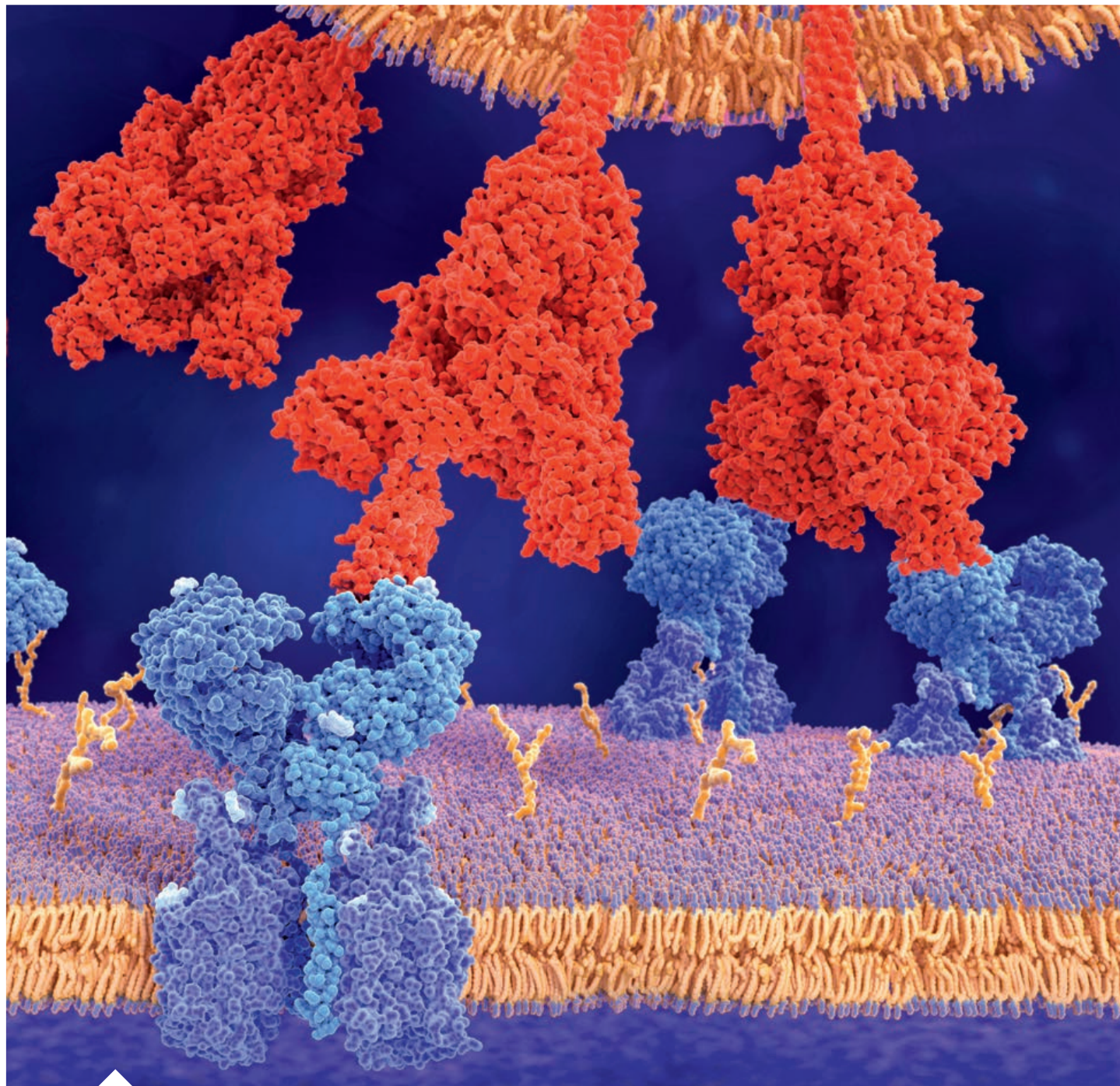


Trimestriel n° 302
DÉCEMBRE 2020

CNRS

LE JOURNAL



**Vaccin, origine
du virus...
le Covid-19
en questions**

**Recherche :
ce que la loi de
programmation
va changer**

**Julie Grollier,
une physicienne
inspirée par
le cerveau**

**Laïcité, lien social...
les réactions
de la société face
aux attentats**

CARNETS DE SCIENCE

La revue du CNRS #9



#9

**actuellement en vente
en librairie et Relay**

200 pages / 12,50 €



CNRS EDITIONS

www.carnetsdescience-larevue.fr



Rédaction :

3, rue Michel-Ange – 75794 Paris Cedex 16

Téléphone : 01 44 96 40 00**E-mail :** lejournald@cnrs.fr**Le site Internet :** https://lejournald.cnrs.fr**Anciens numéros :**

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

Directeur de la publication :

Antoine Petit

Directrice de la rédaction :

Sophie Chevallon

Directeur adjoint de la rédaction :

Fabrice Impériali

Rédacteur en chef :

Matthieu Ravaut

Rédactrice en chef adjointe :

Charline Zeitoun

Chefs de rubrique :

Laure Cailloce, Saman Musacchio, Yaroslav Pigenet

Rédactrices :

Sophie Félix, Laurence Stenvot

Ont participé à ce numéro :

Anne-Sophie Boutaud, Sophie Carlier, Sebastián Escalón, Grégory Fléchet, Mathieu Grousson, Denis Guthleben, Martin Koppe, Matthieu Stricot, Jean-Baptiste Veyrieras

Secrétaire de rédaction :

Émilie Silvoz

Direction artistique :

David Faure

Iconographes :

Anne-Emmanuelle Héry, Marie Mabrouk

Gestionnaire :

Mathieu Chatellier

Assistant de direction :

Frédéric Roman

Illustrations :

Nazario Graziano

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.frLa reproduction intégrale ou partielle des textes
et des illustrations doit faire obligatoirement l'objet
d'une demande auprès de la rédaction.**En couverture :**

Le virus SARS-CoV-2 s'attachant à un récepteur cellulaire.

© JUAN GAERTNER/SCIENCE PHOTO LIBRARY

**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



Les années se suivent mais ne se ressemblent vraiment pas. 2019 a été une année de rassemblements et de partage pour le CNRS, dans le cadre des célébrations de nos 80 ans. 2020 a été beaucoup moins festive, c'est le moins que l'on puisse dire, avec deux périodes éprouvantes de confinement. Mais grâce à la forte mobilisation des responsables d'unité, des directions et services, des instituts et délégations régionales et surtout par l'implication de chacun et chacune d'entre vous, notre travail s'est poursuivi. Il est indispensable.

