore que l'exécution génocide des Tutsi n'était pas motivée par un imaginaire raciste, ces récits viennent battre en brèche ce paradigme. Si le génocide s'achève dans le courant du mois de juillet 1994, lorsque le Front patriotique rwandais de Paul Kagame reprend le contrôle du territoire national, des poches de miliciens continuent le combat à travers le pays, tandis que des enfants tutsi sont emmenés comme esclaves domestiques lors de l'exode des populations Hutu au Zaïre, ce dont les récits des orphelins rendent parfaitement compte.

Quelles actions sont menées par le CNRS pour aider à construire cette mémoire du génocide ?

H. D. Sur un événement d'une telle magnitude, le devoir de mémoire est avant tout un devoir d'histoire. Pour les historiens du CNRS, la priorité reste l'exploration de nouvelles sources et de nouveaux questionnements. Si nous sommes encore peu nombreux en France à nous intéresser à l'histoire de ce génocide, la recherche autour de cette thématique y est toutefois très dynamique.

En lien avec le Mémorial de la Shoah, qui reste un partenaire essentiel dans toutes les actions de recherche menées au Rwanda, le CNRS a jeté les bases d'un accord avec la CNLG et Ibuka, la principale association de rescapés, dans le but d'entamer une coopération culturelle sur les archives mais aussi au travers d'expositions et de cycles de formation à l'histoire des génocides du XX^e siècle.

Qu'attendez-vous de votre prochain voyage au Rwanda, sitôt que les restrictions de déplacements liées au Covid-19 seront levées ?

H. D. Ce séjour visera en premier lieu à mettre en œuvre les projets archivistiques que j'ai évoqués. J'espère aussi rencontrer pour la première fois certains auteurs des cahiers afin de leur restituer une copie de leurs textes, les originaux étant désormais conservés à Kigali dans les locaux de la CNLG. J'aimerais notamment savoir comment s'est déroulée leur vie depuis cet atelier et quel regard ils portent aujourd'hui sur leurs témoignages. À terme, je souhaite pouvoir restituer l'intégralité du contenu de ces cahiers sous une autre forme éditoriale. ■



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

Un rapport sur la responsabilité française

Le 26 mars, la Commission de recherche sur les archives françaises relatives au Rwanda et au génocide des Tutsi a remis au président de la République son rapport : « La France, le Rwanda et le génocide des Tutsi (1990-1994) ». Présidée par Vincent Duclert, historien au Centre d'études sociologiques et politiques Raymond Aron¹, elle avait pour mission, grâce à un accès inédit aux archives publiques, d'éclairer la question de la responsabilité française dans la tragédie. Au terme des 1 000 pages d'analyse précise et documentée, les auteurs

soulignent dans leur conclusion que « la crise rwandaise s'achève en désastre pour le Rwanda, en défaite pour la France » et que si rien dans les archives consultées ne vient démontrer une volonté française de s'associer à l'entreprise génocidaire, « la recherche établit un ensemble de responsabilités, lourdes et accablantes », pointant le soutien de François Mitterrand au chef de l'État rwandais. Le rapport est à consulter sur le site de Vie publique².

1. Unité CNRS/EHESS. 2. <https://bit.ly/33vD4zV>



© BIOSPHERE 2/ THE UNIVERSITY OF ARIZONA

► Vue aérienne de Biosphère 2 à Oracle en Arizona. Avec un volume d'eau total de près de 685 000 litres, la zone recréant un océan permet de simuler un écosystème de récif corallien des Caraïbes (en bas).

County », de multiples collaborations en astrophysique, planétologie, cosmologie et physique des particules, ou encore en écologie entre Biosphere 2 en Arizona et Ecotron en France. Mais c'est surtout l'IRL iGLOBES, spécialisé en géographie, gouvernance des ressources naturelles, et écologie, qui est au cœur de la création de l'IRC.

En Arizona, le CNRS crée son premier International Research Center

Le 14 avril, le CNRS et l'université d'Arizona ont signé un accord de partenariat marquant la création du tout premier IRC de l'organisme autour de la recherche environnementale et spatiale et des sciences des données. Basé à Tucson aux États-Unis, le France-Arizona Institute for Global Grand Challenges se pose comme une « structure ombrelle » qui va

soutenir les différentes actions communes existantes ou à venir, comme les laboratoires de recherche internationaux (IRL), les projets de recherche et réseaux thématiques. Pour l'occasion, un appel à projets conjoints vient d'être lancé pour financer, pour chacun de ces projets, entre 5 et 10 bourses de doctorat au CNRS et à l'université d'Arizona.

Le choix de ce partenaire ne s'est pas fait par hasard : le CNRS avait déjà plusieurs actions collaboratives en cours avec cette université, telles que l'Observatoire Homme-Milieu « Pima



© BIOSPHERE 2/ THE UNIVERSITY OF ARIZONA

Partenariat avec Oxford

Le CNRS, l'université de Paris et l'université d'Oxford ont mis en place le Paris Oxford Partnership (POP), un partenariat stratégique en sciences humaines et sociales pour la période 2021-2023.

NAISSANCE DU CLUB EUROPE

Le CNRS lance un *think tank* avec de nombreux industriels pour aborder le nouveau programme-cadre de recherche Horizon Europe, son orientation et ses financements. Lancé en début d'année, il réunit déjà une quinzaine de membres, comme Air Liquide, Michelin, Thales et d'autres partenaires qui travaillent déjà « en bilatéral » avec le CNRS depuis de nombreuses années.

Un nouveau laboratoire en Sibérie

Le CNRS et l'Institut d'archéologie et d'ethnographie de la branche sibérienne de l'Académie des sciences de Russie ont créé le nouvel International Research Laboratory ZooSCAn afin d'étudier les relations animaux/humains en Sibérie et en Asie centrale depuis le Pléistocène jusqu'au début de l'Holocène.