Nous avons su maintenir nos activités scientifiques et continuer à innover. À titre d'exemple, je citerai la mise au point du test salivaire EasyCov, issu d'une collaboration exemplaire entre le CNRS et le groupe Alcen, test qui vient d'obtenir les premières autorisations de mise sur le marché. Nous avons su développer des activités de solidarité, comme la fourniture de gel hydro-alcoolique ou de masques pour les soignants. Nous avons également amplifié nos actions de communication pour fournir aux décideurs et au grand public des informations scientifiques fiables.

*“En 2020, nous avons
su maintenir nos activités
scientifiques et continuer
à innover.”*

Ces deux années si différentes ont un point commun essentiel, celui d'avoir démontré l'importance du CNRS et de la Science. Notre société a plus que jamais besoin de connaissances. Elles sont nécessaires pour comprendre et traiter la crise sanitaire, et au-delà pour aborder les grandes questions sociales, notamment celles identifiées dans notre contrat d'objectifs et de performances :

changement climatique, transition énergétique, santé et environnement, territoires du futur, intelligence artificielle et inégalités éducatives. Le CNRS a un rôle particulier à jouer par sa capacité exceptionnelle à faire coopérer des spécialistes internationalement reconnus de disciplines variées et complémentaires, et aussi par son réseau unique de partenaires, tant en France qu'à l'étranger.

L'année 2020 a aussi été malheureusement celle de l'assassinat barbare de Samuel Paty. Là encore, la science est nécessaire pour comprendre les questions de radicalisation, de terrorisme, et les prévenir. La liberté de recherche fait partie de l'ADN du CNRS et avec elle la liberté d'expression. Le CNRS est et demeure « Charlie » pour préserver ces valeurs essentielles qui sont les nôtres.

Personne ne sait ce que sera exactement l'année 2021. La loi de programmation de la recherche (LPR), votée par l'Assemblée nationale et le Sénat, va avoir de premières conséquences concrètes expliquées dans ce numéro. Le CNRS va en profiter avec détermination, après avoir perdu au cours des dix dernières années plus de 10 % de ses emplois sur subvention pour charge de service public, et vu son budget de fonctionnement diminuer de plus de 13 %. Mais ce qui est certain, c'est qu'en 2021, nous continuerons à produire des connaissances et à les mettre au cœur de la société. C'est notre mission, elle est d'une grande noblesse.

En remerciant chacun et chacune d'entre vous de son implication, de son engagement et de sa prise en compte de notre collectif, de nos collectifs, je vous souhaite de passer de très bonnes fêtes de fin d'année. Prenez soin de vous et des vôtres, professionnellement et personnellement.

Antoine Petit,
Président-directeur général du CNRS



FRÉDÉRIQUE PIAS/CNRS PHOTO THÈQUE



© LAURENT GRANDGUILLOT/REA

GRAND FORMAT 19

Comment la société réagit-elle aux attentats ?	20
La science sous l'objectif	32
Loi de programmation : ce qu'elle va changer pour la recherche	38



© FABIAN VON POSER/MAGCROCK/BIOPHOTO

« La question de l'origine
du SARS-CoV-2
se pose sérieusement »

SPÉCIAL COVID-19 5

« La question de l'origine du SARS-CoV-2 se pose sérieusement »	6
Quel vaccin contre le Covid-19 ?	10



© LAURENT THON/VEU/UTIQUE

Julie Grollier,
chercheuse
(bio)inspirée

EN PERSONNE 13

Julie Grollier, chercheuse (bio)inspirée	14
« Les mathématiques ont besoin d'interaction »	16
Brèves	18

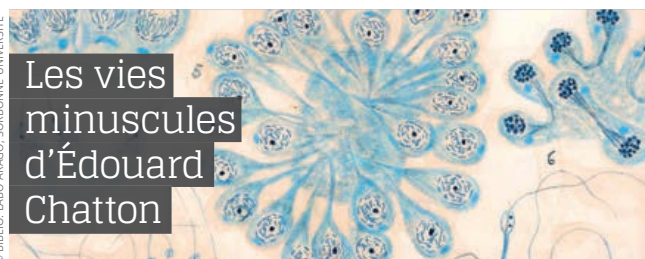


© CNRS/CHERIT JACOB, 2013

Mistrals, un
souffle pour la
recherche en
Méditerranée

EN ACTION 45

Mistrals, un souffle pour la recherche en Méditerranée ...	46
Une capsule pour cartographier l'intestin	50
Existe-t-il un point de non-retour dans les écosystèmes ? ...	52
Les cellules embryonnaires se parlent pour s'organiser	54
Nouvelle donne pour les cartes	56
Dans le sillage des thons rouges	58



© BIBLIO, LABO ARAGO, CORBONNE UNIVERSITÉ

Les vies
minuscules
d'Édouard
Chatton

LES IDÉES 59

Les vies minuscules d'Édouard Chatton	60
Le volcan, le savant et le politique	62

CARNET DE BORD

Ana Sodan nous raconte un souvenir de recherche	64
---	----

LA CHRONIQUE

Louis Néel, un Nobel magnétique	66
---------------------------------------	----

SPÉCIAL COVID-19



*De la recherche de l'origine du virus
à la mise au point de vaccins,
les scientifiques sont sur
tous les fronts de l'épidémie.*

ILLUSTRATION : NAZARIO GRAZIANO POUR CNRS LE JOURNAL

Upper: Pangolin, whose scales overlap each other like sh

« La question de l'origine du SARS-CoV-2 se pose sérieusement »



D.R.

VIVANT



VIROLOGIE Près d'un an après que l'on a identifié le coronavirus SARS-CoV-2, les chercheurs n'ont toujours pas déterminé comment il a pu se transmettre à l'espèce humaine. Le virologue Étienne Decroly fait le point sur les différentes hypothèses, dont celle de

l'échappement accidentel d'un laboratoire. PROPOS RECUEILLIS PAR YAROSLAV PIGENET

Tandis que l'on assiste à une course de vitesse pour la mise au point de vaccins ou de traitements contre le Covid-19, pourquoi est-il si important de connaître la généalogie du virus qui le provoque ?

Étienne Decroly¹ : SARS-CoV-2, qui a rapidement été identifié comme l'agent étiologique à l'origine du Covid-19 est, après le SARS-CoV en 2002 et le MERS-CoV en 2012, le troisième coronavirus humain responsable d'un syndrome respiratoire sévère à avoir émergé au cours des vingt dernières années. On connaît désormais bien cette famille de virus qui circulent principalement chez les chauves-souris, et dont le **transfert zoonotique** provoque épisodiquement des épidémies chez l'humain.

Il est donc crucial de comprendre comment ce virus a passé la barrière d'espèce et est devenu hautement transmissible d'homme à homme. L'étude des mécanismes d'évolution et des processus moléculaires impliqués dans l'émergence de ce virus pandémique est essentielle afin de mieux nous prémunir des émergences potentielles de ces virus, et pour élaborer des stratégies thérapeutiques et vaccinales.



© YE AUNG THU/ARF

▼ **Groupe de chauves-souris dans une grotte de Birmanie.**

TRANSFERT ZOOTIQUE

Une zoonose est une maladie infectieuse qui est passée de l'animal à l'humain.

Dès les premières semaines de la pandémie, alors qu'on ne savait encore pas grand-chose du virus, sa probable origine animale a très vite été pointée. Pourquoi a-t-on d'emblée privilégié cette piste, et a-t-elle été confirmée depuis ?

É. D. L'origine zoonotique des coronavirus, qui infectent près de cinq cents espèces de chauves-souris, était déjà bien documentée à partir des émergences précédentes. Dans la nature, des populations de chauves-souris partagent les mêmes grottes, et dif-

férentes souches virales peuvent alors infecter simultanément le même animal, ce qui favorise les recombinaisons génétiques entre virus et leur évolution. Certaines souches sont parfois aptes à franchir la barrière d'espèce. En comparant les séquences génomiques d'échantillons viraux de différents malades infectés par SARS-CoV-2, on a observé un taux d'identité de 99,98 %, ce qui montrait que cette souche virale avait émergé très récemment chez l'humain.

1. Directeur de recherche au CNRS au laboratoire Architecture et fonctions des macromolécules biologiques (CNRS/Aix-Marseille Université), membre de la Société française de virologie.

▼ Une civette vendue sur le marché de Wuhan (Chine) en 2003.

On a par ailleurs rapidement découvert que ce génome était à 96 % identique à celui d'un virus de chauve-souris (RaTG13) collecté en 2013 à partir de fèces de l'animal et dont les séquences ne sont connues que depuis le mois de mars 2020. Nous avons par ailleurs remarqué qu'une séquence de ce génome était totalement identique à un fragment de 370 nucléotides séquencé dès 2016 à partir d'échantillons collectés en 2013 dans une mine de la province du Yunnan (Sud-Ouest de la Chine), où trois mineurs avaient succombé à une pneumonie sévère. En outre, en analysant les séquences des autres coronavirus humains connus, on ne relève que 79 % d'identité génétique entre SARS-CoV-1 et SARS-CoV-2, et seulement 50 % en ce qui concerne MERS-CoV.

Pour faire bref, le SARS-CoV-2 est génétiquement plus proche de souches virales qui ne se transmettaient jusqu'alors qu'entre chauve-souris. Il ne descend pas de souches humaines connues et n'a acquis que récemment la capacité de sortir de son réservoir animal naturel qui est probablement la chauve-souris.

S'il est établi que le Covid-19 nous vient de la chauve-souris, pourquoi son origine reste-elle l'objet de controverses ?

É. D. Aucune épidémie liée à la transmission directe de la chauve-souris à



© AFP PHOTO

l'homme n'ayant été démontrée à ce jour, on pense que la transmission à l'humain doit plutôt s'effectuer *via* une espèce hôte intermédiaire dans laquelle les virus peuvent évoluer puis être sélectionnés vers des formes susceptibles d'infecter des cellules humaines. Afin d'identifier cette espèce intermédiaire, on examine habituellement les relations phylogénétiques entre le nouveau virus et ceux provenant d'espèces animales vivant près de la région d'émergence ; c'est cette méthode qui a permis d'établir que la civette a été probablement l'hôte intermédiaire du SARS-CoV et le dromadaire celui du MERS-CoV.

La découverte dans le génome de coronavirus infectant des pangolins d'une courte séquence génétique

similaire à SARS-CoV-2 a un temps fait penser qu'on tenait un possible hôte intermédiaire, mais le restant de son génome est trop distant du SARS-CoV-2 pour être un ancêtre direct. SARS-CoV-2 aurait ainsi pu résulter de recombinaisons multiples entre différents CoV circulant chez le pangolin et la chauve-souris, ce qui aurait conduit à une adaptation ayant rendu possible la transmission du virus à l'homme. La pandémie de Covid-19 proviendrait secondairement du contact avec l'hôte intermédiaire, éventuellement vendu sur le marché de Wuhan (*capitale de la province du Hubei, au centre de la Chine, Ndlr*).

Cette hypothèse pose cependant de nombreux problèmes. Tout d'abord à cause de la géographie : les échantillons viraux de chauves-souris ont été recueillis dans le Yunnan, à près de 1 500 km du Wuhan où a éclaté la pandémie. Ensuite pour une raison écologique : chauves-souris et pangolins évoluent dans des écosystèmes différents et on se demande à quelle occasion leurs virus auraient pu se recombiner. Et surtout, on note que le taux d'identité entre les séquences de SARS-CoV-2 et celles issues du pangolin n'atteint que 90,3 %, ce qui est bien inférieur aux taux habituellement observés entre les souches infectant l'homme et celles infectant l'hôte intermédiaire. Par exemple, le génome du SARS-CoV et celui de la souche de civette dont il descendait partagent 99 % d'identité. Une majorité de chercheurs estiment désormais que le pangolin n'a proba-



© FABIAN VON POSER/IMAGEBROKER/GETTYPHOTO

▼ Pangolin à longue queue (*Manis tetradactyla*) roulé en boule dans les mains d'un braconnier.

blement pas joué de rôle dans l'émergence de SARS-CoV-2. L'hypothèse actuellement privilégiée est qu'il s'agit plutôt d'une évolution convergente.

Y a-t-il des indices pointant vers d'autres candidats au rôle d'hôte intermédiaire ?

É. D. Dans les zoonoses, les hôtes intermédiaires se retrouvent généralement parmi les animaux d'élevage ou sauvages en contact avec les populations. Or, en dépit des recherches de virus dans les espèces animales vendues sur le marché de Wuhan, aucun virus intermédiaire entre RaTG13 et SARS-CoV-2 n'a pu être identifié à ce jour. Tant que ce virus intermédiaire n'aura pas été identifié et son génome séquencé, la question de l'origine de ce virus restera non résolue. Car en l'absence d'éléments probants concernant le dernier intermédiaire animal avant la contamination humaine, certains auteurs suggèrent que ce virus pourrait avoir franchi la barrière d'espèce à la suite d'un accident de laboratoire ou être d'origine synthétique.

Vous pensez que le SARS-CoV-2 est sorti d'un laboratoire ?