LE PREMIER LABORATOIRE INTERNATIONAL FRANCO-ESPAGNOL

Dans le cadre du sommet franco-espagnol qui s'est tenu en mars dernier, le CNRS et l'Institut d'astrophysique des Canaries ont créé l'International Research Laboratory FSLAC (French - Spanish Laboratory for Astrophysics in Canarias) pour renforcer les collaborations scientifiques en astrophysique entre les deux pays.

LES IDÉES



*On se penche sur l'abolition
de la peine de mort, l'usage
du vote électronique et l'efficacité
des vaccins contre le Covid-19.*

ILLUSTRATION : STEPHANIE F. SCHOLZ / COLAGENE

Abolition de la peine de mort : une histoire capitale

SOCIÉTÉS



HISTOIRE Il y a presque quarante ans, la peine de mort était abolie en France. Retour sur une longue et tumultueuse conquête qui a animé la scène politique et publique pendant plusieurs siècles.

PAR PHILIPPE TESTARD-VAILLANT

Article 1. *La peine de mort est abolie.* Parue au Journal officiel le 10 octobre 1981, la loi n° 81-908 a relégué, voilà presque quarante ans, la peine capitale aux oubliettes et fait de la France le 35^e pays abolitionniste. Que la guillotine ne serve plus à trancher des têtes dans l'Hexagone doit beaucoup à Robert Badinter, ministre de la Justice du gouvernement socialiste de Pierre Mauroy (1981-1986). « *Demain, grâce à vous, la justice française ne sera plus une justice qui tue. Demain, grâce à vous, il n'y aura plus, pour notre honte commune, d'exécutions furtives, à l'aube, sous le dais noir, dans les prisons françaises* », avait-il plaidé le 17 septembre 1981 devant la représentation nationale. Un discours devenu célèbre de cet avocat, ardent défenseur « *d'une certaine conception de l'homme et de la justice* ».

Votée contre la volonté populaire (63 % des Français se déclaraient partisans de la guillotine), mais figurant au programme de la majorité de gauche tout juste élue, la suppression de la peine capitale marquait l'aboutissement d'un combat qui avait enflammé la classe politique et l'opinion publique à plusieurs reprises (1791, 1848, 1908). Mais un retour en arrière est-il possible ? Depuis 1981, plusieurs dizaines de demandes de rétablissement de la peine de mort ont été déposées à l'Assemblée nationale et 55 % des Français se prononçaient récemment en sa faveur¹.

« *L'abolition a été inscrite dans la Constitution en 2007 et la France a ratifié les protocoles 6 et 13 de la Convention européenne des droits de l'homme ainsi que le deuxième protocole additionnel au Pacte relatif aux droits civils et politiques des Nations unies*, rappelle Serge Dauchy, directeur du Centre d'histoire judiciaire² à Lille. *Rétablir la peine de mort supposerait par conséquent de réviser la Constitution, de sortir de l'Union européenne et de dénoncer certains de*

nos engagements internationaux. » Sans oublier que toutes les recherches menées par les criminologues concluent à l'absence de lien entre la peine de mort et l'évolution de la criminalité.

Autorité publique et violence légitime

Pourtant, des millénaires durant, la plupart des sociétés l'ont inclus dans leur arsenal répressif et toutes les autorités publiques, détenant le monopole de la violence légitime et supprimant de ce fait le recours à la vengeance privée, se sont octroyé le droit de prescrire la mort pour punir les infractions jugées les plus attentatoires à l'ordre social, moral, religieux ou politique. Et toutes ont dû répondre aux mêmes questions. Comment faire pour que la peine de mort serve à protéger la société contre ses ennemis les plus dangereux, affirmer l'autorité de la puis-



▼ Robert Badinter défend son projet de loi devant l'Assemblée nationale, le 17 septembre 1981.

© DOMINIQUE FAGET/AFIP

1. Sondage Ipsos/Sopra Steria pour *Le Monde* réalisé par Internet du 1^{er} au 3 septembre 2020 auprès de 1 030 personnes âgées de 18 ans et plus. 2. Unité CNRS/Université de Lille.



© J. BASEDOW, ELBENTWIRK FÜR DIE JUGEND UND IHRE FREIZEIT, BERLIN ET DISSAU 1774, PL. XXXV / AVG. IMAGES

► Exécutions publiques sous l'Ancien Régime (gravure, Daniel Chodowiecki v. 1769/1774, coloration ultérieure).

sance publique et décourager les futurs délinquants ? Quel mode d'exécution privilégier ? Faut-il mettre en spectacle la peine pour frapper les imaginations ? Doit-on donner la mort aux femmes et aux enfants de la même façon qu'aux hommes ?, etc.

Au bas Moyen Âge (XII^e-XV^e siècle), tandis que le droit pénal romain refait surface, que la centralisation monarchique s'affirme et que la justice royale tend à supplanter la justice seigneuriale, « châtier les réfractaires à l'ordre établi apparaît de plus en plus comme une nécessité », pointe Tanguy Le Marc'hadour, du Centre d'histoire judiciaire. Sont notamment passibles de mort les homicides, les incendies de maisons et de récoltes, les vols, les viols... La pendaison est alors le châtiment physique le plus courant, loin devant l'écartèlement, la noyade forcée, le bûcher... Mais contrairement aux apparences, « le Moyen Âge ne fait pas un usage immodéré de la peine de mort, nuance Tanguy Le Marc'hadour. Les sources judiciaires montrent qu'entre le XIII^e et le XVI^e siècle, les juges cherchent à réunir le maximum de preuves permettant d'affirmer de manière indiscutable que l'accusé a effectivement commis le crime qui lui est reproché. Et la peine principale est le bannissement. »

Procès à huis clos, châtiment mis en scène

Au XVI^e siècle, la France sombre dans le chaos des affrontements interconfessionnels et, au début du XVII^e siècle, la guerre à l'hérésie et à la sorcellerie se traduit par une flambée des mises à mort. Imposé par François I^{er}, le sup-

plice public de la roue sert de plus en plus à châtier les auteurs des infractions les plus graves. « Sous l'Ancien Régime, toute peine doit donner lieu à un spectacle, commente Tanguy Le Marc'hadour. Les procès s'instruisant à huis clos, le châtiment est mis en scène pour montrer le pouvoir de l'État (...) même si les jugements comportent très souvent une clause secrète (le retentum) qui enjoint au bourreau d'achever le condamné avant ou pendant l'exécution. Ce qui fait que la roue est presque toujours appliquée à un cadavre. » L'important étant que la foule n'en sache rien.

Au XVIII^e siècle, changement de paradigme, « la royauté engage les juridictions à envoyer les criminels aux galères plutôt qu'à la roue, ajoute Tanguy Le Marc'hadour. Entre 400 et 500 condamnations aux galères sont prononcées chaque année dans tout le royaume (...) fournissant de la main-d'œuvre aux arsenaux de Toulon, de Brest... ce qui répond à une nécessité économique. »

Les Lumières et la légalité des délits

Non moins important : les Lumières, dont les idées essaient dans toute l'Europe, remettent en question le principe même de la peine de mort. Publié anonymement à Livourne (Italie) en 1764, *Des Délits et des peines*, le livre d'un jeune marquis de 26 ans, Cesare Beccaria, est le premier à clamer que la peine capitale n'est « ni utile ni nécessaire », n'a jamais « rendu les hommes meilleurs » et empêche de réparer une erreur judiciaire. Le brûlot propose « l'esclavage perpétuel » (la réclusion à perpétuité) comme substitut de la sanction capitale. Convaincu, le

“À l’échelle mondiale, plus des deux-tiers des pays ont aboli la peine de mort de facto, ou la réservent aux crimes de guerre, à la justice militaire... Reste que deux humains sur trois continuent de vivre sous sa menace.”

grand-duc Pierre-Léopold supprime celle-ci en Toscane en 1786. Une première mondiale ! De ce côté des Alpes, les idées de Beccaria séduisent Diderot, d’Alembert, Voltaire, et de nombreux révolutionnaires. Lesquels, dans le Code pénal qu’ils adoptent en septembre 1791, consacrent « *le principe de la légalité des délits* » en vertu duquel on ne peut être condamné pénalement que sur la base d’un texte précis, et suppriment les supplices, à l’exception de l’amputation du poing droit pour parricide. « *Les résistances, celle de l’opinion publique en particulier, sont toutefois encore trop fortes pour que les abolitionnistes aient gain de cause* », analyse Bruno Dubois, également du Centre d’histoire judiciaire.

La Convention, elle, saute le pas. Le 4 brumaire an IV (25 octobre 1795), lassés des ravages du « rasoir patriotique » sous la Terreur, les députés décident qu’« *à dater du jour de la publication de la paix générale, la peine de mort sera abolie dans la République française* ». Mais en 1802, Bonaparte est au pouvoir et l’empereur se montre hostile à l’abolition. Le Code pénal promulgué en 1810, un « code de fer » très répressif, prévoit 36 crimes passibles de mort.

La Restauration sera à peine moins sévère, avec près de 3 800 condamnations à mort entre 1816 et 1830, soit une ou presque par jour ouvrable.

L’abolition sur la place publique

En revanche, sous l’impulsion de Guizot, un des principaux ministres de la monarchie de Juillet, « *la loi d’avril 1832 supprime 9 cas de peine de mort, dont l’incendie volontaire d’édifices (...)* », indique Bruno Dubois. Le même texte réserve la peine capitale aux seuls homicides et introduit le concept de circonstances atténuantes. De même, en 1848, le gouvernement provisoire de la Deuxième République conduit par Lamartine supprime la peine de mort en matière politique. Un pas de plus vers l’abolition complète que Victor Hugo (1802-1885) appelle sans relâche de ses vœux, arguant que « *partout où la peine de mort est rare, la civilisation règne* ».

« *Le débat sur l’abolition, au XIX^e siècle, devient une question de société* », dit Bruno Dubois. Les arguments des abolitionnistes sont essentiellement l’horreur et l’inefficacité du procédé, le mauvais exemple donné par l’État qui incite à répandre le sang, l’impossible réparation de l’erreur judiciaire ; et le leitmotiv des antiabolitionnistes : l’exemplarité de la peine, l’augmentation de la délinquance, l’existence de criminels incurables et les exigences sécuritaires de la population. Sous la III^e République (1870-1940), les présidents usent largement du droit de grâce, hormis le premier, Adolphe Thiers. Dès 1872, la guillotine n’est plus installée sur l’échafaud mais à même le sol, et les exécutions effectuées tôt le matin, dans des endroits discrets.

L’arrivée au pouvoir des radicaux en 1906 donne un vigoureux coup de fouet à la cause abolitionniste. Après le Portugal (1867) et l’Italie (1890), l’Hexagone semble

▲ Dans les années 1930, la guillotine officiait encore sous les regards de la foule.

Dans la peau d’un juge

Afin de sensibiliser les collégiens et lycéens à l’histoire de la sanction des crimes en France et à l’évolution du système pénal depuis l’Ancien Régime, le pôle de médiation scientifique du Centre d’histoire judiciaire¹ a eu l’idée de les faire jouer à Sellette. Ce dispositif ludique, portant le nom du tabouret sur lequel s’installaient jadis les accusés pour être interrogés, propose d’endosser le rôle de juge et de statuer sur quatre crimes ayant marqué l’histoire judiciaire, d’un empoisonnement à l’arsenic en 1714 à l’affaire Ranucci au milieu des années 1970. « *Les joueurs, réunis en petits groupes, commencent par discuter de la peine qu’ils souhaitent infliger aux coupables*, explique Sandra Gérard-Loiseau,

ingénieure d’études qui coordonne le pôle. Puis, nous leur livrons l’issue réelle du procès. L’occasion de rectifier des erreurs d’histoire et de droit pénal, de déclencher des échanges autour de questions clés (condamne-t-on les hommes et les femmes de la même façon ? la condition sociale d’un accusé influence-t-elle le prononcé de sa peine ?) et de déconstruire quelques a priori (certains pensent par exemple que la France a déjà eu recours à la chaise électrique et pratiqué l’injection létale). » Plus globalement, ce jeu stimule la réflexion, nécessaire, sur la notion de peine.