É. D. On ne peut éliminer cette hypothèse, dans la mesure où le SARS-CoV qui a émergé en 2003 est sorti au moins quatre fois de laboratoires lors d'expérimentations. Par ailleurs, il faut savoir que les coronavirus étaient largement étudiés dans les laboratoires proches de la zone d'émergence du SARS-CoV-2 qui dési-

raient entre autres comprendre les mécanismes de franchissement de la barrière d'espèce. Toutefois, pour l'instant, les analyses fondées sur la phylogénie des génomes complets de virus ne permettent pas de conclure définitivement quant à l'origine évolutive du SARS-CoV-2.

On dispose de trois grands types de scénarii pour expliquer comment SARS-CoV-2 a acquis son potentiel épidémique. Premièrement, il s'agit d'une zoonose. Le Covid-19 est dû au franchissement récent de la barrière d'espèce par le coronavirus. Dans ce cas, on doit retrouver un virus plus proche que RaTG13 dans une espèce domestique ou d'élevage. Pour rappel, ce n'est toujours pas le cas. Deuxième scénario, il pourrait également s'agir d'un coronavirus différent de SARS-CoV ou de MERS-CoV, qui se serait adapté à l'humain il y a déjà plusieurs années, qui aurait circulé jusqu'ici à bas bruit, et qu'une mutation récente aurait rendu plus transmissible d'homme à homme. Pour étayer ce cas de figure, il faudrait pouvoir analyser les échantillons viraux de personnes décédées de pneumonies atypiques dans la zone d'émergence avant le début de la pandémie.

Enfin, il reste la possibilité que SARS-CoV-2 descende d'un virus de chauves-souris isolé par les scientifiques lors des collectes de virus et qui se serait adapté à d'autres espèces au cours d'études sur des modèles animaux en laboratoire ; laboratoire dont il se serait ensuite échappé accidentellement.



© JOHANNES EISELE/AFP

Cette dernière hypothèse ne risque-t-elle pas de conforter les discours complotistes sur la pandémie ?

É. D. Étudier l'origine de Sars-CoV-2 est une démarche scientifique qui ne peut être assimilée à une thèse complotiste. De plus, j'insiste sur le fait que, tant qu'on n'aura pas trouvé l'hôte intermédiaire, cette hypothèse d'un échappement accidentel ne peut être écartée par la communauté scientifique.

À ce jour, les études scientifiques n'ont apporté aucun élément définitif qui démontrerait cette hypothèse ; il n'en demeure pas moins que des analyses plus approfondies sont nécessaires pour trancher. La question de l'origine naturelle ou synthétique du SARS-CoV-2 ne doit pas dépendre d'un agenda politique ou de logiques de communication. Elle mérite d'être examinée à la lumière des données scientifiques à notre disposition. Nos hypothèses doivent également tenir compte de ce qu'il est actuellement possible de réaliser dans les laboratoires de virologie ; et du fait que dans

“Tant qu'on n'aura pas trouvé l'hôte intermédiaire, l'hypothèse d'un échappement accidentel ne pourra être écartée par la communauté scientifique.”



► Salle du laboratoire de recherche biologique P4 (pathogènes de classe 4) de Wuhan, en Chine.

certaines laboratoires, la manipulation du génome de virus potentiellement pathogènes est une pratique courante, notamment pour étudier les mécanismes de franchissement de la barrière d'espèce.

Ces outils ne sont-ils pas justement les seuls capables de nous permettre de comprendre et combattre les virus et les épidémies qu'ils entraînent ?

É. D. Certes, mais il faut bien comprendre qu'en quelques années, les paradigmes de la recherche sur les virus ont radicalement changé. Aujourd'hui, obtenir ou faire synthétiser une séquence génétique est à la portée de n'importe quel laboratoire : on peut en moins d'un mois construire de toutes pièces un virus fonctionnel à partir des séquences disponibles dans les bases de données. De plus, des outils de manipulation du génome rapides, bon marché et faciles à utiliser ont été développés. Ces outils permettent de faire des avancées spectaculaires, mais ils démultiplient aussi les risques et la gravité poten-

tielle d'un éventuel accident, notamment lors d'expériences de « gain de fonction » sur des virus à potentiel pandémique.

Même s'il s'avère que la pandémie de Covid-19 est finalement le résultat d'une zoonose « classique », plusieurs incidents ayant conduit à des sorties accidentelles de virus depuis des laboratoires ont été documentés ces dernières années. Un des cas les plus connus concerne le virus Marburg, issu d'une contamination par des singes sauvages. La pandémie grippale de 1977 en est un autre exemple. Des études génétiques récentes suggèrent qu'elle aurait résulté de la sortie de laboratoire d'une souche virale collectée dans les années 1950. Et plus récemment, plusieurs sorties accidentelles de SARS-CoV étudiés dans des laboratoires ont été rapportées dans la littérature, même si elles n'ont heureusement donné lieu à aucune épidémie importante.

Prônez-vous un moratoire ou une interdiction de ces recherches ?

É. D. Je ne prône pas une interdiction pure et simple ; mais au vu des risques infectieux que les techniques d'étude des virus nous font aujourd'hui courir, la société civile et la communauté scientifique doivent au plus vite s'interroger sur la pratique d'expériences de gain de fonction et d'adaptation artificielle de souches virales dans des hôtes animaux intermédiaires.

En 2015, conscientes du problème, les agences fédérales américaines avaient gelé le financement de toute nouvelle étude impliquant ce type d'expériences. Ce moratoire a pris fin en 2017. Ces pratiques à haut risque devraient, à mon sens, être repensées et encadrées au niveau international par des comités d'éthiques. Enfin, les chercheurs de ces domaines doivent également mieux prendre en compte leur propre responsabilité dès lors qu'ils ont

conscience des dangers éventuels que peuvent générer leurs travaux.

N'est-ce pas déjà le cas ?

É. D. En théorie, oui. Dans la réalité, on est souvent loin du compte, notamment car nous, les scientifiques, sommes insuffisamment formés sur ces questions. Et parce que le climat de compétition qui baigne le monde de la recherche engendre de l'expérimentation rapide et tous azimuts, sans réflexion approfondie sur ces questions d'éthique ou la dangerosité potentielle de ces travaux.

Dans mes cours consacrés à l'ingénierie virale, j'ai l'habitude de présenter à des étudiants de Master cet exercice théorique : je leur demande d'imaginer un procédé procurant au virus VIH la capacité d'infecter n'importe quelle cellule de l'organisme (pas seulement les lymphocytes). Ces étudiants sont brillants, et la plupart sont en mesure de me proposer des méthodes efficaces, conduisant à la construction de virus chimériques potentiellement dangereux. Je donne ce cours depuis une dizaine d'années et les étudiants s'attachent exclusivement à l'efficacité des méthodes sans s'interroger une seconde sur les conséquences potentielles de leurs mises en œuvre.

L'objectif pédagogique que je poursuis est de les sensibiliser à ces problématiques et de leur montrer qu'on peut, dans bien des cas, construire des systèmes expérimentaux tout aussi efficaces et permettant de mieux contrôler les risques biologiques. Il faut intervenir dès la formation, en formant les futurs biologistes à toujours questionner le risque et la pertinence sociétale de leurs travaux, aussi novateurs soient-ils. ||



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

Quel vaccin contre le Covid-19 ?

VIVANT 

VIROLOGIE 180 candidats-vaccins sont en cours de développement dont plus de 40 en phase d'essais cliniques chez l'humain. Comment ces vaccins fonctionnent-ils ? *CNRS le Journal* a mené l'enquête.

PAR LAURE CAILLOCE

A lors que l'épidémie semble partie pour durer, la mise au point d'un vaccin pour protéger la population mondiale apparaît comme la meilleure option à ce jour. Les laboratoires privés et publics y travaillent d'arrache-pied. Dix candidats-vaccins ont à ce jour atteint la dernière phase des essais cliniques chez l'homme et le Royaume-Uni était, début décembre, le premier pays au monde à annoncer la mise sur le marché de l'un d'entre eux : le vaccin ARN de Pfizer BioNTech (lire plus bas).

Le principe de la vaccination est immuable : il s'agit de présenter un pathogène à notre système immunitaire afin qu'il apprenne à le reconnaître et à fabriquer les anticorps spécifiques qui seront prêts à le neutraliser. « *En réalité, ce n'est pas le virus en tant que tel qui déclenche la réponse immunitaire, mais des protéines qui se trouvent à sa surface, les antigènes* », explique Bruno Pitard, physico-chimiste au Centre de recherche en cancérologie et immunologie Nantes-Angers¹. Ces antigènes sont la clé qui permet au virus de pénétrer dans la cellule, qu'il va alors mettre à son ser-

vice pour se reproduire. Chez les coronavirus, l'antigène le mieux reconnu est la protéine S (pour Spike), cette protéine en forme de pique qui donne au virus son aspect « hérissé ».

L'idée du vaccin est évidemment d'inoculer le pathogène sous une forme totalement inoffensive, qui ne risque pas de déclencher la maladie contre laquelle il prétend nous défendre. Plusieurs techniques sont possibles pour cela.

► QUELLES SONT LES TECHNIQUES UTILISÉES ?

Le virus entier, atténué ou inactivé.

La première, utilisée depuis que la vaccination existe, consiste à présenter le virus entier au système immunitaire, ce qui suppose de le cultiver en très grande quantité. C'est la voie suivie notamment par plusieurs laboratoires chinois pour la mise au point d'un vaccin anti-Covid.

Pour s'assurer qu'il sera sans danger pour le corps, on peut soit présenter le virus sous une forme inactivée (tué), après l'avoir préalablement chauffé ou passé au formol, soit le présenter sous une forme atténuée. Dans ce second cas, le virus est toujours vivant mais a perdu sa dangerosité. « *C'est de la sélection génétique. On ne garde que les souches virales qui ont acquis des mutations qui ne donnent pas la maladie* », explique Frédéric Tangy, virologue, directeur du Laboratoire d'innovation vaccinale de l'Institut

Pasteur. De nombreux vaccins ont été développés sur ce modèle (rubéole, fièvre jaune, rougeole...).

Un morceau de virus. Deuxième possibilité : au lieu de présenter le virus entier, on se concentre sur l'antigène qui provoque la réponse immunitaire. « *L'idée ici est de faire produire la protéine Spike en usine par des lignées cellulaires de mammifères et de l'introduire dans l'organisme en association avec un adjuvant qui donnera le signal d'alerte au système immunitaire*, explique Bruno Pitard. *Seule, une protéine, même virale, ne sera pas considérée comme dangereuse par le corps qui en produit lui-même des milliards.* »

L'association adjuvant-antigène, au contraire, est immédiatement reconnue comme un corps étranger : les macrophages, la première ligne de défense du système immunitaire, vont le « manger » et identifier S comme une protéine exogène. La production d'anticorps est alors lancée. Les vaccins contre l'hépatite B et le papillomavirus sont fabriqués suivant cette technique, choisie par Sanofi (allié à GlaxoSmithKline) pour son vaccin anti-Covid.

Des vaccins à ADN/ARN. Puisque le rôle de la protéine S est crucial dans le déclenchement de la réponse immunitaire contre le Covid, pourquoi ne pas la faire produire directement par le corps humain, en introduisant dans nos cellules la séquence génétique qui code pour cette protéine

1. Unité CNRS/Inserm/Université Angers/Université de Nantes.



© JOE RAEDLE/GETTY IMAGES

▼ À ce jour, dix candidats-vaccins contre le Covid-19 sont entrés dans la 3^e et dernière phase des essais chez l'humain.

virale ? Problème, l'ADN ou l'ARN sont dégradés par nos enzymes à peine entrés dans l'organisme. Pour s'assurer que le code de Spike arrive intact jusqu'à l'intérieur de nos cellules, il lui faut un véhicule capable de l'y transporter : or quoi de mieux qu'un virus pour cela ?

Deux voies sont possibles. Soit fabriquer un virus « canada dry », selon l'expression de Bruno Pitard – une enveloppe totalement artificielle composée de molécules mimant les lipides et les protéines, qui aura tous les attributs d'un virus sans en être un. C'est l'option prise par le laboratoire Pfizer allié à BioNTech, ou encore par l'entreprise de biotechnologie Moderna Therapeutics. Soit utiliser un virus bien réel, mais inoffensif pour nous. « L'utilisation de vecteurs viraux – de vrais virus donc – est la stratégie pour laquelle de nombreux laboratoires ont opté pour leur vaccin anti-Covid », explique Frédéric Tangy. Deux types de plateformes virales sont utilisées à cet effet : des adénovirus, qui

ne sont rien d'autre que des virus du rhume (c'est le choix fait par les chercheurs russes pour leur vaccin Sputnik V), ou le vaccin de la rougeole, utilisé depuis quarante ans pour vacciner les enfants, et dont l'ARN est modifié afin d'y intégrer le code de Spike. C'est cette plateforme rougeole que nous avons choisie à Pasteur pour développer notre candidat-vaccin. »