Pour en savoir plus : <http://chj-cnrs.univ-lille2.fr>

1. Unité CNRS/Université de Lille.



enfin prêt. Mais l'assassinat à Paris de la petite Marthe, 11 ans, par Albert Soleilland, indigna l'opinion et déclencha des flots d'encre propice de mort, d'autant que le président Armand Fallières, fervent abolitionniste, gracie le criminel. Le 8 décembre 1908, l'abrogation défendue par Aristide Briand, garde des Sceaux, le député socialiste Jean Jaurès et Georges Clemenceau, président du Conseil, est repoussée par 330 voix contre 201.

Victoire des abolitionnistes

Plus aucun vote relatif à l'abolition n'aura lieu devant le Parlement avant 1981. Toutefois, au fil des années, la lente décréue des condamnations à mort se poursuit, et la mise en spectacle de l'exécution est de plus en plus jugée indigne. La dernière décapitation publique, celle du tueur en série Eugène Weidmann, se déroule le 17 juin 1939 à Versailles.

Encouragée par les associations de défense des droits de l'homme, les organisations internationales et le Conseil de l'Europe, la cause abolitionniste l'a désormais emporté dans l'ensemble du Vieux Continent, à l'exception de la Biélorussie. À l'échelle mondiale, plus des deux-tiers des pays ont aboli la peine de mort de facto (la peine n'est pas abrogée mais n'est plus appliquée) ou la réservent aux crimes de guerre, à la justice militaire... Reste que deux humains sur trois continuent de vivre sous sa menace. À en croire les statistiques de l'ONG Amnesty International, 657 exécutions ont été pratiquées en 2019 dans vingt pays (Chine, Iran, Arabie saoudite, Irak, Égypte...). « *On observe malgré tout une tendance à la baisse* », relève Serge Dauchy. Notamment aux États-Unis, où la Virginie est devenue le 24 mars le premier État sudiste à supprimer le châtiment suprême. **II**



© BARNABY'S STUDIOS LTD/IMÉP/UBRIDGEMAN IMAGES

À lire

Société



S'ouvrant sur la capture d'un voleur de voiture par des habitants d'une ville australienne, cet ouvrage offre une analyse inédite, nourrie

d'enquêtes de terrain, sur le phénomène des justiciers autoproclamés. Excédés par la lenteur et le laxisme supposé des tribunaux, souvent adeptes de châtiments spectaculaires donnés pour l'exemple, ils exercent sur tous les continents une justice sommaire. La France sera-t-elle épargnée ?

Fiers de punir. Le monde des justiciers hors-la-loi, Gilles Favarel-Garrigues et Laurent Gayer, Seuil, mai 2021, 22 €.



Espace

C'est un joli récit d'un siècle de recherches sur l'Univers que nous propose l'astrophysicienne Sylvie Vauclair.

Parsemé d'images et de réflexions philosophiques sur l'humanité et sa place dans le cosmos, cet ouvrage constitue surtout un panorama clair et captivant de nos connaissances et de ce que nous ignorons encore.

La Nouvelle Symphonie des étoiles. L'humanité face au cosmos, Sylvie Vauclair, Ed. Odile Jacob, février 2021, 304 p., 23,90 €.



Vivant

Du corbeau réconfortant son congénère blessé à cette plante réagissant au vol d'une abeille, une

dizaine de scientifiques célèbrent le « génie du vivant » dans cet ouvrage de Fabienne Chauvière, journaliste à France Inter. Un plaidoyer pour ouvrir les yeux sur cette intelligence des mondes animal et végétal, et reconsidérer notre place à leurs côtés.

L'Intelligence du vivant. Dix scientifiques racontent, Fabienne Chauvière, Flammarion/France Inter, avril 2021, 20,90 €.

Bande dessinée



La dessinatrice Laure Garancher livre dans cette BD un récit original des recherches menées par une vingtaine de scientifiques du

projet LongTime au cœur de l'Amazonie, près notamment de la Station des Nouragues du CNRS. Un voyage en images agréable qui dévoile les enjeux majeurs de ces travaux, et fait découvrir la réalité de terrain de métiers scientifiques parfois méconnus.

À la recherche de l'Amazonie oubliée, Laure Garancher, Ed. Delcourt, février 2021, 144 p., 18,95 €.



Communication

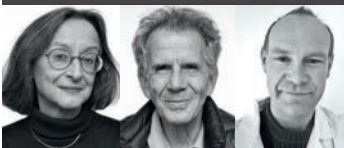
Objet perpétuel de stéréotypes naviguant entre l'admiration et la moquerie, la figure de l'érudit suscite de nombreuses questions liées aux nouvelles technologies, à leur impact sur la production des connaissances et à leur accès. Qu'est-ce que l'érudition et quelle a été sa place dans l'histoire ? Qui sont les nou-

veaux érudits ? Les réseaux sociaux sont-ils un mirage de l'érudition ? Cette nouvelle livraison de la revue *Hermès* offre des regards croisés passionnants sur ce sujet en pleine évolution.

« L'érudition », Franck Renucci (dir.), Hermès, n° 87, CNRS Éditions, avril 2021, 356 p., 25 €.

Covid-19 : vacciné, peut-on s'infecter et transmettre le virus ?

© PATRICK DELAPIERRE © INSERM © DR



Par **Claude-Agnès Reynaud, Jean-Claude Weill** et **Matthieu Mahévas**, chercheurs à l'Institut Necker Enfants Malades ¹.