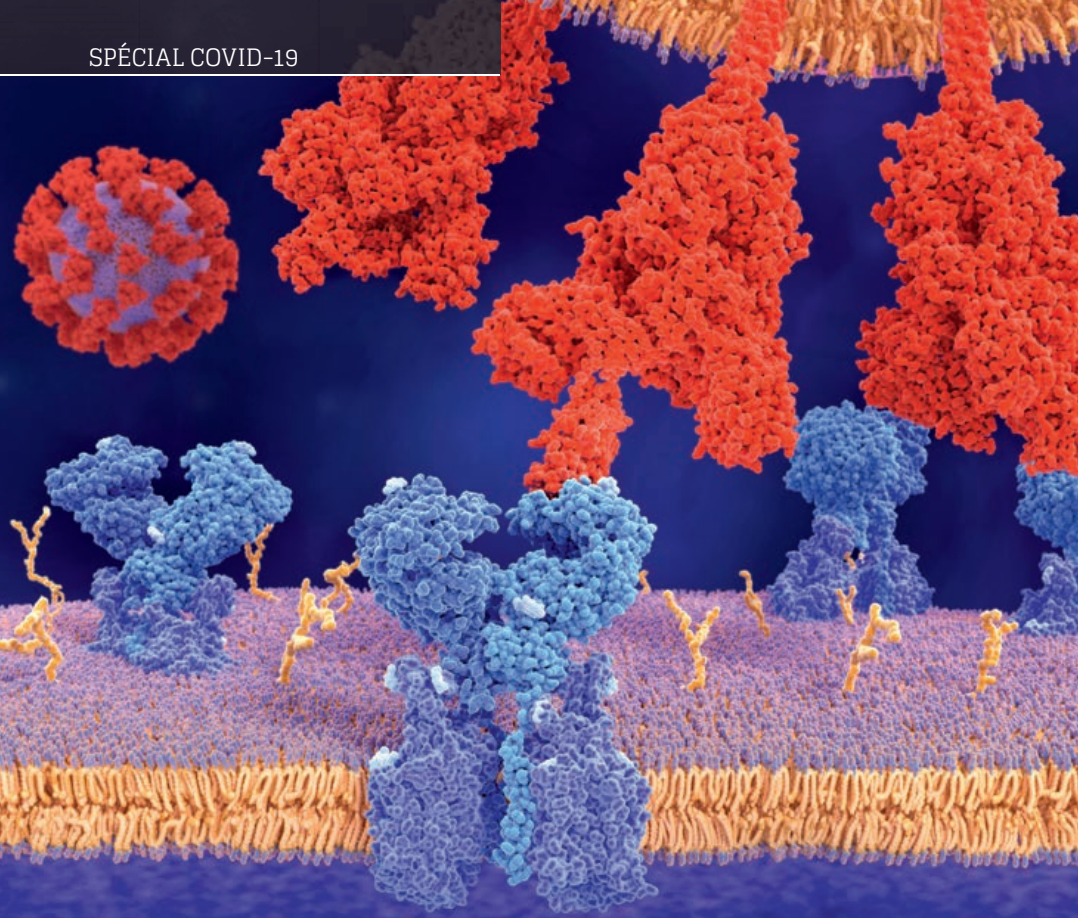
Avec une incertitude soulevée par Bruno Pitard : *quid* du cas de figure où la personne vaccinée aurait déjà des anticorps contre le virus utilisé comme « vecteur » ? C'est pour éviter ce possible écueil qu'AstraZeneca, associé à l'université d'Oxford, a fait le choix d'utiliser un adénovirus modifié de... chimpanzé. « D'après nos essais cliniques déjà réalisés avec le vecteur rougeole, cette pré-immunité ne semble pas poser de problème », indique pour sa part Frédéric Tangy.

Si dans la décennie qui vient de s'écouler, plusieurs candidats-vaccins utilisant ces nouvelles technologies sont arrivés jusqu'à la phase 3 des

essais cliniques chez l'humain (dont un contre Ebola), aucun vaccin à ADN/ARN n'a encore été déployé en médecine humaine. Des vaccins à ADN sont néanmoins utilisés depuis plusieurs années chez le cheval, le poisson d'élevage ou le chien.

► QUAND SAURA-T-ON SI CES VACCINS SONT EFFICACES ?

Au vu de la gravité de la pandémie, l'Organisation mondiale de la santé (OMS) a fixé à 50 % le seuil d'efficacité requis pour mettre sur le marché un vaccin anti-Covid-19 – c'est un seuil proche du vaccin contre la grippe, très inférieur néanmoins aux performances de la plupart des vaccins aujourd'hui utilisés chez l'humain. À ce jour, parmi la quarantaine de candidats-vaccins en phase clinique chez l'humain, dix sont entrés en phase 3 – la dernière, mais aussi la plus longue.



© JUAN GARNIER/SCIENCE PHOTO LIBRARY

Un calendrier accéléré. Pour rappel, les essais cliniques comportent trois étapes. La première, menée sur quelques dizaines de volontaires, permet de s'assurer que le vaccin est sûr et n'entraîne pas d'effets secondaires sévères. La deuxième, conduite sur un échantillon plus large (environ 200 personnes), permet de vérifier que les personnes vaccinées produisent bien les anticorps recherchés pour lutter contre la maladie. La troisième, menée sur 30 000 à 50 000 personnes au moins (soit plusieurs années de travail en temps normal), fait la preuve de l'efficacité du vaccin sur le terrain, grâce à des tests en double aveugle. « *Un groupe est vacciné avec le candidat-vaccin, tandis que le second groupe reçoit un placebo, détaille Frédéric Tangy. Selon les critères fixés par l'OMS, le vaccin contre le Covid sera jugé efficace si parmi les personnes ayant reçu le produit, on compte 50 % d'infections en moins que dans le groupe témoin.* »

Vu l'urgence de la situation sanitaire, des autorisations dérogatoires de mise sur le marché pourraient être accordées au vaccin qui obtient de

bons résultats alors que la phase 3 est toujours en cours... En laissant en suspens de nombreuses questions sur le virus.

La délicate question des anticorps.

La principale interrogation concerne les anticorps produits après la vaccination. Combien de temps seront-ils présents dans le sang, alors que plusieurs études scientifiques font état de leur disparition au bout de quelques semaines à quelques mois chez des malades confrontés une première fois au Covid-19 ? « *La présence d'anticorps dans le sang n'est pas la seule réponse du système immunitaire, nuance Claude-Agnès Reynaud, immunologiste à l'hôpital Necker-*

▼ La protéine Spike (en rouge) située à la surface du coronavirus provoque la réaction anticorps.

Enfants malades². La mémoire immunitaire joue également un rôle crucial pour une protection sur la durée. Ces cellules-mémoire (des lymphocytes B) produites dans la moelle osseuse peuvent se réactiver en cas de nouvelle infection et fabriquer à nouveau des anticorps. Une personne peut très bien être séronégative et avoir des B-mémoire. » Or ces cellules-mémoire ne sont pas mesurées lors des essais cliniques – seuls les laboratoires de recherche fondamentale sont équipés pour cela.

Autre question épineuse, celle des anticorps « facilitants ». Il arrive en effet que les anticorps produits ne soient pas assez fonctionnels et, en cas de nouvelle infection, aggravent la maladie au lieu de la combattre. « *C'est un phénomène observé avec la dengue, auquel s'est heurté un candidat-vaccin développé contre cette maladie, ou encore avec la bronchiolite du nourrisson, rappelle Frédéric Tangy. En 2008, un vaccin contre le sida a dû être interrompu en phase 3 pour cette raison.* » Rien n'est décidément simple en matière de vaccinologie...

« *La recherche, c'est le temps long. Ici, au labo, on change d'avis tous les jours sur le Covid* », rappelle Claude-Agnès Reynaud, qui affirme pourtant rester une « irrémédiable optimiste ». « *Sur le papier, c'est un virus assez "bête". Il varie peu, notamment dans la façon dont il infecte la cellule ; la plupart des gens développent des anticorps neutralisants facilement. Pourquoi, dans ces conditions, n'arriverait-on pas à développer un vaccin efficace ?* » II



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



Retrouvez en ligne notre dossier spécial consacré au Covid-19.

Plus de 80 articles, podcasts et vidéos pour découvrir les recherches menées dans toutes les disciplines sur le SARS-CoV-2 et l'épidémie.

lejourn.cnrs.fr/covid19

². Institut Necker-Enfants malades-Centre de Recherche (CNRS/Inserm/Université de Paris).

EN PERSONNE



*Où l'on rencontre une physicienne
créatrice de neurones artificiels
et un mathématicien qui aime animer
sa communauté.*

Julie Grollier, chercheuse (bio)inspirée

PAR JEAN-BAPTISTE VEYRIERAS

PHYSIQUE Le neurone artificiel qu'elle a créé a fait sensation. À présent, elle veut mettre au point des processeurs inspirés du fonctionnement du cerveau. Portrait de Julie Grollier, spécialiste de spintronique.

« **L**e rêve, la passion et l'imagination. » C'est ce que répond Julie Grollier, lauréate de la médaille d'argent du CNRS en 2018, quand on lui demande ce qui lui semble le plus important dans son approche de la recherche. Nanotechnologies, neurosciences, physique quantique, science des matériaux, électronique, mathématiques, informatique... Une foule de disciplines se mêlent en permanence dans les réflexions de la physicienne, directrice d'une équipe au sein de l'Unité mixte de physique CNRS/Thales. Une telle pluridisciplinarité aurait de quoi donner le tournis ! Pas à Julie Grollier, justement passée maître dans l'art de contrôler les boussoles les plus fondamentales de la matière : les électrons, minuscules « aimants » pouvant prendre deux orientations, « vers le haut » ou « vers le bas », appelées spins. Or qui contrôle ces fameux spins, contrôle les propriétés magnétiques d'un matériau...

Maîtriser le spin et booster la mémoire vive

La possibilité théorique de lire et contrôler le spin à l'aide de courants électriques émerge dans les années 1980. La spintronique, nouvelle discipline qui en découlera, offre à la chercheuse un jardin propice où cultiver la pluridisciplinarité qu'elle affectionne. « Une amie en thèse m'a aiguillée vers cette voie », se souvient-elle reconnaissante. Quelques années auparavant, étudiante à l'École supérieure d'électricité (Supélec), elle ignorait encore tout de la spintronique... et désespérait de trouver un

métier à même de satisfaire son insatiable curiosité. « Un premier stage sur la supraconductivité au Laboratoire de cristallographie et science des matériaux à Caen¹ m'a ouvert les yeux. Je trouvais enfin une manière de concilier mon envie de mener des expérimentations concrètes avec des questions théoriques fondamentales. » Cette expérience décisive l'encourage à poursuivre en thèse en 2000 sous la direction « d'un chercheur extraordinaire », selon la description de la même amie.

Ce chercheur, c'est Albert Fert, futur lauréat de la médaille d'or du CNRS en 2003 puis du prix Nobel de physique 2007 avec Peter Grünberg. Tous deux sont les découvreurs de la **magnétorésistance géante**, phénomène qui assure aujourd'hui la lecture des données numériques de la plupart des disques durs de la planète. « Cela a été une grande chance de travailler avec lui », salue-t-elle. Une chance vite mise à profit. « Pendant ma thèse, j'ai été l'une des premières à démontrer qu'il était possible de contrôler le sens de l'aimantation avec un courant électrique intense au sein de nanostructures multicouche », se réjouit-elle évoquant ces sortes de « mille-feuille » alternant des couches d'isolants et des couches ferromagnétiques de seulement quelques nanomètres d'épaisseur (un nanomètre vaut un millionième de millimètre, soit l'équivalent d'à peine une dizaine d'atomes).

MAGNÉTO-RÉSISTANCE GÉANTE

Phénomène quantique lié au spin des électrons et observé dans une multicouche : sa résistance au passage du courant électrique chute fortement sous l'action d'un champ magnétique.

“J’ai été l’une des premières à démontrer qu’il était possible de contrôler le sens de l’aimantation avec un courant électrique intense au sein de nanostructures multicouche.”

1. Unité CNRS/Univ. Caen Normandie/Ensicaen. 2. Chercheur au Centre de nanosciences et de nanotechnologies (CNRS/Univ. Paris-Sud/Univ. Paris-Saclay).

► La physicienne Julie Grollier allie la spintronique et l'intelligence artificielle.

Son parcours en 6 dates

1975	Naissance à Poitiers
2005	Chargée de recherche au CNRS
2010	Grand prix Jacques Herbrand de l'Académie des sciences
2015	Directrice de recherche au CNRS
2017	Mise au point d'un neurone artificiel aux capacités inédites
2018	Médaille d'argent du CNRS

spintronique pour créer des « nano-neurones » et des « nano-synapses » artificiels, 1 000 fois plus petits que le diamètre d'un cheveu ! Menés avec Damien Querlioz², ces travaux prometteurs bénéficient d'un financement européen (bourse ERC) dès 2010. Sept ans plus tard, ils débouchent sur une preuve de concept retentissante : un premier neurone artificiel capable de reconnaître des chiffres entre 0 et 9 prononcés par différentes personnes !