VIVANT 

Israël et le Royaume-Uni, qui ont débuté rapidement une campagne de vaccination, disposent d'une couverture importante de leur population² qui a permis la collecte de grande ampleur de premières données en janvier et février, alors que le variant dit « anglais » était déjà largement présent dans ces pays. Après les études des laboratoires sur leurs vaccins, menées sur des cohortes de taille habituelle pour qu'un tel médicament soit autorisé (20 000 à 30 000 personnes pour Pfizer-BioNTech et AstraZeneca/Oxford), nous disposons donc à présent de résultats sur des centaines de milliers de personnes.

La situation exceptionnelle de ces deux pays, forts de structures de soin et de recherche clinique de qualité, permet ainsi une évaluation fine de la performance des vaccins dans la « vraie vie » dans un contexte de circulation active du virus.

Une chute des infections

Une étude sur les données de près de 600 000 personnes ayant reçu le vaccin Pfizer-BioNTech³, versus un groupe contrôle d'autant de personnes non vaccinées, a ainsi été menée en Israël et confirme une grande efficacité de ce vaccin. Elle consiste à compter combien de ces personnes ont ensuite été dépistées positives, combien ont également eu des symptômes de la maladie, combien ont dû être hospitalisées, ont développé des formes graves et

IMMUNOLOGIE Des études sur des populations largement vaccinées, en Israël et au Royaume-Uni, confirment in vivo la protection promise par différents vaccins et la réduction potentielle du risque de transmission du virus. Explications avec trois experts de l'Institut Necker Enfants Malades.

sont décédées. Le groupe des vaccinés et le groupe contrôle présentent la même répartition homogène pour tenir compte d'éventuelles variations selon l'âge, le sexe, la zone de résidence géographique et des facteurs de comorbidité comme le diabète, le cancer, l'obésité, etc.

Selon ses résultats, trois à quatre semaines après la première dose, la fréquence des infections asymptomatiques (personnes positives au test mais n'ayant aucun symptôme de la maladie) est réduite de 52 % par rapport à la population contrôle, et ce sans variation notable en fonction de l'âge, du sexe, des comorbidités, etc. Cette réduction du nombre d'infections grimpe à 90 % dès sept jours après la seconde dose. Cela signifie,

dans le cadre de cette étude, qu'une semaine après avoir reçu sa deuxième dose de vaccin, une personne a dix fois moins de risque d'être infectée sans le savoir et de potentiellement transmettre le virus.

D'après cette même étude, deux à trois semaines après la première dose de vaccin Pfizer-BioNTech, la protection contre une infection symptomatique (maladie avec symptômes) est de 57 % et atteint 74 % si on se focalise sur le risque d'hospitalisation. Une semaine après la deuxième injection, la protection atteint l'excellent taux de 92 %, qu'il s'agisse d'avoir des symptômes ou d'être hospitalisé. Le résultat majeur de l'étude est la démonstration d'une réduction drastique de la mortalité : moins 72 % deux à trois semaines après la première dose, et, une semaine après la deuxième dose, aucun décès n'a été répertorié.

Des effets sur la charge virale

Considérons maintenant la faible proportion de personnes dûment vaccinées qui ont quand même été infectées et ont présenté des symptômes de la maladie, même si celle-ci n'était plus mortelle pour eux. Sont-



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

1. Unité CNRS/Inserm/Université de Paris. 2. Au 13 avril 2021, plus de 61 % des Israéliens et 47 % des Britanniques ont reçu au moins une dose selon <https://covidtracker.fr/vaccintracker/>. 3. Noa Dagan M. D. et al., *N Engl J Med.*, 2021. DOI: 10.1056/NEJMoa2101765. 4. Levine-Tiefenbrun M. et al., *Nat. Med.*, 2021. <https://doi.org/10.1038/s41591-021-01316-7>



elles aussi contagieuses que les autres malades ? Une étude menée en Israël sur environ 5 000 patients⁴ de tous âges souffrant du Covid-19 apporte un début de réponse. Elle s'est intéressée à la quantité de virus nasopharyngée (présent dans le nez jusqu'à la paroi arrière du pharynx). Celle-ci est directement liée à la charge virale du patient et constitue un indicateur fort du potentiel de contagiosité d'une personne.

D'après les mesures, la quantité d'ARN viral nasopharyngé détectée par le test RT-PCR était 3 à 4,5 fois plus faible chez les patients ayant reçu une dose de Pfizer-BioNTech depuis au moins douze jours que chez les non vaccinés. Cela suggère que le portage nasopharyngé diminue fortement à mesure que la réponse immune induite par le vaccin se développe. On peut raisonnablement estimer qu'avoir moins de virus c'est être moins infectieux, ce qui est encourageant sur une potentielle moindre contagiosité des personnes vaccinées.

Mais à l'heure actuelle, personne ne connaît la quantité de virus minimale nécessaire à la transmission de

la maladie, d'autant que cette quantité peut évoluer en fonction d'autres variants du virus....

Des seniors aussi bien protégés

Une autre étude, menée sur la population anglaise⁵, permet d'évaluer les protections de deux vaccins différents sur les seniors pour lesquels se pose la question d'une moindre efficacité due à une réponse immunitaire qui diminuerait avec l'âge. Résultats : sur 62 000 personnes de plus de 80 ans ayant reçu le Pfizer-BioNTech, l'efficacité est de 60 à 70 % après la première dose et de 89 % deux semaines après la seconde, soit des valeurs très similaires à celles obtenues sur des personnes plus jeunes.

De plus, parmi les personnes qui contractent quand même la maladie, le taux d'hospitalisation et la mortalité sont fortement réduits (respectivement de 44 % et 51 %). Et sur 75 000 individus de plus de 70 ans ayant reçu le AstraZeneca/Oxford, dont la seconde dose n'avait pas encore été déployée en Angleterre, l'efficacité est de 60 % vingt-huit jours après la première dose et de 73 % à trente-cinq

➤ À Jérusalem (Israël), les clients peuvent de nouveau profiter des terrasses ensoleillées depuis la réouverture des cafés, le 7 mars 2021.

jours (en France, La Haute autorité de santé a suspendu l'utilisation de ce vaccin pour les moins de 55 ans dès le 19 mars dernier en raison de rares cas de thromboses repérés en Europe, Ndlr).

Dans tous ces travaux, nous notons aussi l'importance d'un laps de temps nécessaire après une injection avant d'acquiescer un début de protection, et l'importance de la deuxième dose pour atteindre la totalité de la protection annoncée. Rien d'étonnant donc que des personnes aient pu contracter le virus et tomber malades juste après leur première injection. Notons enfin que les laps de temps entre les doses varient selon les produits : trois à quatre semaines pour les vaccins à ARN messenger Pfizer-BioNTech et Moderna, et deux à trois mois pour le vaccin à vecteur adéno-viral AstraZeneca/Oxford.

Des données encourageantes

Quant à la durée de l'immunité conférée, les premières données sur le vaccin Moderna à ARN messenger, dont les caractéristiques sont très proches de celles du Pfizer-BioNTech, montrent, avec six mois de recul, une bonne persistance des anticorps induits par la vaccination⁶. Mais de nombreuses questions restent ouvertes sur les différents schémas et calendriers vaccinaux, et en particulier le rythme des rappels, notamment face à l'émergence de nouveaux variants qui pourraient échapper au système immunitaire.

Quoi qu'il en soit, ces données encourageantes doivent nous inciter à une vaccination massive pour réduire la mortalité et les cas graves qui satureront le système de santé, réduire la circulation virale et peut-être le portage nasopharyngé. L'adhésion de la population et le succès épidémiologique des campagnes vaccinales de certains pays doivent nous inspirer. II



Lire l'intégralité du point de vue sur lejournalcnrs.fr

5. Lopez Bernal J. et al., medRxiv, 2021. <https://doi.org/10.1101/2021.03.01.21252652> 6. Widge A.T. et al., N Engl J Med., 2021. DOI: 10.1056/NEJMc2032195

À LIRE

Regards croisés sur les pandémies

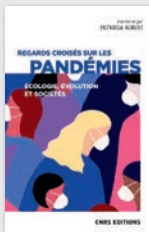
Patricia Gibert, présidente du conseil scientifique de l'Institut écologie et environnement du CNRS, nous présente cet ouvrage qui étudie les crises épidémiques d'un point de vue écologique et social et non simplement sanitaire.

Comment est née l'idée de ce livre ?

Patricia Gibert *. Il s'agit d'un travail collectif réalisé par le conseil scientifique de l'Inee, dont j'ai coordonné l'écriture. Le conseil compte 24 membres, issus du CNRS, des universités et d'autres établissements publics à caractère scientifique et technologique. Ces scientifiques couvrent différentes disciplines de l'écologie (comportementale, évolutive, fonctionnelle, chimique, écophysiologie), mais on retrouve également des évolutionnistes, archéologues, géographes et anthropologues biologistes. Nous avons souhaité rassembler ces regards si différents sur des épisodes anciens de pandémie, ainsi que sur celui que nous vivons actuellement.

À qui est-il destiné ?

P. G. Nous voulions qu'il reste accessible à un public assez large, qu'un lycéen ou une lycéenne étudiant un peu de sciences puisse le lire. Nous avons aussi fait l'effort de référencer et sourcer le texte, comme si chaque partie était un article de synthèse sur l'état de la recherche.



Quel en est le principal message ?

P. G. Nous soulignons, à travers trois grandes parties, que les pandémies sont extrêmement influencées par les comportements humains. D'abord, l'usage toujours plus intense des terres et de l'espace favorise les contacts et les transferts de pathogènes entre les animaux sauvages et domestiques, ainsi

qu'avec l'humain. Cet effet est renforcé par la mondialisation des échanges, qui facilite la transformation de simples épidémies en véritables pandémies. Ensuite, les populations humaines ne sont pas toutes aussi sensibles à une même maladie. Si la variabilité génétique entre individus et populations influence le phénomène, on y retrouve également l'impact des différents comportements sociaux et culturels. Enfin, nous nous interrogeons sur notre mémoire collective des épidémies, qui existent pourtant depuis le Néolithique. Les lieux à leur mémoire sont extrêmement rares, chaque village possède son monument aux morts mais rien ne nous rappelle la grippe espagnole qui a causé plus de victimes que la Première Guerre mondiale. Il semble que les humains veuillent effacer ces souvenirs de la mémoire collective, alors qu'ils pourraient nous aider à nous préparer aux pandémies futures.

Regards croisés sur les pandémies. Écologie, évolution et sociétés, Patricia Gibert (dir.), CNRS Éditions, mars 2021, 128 p., 15 €.

Entre transparence et confidentialité, les défis du vote électronique

SOCIÉTÉS



NUMÉRIQUE



ENTRETIEN La pandémie de Covid-19 a remis en avant l'idée d'un vote électronique à distance. Véronique Cortier et Stéphanie Delaune nous éclairent sur ce sujet qui soulève de nombreuses questions.

PROPOS RECUEILLIS PAR MARTIN KOPPE

Qu'est-ce que le vote électronique et comment est-il utilisé dans le monde ?

Stéphanie Delaune ¹. On retrouve deux types de votes électroniques : l'emploi de machines à voter et la possibilité de voter en ligne depuis son ordinateur. Même s'ils partagent certaines problématiques, ce sont deux solutions très différentes. Nous travaillons surtout sur le vote par Internet. Il y a brièvement eu des machines à voter en France, mais un moratoire datant de 2008 y a mis un grand coup de frein, même si certaines sont ponctuellement ressorties.

Véronique Cortier ². Les usages sont très variables selon les pays, et les

électeurs n'ont généralement aucune idée de comment fonctionne la solution de vote électronique qui leur est proposée. Ainsi, les Français de l'étranger peuvent voter par Internet lors des législatives et des élections consulaires. Mais pour les élections présidentielles de 2012, aucune information n'a été publiée sur les moyens mis en place et l'expérience a été abandonnée en 2017. L'Estonie reste le pays pionnier, ses citoyens disposent d'une carte d'identité électronique qui offre une bien meilleure authentification qu'avec des identifiants et des mots de passe envoyés par voie postale. La Suisse, où les électeurs sont sollicités plusieurs fois par an, est également un pays moteur.

¹. Directrice de recherche CNRS à l'Institut de recherche en informatique et systèmes aléatoires (Irisa - unité CNRS/Univ. Rennes 1/ENS Rennes/Insa Rennes/Univ. Bretagne Sud/Inria/IMT Atlantique - Institut Mines-Telecom) ². Directrice de recherche CNRS au Laboratoire lorrain de recherche en informatique et ses applications (Loria - CNRS/Univ. de Lorraine/Inria).



© POOL DEMANGE/MARCHI/GAMMA-RAPHO VIA GETTY IMAGES

Comment étudiez-vous le vote électronique ?

S. D. Ses problématiques recoupent en partie celles des protocoles cryptographiques, en particulier au niveau du respect de l'anonymat et de la vie privée. Dans le vote papier, l'utilisation d'urnes transparentes ne doit rien au hasard : on voit son bulletin tomber et on retrouve tout un cérémoniel qui contribue à rassurer l'électeur. La recherche porte ainsi essentiellement sur le développement de techniques de vérification, ce qui donne pas mal de fil à retordre.

V. C. Il est en effet difficile de concilier fiabilité et anonymat du vote, et le vote papier classique offre un excellent compromis sur ces deux propriétés. En France, le vote électronique passe par des boîtes noires : nous ne connaissons pas le système utilisé et nous n'avons même pas de preuve que les serveurs ont bien reçu notre bulletin.

Quels écueils sont rencontrés par les chercheurs ?

V. C. Définir ce qu'est un vote confidentiel est moins facile qu'il n'y paraît. Si par exemple quelqu'un est élu à l'unanimité, on en déduit que tout le monde l'a choisi, mais ce n'est pas

▀ Les urnes transparentes garantissent la fiabilité et l'anonymat du vote, deux objectifs à atteindre pour le vote électronique.

grave de le savoir. Ou si toutes les personnes votent A sauf une, celle-ci connaît le choix des autres, qui ignorent par contre qui a voté B. Les chercheurs n'ont ainsi pas encore trouvé de consensus sur la définition d'un vote secret. Si certaines sont raisonnables, elles ne s'appliquent pas à tous les systèmes et il serait alors très risqué d'affirmer qu'un protocole est sûr quand il ne l'est pas toujours.

S. D. Il y a par contre consensus sur certaines propriétés de sécurité, par exemple sur ce qui constitue un bon protocole pour préserver des clés d'authentification.

Quelles sont les solutions disponibles pour les élections non officielles ?

V. C. Avec deux collègues du Loria, j'ai conçu Belenios. Ce logiciel a pris de l'ampleur avec la pandémie et est surtout utilisé par le monde académique et des associations, par exemple pour voter lors d'une assemblée générale à distance. L'urne et les bulletins chiffrés y sont publics et l'électeur garde un reçu qui contient une empreinte de son vote crypté. Des outils mathématiques permettent ensuite à n'importe quel expert extérieur de vérifier que le

résultat correspond bien au vote. La seule limite est que l'on doit faire confiance à l'ordinateur de l'électeur chargé du chiffrement, car nous ne sommes pas protégés s'il a été détourné à des fins malhonnêtes.

S. D. Les spécialistes de la cryptographie peuvent même créer leurs propres codes de vérification s'ils ne font pas confiance à Belenios.

À court terme, quelles seraient les possibilités et les limites du vote électronique en France ?

V. C. Le vote en ligne a été rétabli pour les Français de l'étranger en vue des élections législatives de 2022. L'affolement dû à la pandémie a failli aboutir à l'utilisation de machines à voter pour l'élection présidentielle de 2021, mais l'idée a finalement été rejetée. Lorsqu'ils votent par correspondance, les Français de l'étranger ne sont cependant pas complètement certains que leur bulletin arrive à destination et ne soit ni identifié ni modifié. Le vote par Internet fait généralement mieux dans ce cas précis. ▀



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

Jean-Christophe Valière,

acousticien à l'Institut Recherche et Ingénierie en Matériaux, Mécanique et Energétique (Pprime) de Poitiers.

“Je me souviens...”

PROPOS RECUEILLIS PAR ANNE-SOPHIE BOUTAUD

...de cette expérience acoustique, au Théâtre Auditorium de Poitiers, fin 2017. Avec Floren Colloud, nous nous intéressions à la façon dont le geste de l'artiste pouvait influencer la sonorité produite par son instrument, une hypothèse très complexe à vérifier. Pour ce faire, nous avons réuni quatre artistes jouant les quatre mêmes partitions sur ce piano Steinway & Sons. Ici, Alain Villard, pianiste professionnel, est recouvert de 90 réflecteurs de lumière dont 48 sur ses mains. Ces traceurs sont reliés à 15 caméras hautes fréquences réparties tout autour de lui. On distingue en arrière-plan, sur un trépied, une tête artificielle ; binaurale, elle vise à reproduire l'écoute humaine. Nous avons ensuite mené des études psycho-acoustiques auprès d'un panel de 45 personnes, des profanes, pour recueillir leurs perceptions de différents timbres reliés au piano (sec, brillant, velouté, doux et sombre) à partir des morceaux enregistrés. Nous nous attaquons désormais à la partie biomécanique de cette étude : en situation de jeu, quelle posture correspond à tel timbre ?”

À voir sur lejournal.cnrs.fr

« Chaque pianiste a-t-il un son particulier ? »



© CYRIL FRESILLON / PPRIME / CNRS PHOTOTHÈQUE





de Denis Guthleben,
historien au CNRS

Contre le sida, la lutte continue

5 juin 1981. La revue américaine *Morbidity and Mortality Weekly Report* publie une note révélant que cinq malades ont été admis depuis octobre 1980 dans trois hôpitaux de Los Angeles, et traités pour une forme de pneumonie qui n'apparaît que lorsque le système immunitaire est très affaibli. Or ces malades, dont deux sont déjà décédés, sont tous de jeunes hommes qui ne se connaissaient pas et étaient en parfaite santé jusqu'à l'apparition des premiers symptômes...

SIDA, Sida, sida

Difficile de ne pas être saisi aux tripes en lisant cette note, « *Pneumocystis Pneumonia – Los Angeles*¹ », à quarante ans de distance. Sans le savoir encore, ses auteurs posent un jalon dans notre histoire : il s'agit de la première mention, dans la littérature scientifique, d'une maladie baptisée dans les mois suivants « syndrome d'immunodéficience acquise ». En France, l'acronyme « SIDA » se transformera peu en nom propre, « le Sida », puis en nom commun, « le sida », un parcours étymologique qui est à lui seul révélateur de la place que la maladie a prise dans nos vies.

“Les associations ont mené un combat qui a bousculé les politiques et transformé jusqu'à la pratique scientifique elle-même.”



À lire :

Une histoire de la lutte contre le sida,
Olivier Maurel et
Michel Bourrelly,
Nouveau Monde Eds.,
coll. « Histoire des sciences », mars 2021,
25,90 €.

Des vies, justement, le sida en fauche de plus en plus au début des années 1980. Après la publication initiale, de nouveaux cas ne tardent pas à être identifiés en Amérique du Nord et en Europe. En France, les docteurs Willy Rozenbaum et Jacques Leibowitch font le lien entre certains des malades qu'ils rencontrent et les observations effectuées outre-Atlantique. Ensemble, ils créent le premier « groupe français de travail sur le SIDA ». Et le travail ne manque pas, en effet, pour trouver l'origine de cette maladie dont le profil des victimes, toutes « *active homosexuals* », comme le relevait dès juin 1981 la MMWR, commence à

déchaîner les passions... et les délires : des enrégés n'hésitent pas à évoquer un châtiment tombé du ciel, comme au bon vieux temps de la peste noire !

Garde haute

Dans ce contexte parfois nauséabond, la recherche, elle, progresse. À Paris, au sein de l'unité Institut Pasteur/CNRS/Inserm d'oncologie virale, une équipe de scientifiques est sur la piste du responsable : le « virus de l'immunodéficience humaine » est isolé sur le ganglion d'un malade traité à l'hôpital de la Pitié-Salpêtrière, et décrit en 1983. Cette découverte vaudra le prix Nobel de physiologie ou médecine à Françoise Barré-Sinoussi et Luc Montagnier 25 ans plus tard. Mais la communauté savante n'est pas non plus à l'abri des polémiques. Un âpre conflit de paternité sur le VIH a opposé l'équipe française à un chercheur américain, Robert Gallo, finalement débouté au terme de longues années de procédures. De plus, au grand regret des récipiendaires eux-mêmes, en 2008 le comité Nobel a ignoré le rôle clé joué par l'un des membres de l'équipe de Luc Montagnier, Jean-Claude Chermann.

Mais si la recherche n'est pas un long fleuve tranquille, elle n'en débouche pas moins sur des résultats prometteurs, en matière de diagnostic et de traitement. En 1987, l'anti-rétroviral AZT apporte une première réponse encourageante – avec en prime une réduction des risques de transmission de la mère à l'enfant, mais hélas de sévères effets secondaires. D'autres solutions thérapeutiques suivront, plus ciblées, mieux tolérées, au point qu'aujourd'hui une personne infectée conserve son espérance de vie si elle est détectée et traitée précocement – avec cette fois-ci pour revers imprévu une quasi banalisation de la maladie, alors que des centaines de milliers de personnes continuent d'être infectées chaque année dans le monde, et dépistées trop tardivement.

Heureusement, à côté des chercheurs, les associations veillent et agissent : depuis la création de Gay Men Health Crisis en 1982 aux États-Unis, puis de Vaincre le SIDA en 1983 et Aides en 1984 en France, elles ont été à la pointe de la lutte et ont mené un combat qui a bousculé les politiques et transformé jusqu'à la pratique scientifique elle-même : le sida marque clairement un tournant dans le domaine des relations entre chercheurs, médecins et malades. Ensemble, ils nous rappellent qu'il ne faut pas baisser la garde : à l'heure où une nouvelle pandémie accapare nos esprits, un vieil ennemi rôde toujours, qui continue de tuer ! II

1. https://www.cdc.gov/mmwr/preview/mmwrhtml/june_5.htm

casden
BANQUE POPULAIRE

La banque coopérative
de la Fonction publique

« **COMME MOI, REJOIGNEZ LA CASDEN,
LA BANQUE DE LA FONCTION
PUBLIQUE !** »

Jenny, Enseignante chercheuse



casden.fr



Retrouvez-nous chez

**BANQUE
POPULAIRE**



Il y a du nouveau sur la chaîne
 YouTube Zeste de Science



UN ZESTE POUR LA PLANÈTE

La nouvelle série de la chaîne **Zeste de Science** vous emmène sur le terrain et dans les laboratoires, au cœur des recherches menées au CNRS pour **protéger l'environnement**.

« Abonnez-vous ! »

CARNETS DE SCIENCE

La revue du CNRS #10

Entrez dans les coulisses
de la recherche

#10 actuellement
en vente
en librairie et Relay

200 pages / 12,50 €

CARNETS DE SCIENCE

La revue du CNRS

#10

DOSSIER

LA RUÉE VERS L'ESPACE

À LA RECHERCHE
DES VOLCANS
SOUS-MARINS

CES NOMBRES
QUI DESSINENT
LE MONDE

ENTRETIEN AVEC
BRUNO DAVID
« BIODIVERSITÉ :
IL N'EST PAS TROP
TARD POUR AGIR »

LES PÔLES
SI LOIN,
SI PROCHES...



www.carnetsdescience-larevue.fr

CNRS

CNRS EDITIONS