Largement relayé par la presse, l'exploit ouvre des perspectives inédites pour « booster » et « verdier » l'intelligence artificielle (IA). « *Un processeur neuromorphique pourrait réduire considérablement le temps et l'énergie nécessaire à l'apprentissage des fameux réseaux de neurones massivement utilisés en IA aujourd'hui* », anticipe-t-elle. Pour ce faire, Julie Grollier envisage à présent d'assembler jusqu'à un million de neurones artificiels. « *C'est le minimum pour des applications d'IA en médecine, ou pour diriger robots et voitures autonomes*. » Dans cette voie, elle peut à présent compter sur la force d'un réseau national interdisciplinaire, le GDR Bio-Comp, qu'elle a initié en 2015. « *On n'apprend jamais mieux qu'en discutant avec les gens* », insiste-t-elle.

La dimension humaine et collective de la recherche, subtil mélange de partage, d'écoute, de rigueur et d'imagination, demeure l'un de ses terrains préférés. Mais, « *lorsque vous vous retrouvez la seule femme ou presque dans des conférences, il est encore difficile de ne pas s'interroger sur sa propre légitimité* », confie-t-elle malgré l'excellence de son parcours scientifique. « *Pour stimuler les jeunes femmes, il est important de changer l'image du scientifique-type, encore trop souvent dépeint comme un homme aux cheveux grisonnants* », regrette-t-elle. Le livre³ pour la jeunesse sur l'intelligence artificielle qu'elle est en train de finaliser contribuera peut-être à changer les choses... II

La découverte vaut le détour. Elle signifie qu'il est possible d'inscrire durablement dans la matière les chiffres zéro ou un, selon le spin donc, ouvrant ainsi la voie à une nouvelle technologie de mémoires magnétiques, plus performantes et moins énergivores. Les industriels en voient vite l'intérêt pour la conception de mémoire vive, la fameuse RAM qui stocke temporairement les données du processeur et conditionne la vitesse de traitement de nos ordinateurs. Résultat : « *le phénomène est à présent exploité dans des mémoires vives dites ST-MRAM, particulièrement rapides et commercialisées depuis deux ans* », commente la physicienne.

Assembler un million de neurones artificiels

L'envie de contribuer à la fois au progrès théorique et technologique conduit ensuite Julie Grollier à rejoindre l'équipe mixte CNRS/Thales en 2006. Elle se lance alors un défi fascinant : créer des ordinateurs dont les processeurs s'inspirent du fonctionnement des neurones biologiques du cerveau, des processeurs neuromorphiques. « *Ils pourraient se révéler plus rapides, plus robustes aux erreurs et consommer jusqu'à 10 000 fois moins d'énergie que les processeurs actuels* », gage-t-elle. Son idée : utiliser la puissance de la

RÉSEAUX DE NEURONES

Fonctions mathématiques qui, connectées en réseau, permettent de simuler numériquement le fonctionnement d'unités de calcul.

3. Estelle et Noé à la découverte des intelligences artificielles I, éd. Millepages, à paraître.

« Les mathématiques ont besoin d'interaction »

Le 1^{er} septembre, Pascal Hubert a pris la direction du Centre international de rencontres mathématiques (Cirm), situé aux portes des calanques de Marseille. Retour sur ses ambitions pour un lieu cher aux mathématiciens et mathématiciennes de par le monde.

PAR LAURENCE STENVOT

La passion des mathématiques, ce spécialiste des « systèmes dynamiques¹ » la développe dès son plus jeune âge avec son grand-père, lui-même professeur de mathématiques. « *Ces après-midi où nous séchions ensemble durant des heures sur des problèmes de géométrie. C'est cela qui m'a passionné, plus encore que mes études !* » Aujourd'hui, Pascal Hubert est à la tête du Cirm² et, entre les deux, c'est une histoire d'amour de longue date.

Un lieu d'accueil et de recherche sans frontières

« *Je le connais très bien car je le fréquente depuis mes 23 ans. J'ai d'ailleurs été une des personnes qui y a organisé le plus de conférences !* » Les souvenirs, le mathématicien marseillais les a multipliés : comme la co-organisation en 2003 d'un colloque sur « la dynamique dans l'espace de Teichmüller », qui a soudé une communauté mathématique très active dont Maryam Mirzakhani et Artur Avila, qui ont par la suite décroché la médaille Fields. Ou encore cette conférence mémorable du mathématicien américain John Hubbard – après la traditionnelle bouillabaisse du jeudi au Cirm – qui a donné son nom à une théorie mathématique, les « surfaces bouillabaisse »...

Professeur à Aix-Marseille Université, Pascal Hubert a également été directeur de la Fédération de recherche des unités de mathématiques de Marseille (Frumam) et de l'Institut de mathématiques de Marseille³, ce qui lui a valu de multiplier les collaborations avec le Cirm – notamment avec le Mois thématique⁴, né il y a vingt ans et devenu un réel succès. Ce dernier s'inscrit au sein de la dense programmation du centre, qui compte bien sûr



▼ Pascal Hubert, mathématicien, est le nouveau directeur du Cirm, à Marseille.

les événements traditionnels comme les conférences et écoles, mais également la chaire Jean-Morlet, le programme Interface en lien avec les industriels ou encore des rencontres scientifiques longue durée telles que le Cemracs⁵. « *En 2019, le Cirm a organisé 96 événements et a accueilli 4 735 participants dont 53 % d'internationaux. Tous les mathématiciens et mathématiciennes au monde passent au Cirm au moins une fois dans leur vie.* »

Aujourd'hui, la pandémie de Covid-19 ne permet plus de remplir les 120 lits de l'hôtel du Cirm ni les 150 places de son restaurant. « *À la réouverture du centre le 31 août, nous avons décidé de favoriser une reprise hybride, c'est-à-dire avec une partie des participants présents sur le site et une partie en visioconférence.* » Le Cirm a pu poursuivre de cette façon les conférences internationales malgré la fermeture des frontières. Cette reprise en petit comité favorise également un des projets du nouveau directeur : le développement de l'accueil des workshops tout au long de l'année, au fil de l'eau. « *L'accueil de ces petits groupes de travail sur le long terme permet de favoriser les interactions entre mathématiciens et mathématiciennes et les grandes idées que ces échanges font naître.* »

Des projets pour susciter les vocations

Le Cirm a refermé ses portes depuis le 30 octobre mais continuera de faire vivre son centre grâce à son matériel audiovisuel. « *Que ce soit lors du premier ou du deuxième confinement, nous avons pu transformer plusieurs*

1. Plus précisément : Dynamique dans les espaces de Teichmüller, billards polygonaux, échanges d'intervalles. Ce domaine attire depuis vingt ans l'attention de nombreux mathématiciens et mathématiciennes, dont cinq lauréats de la médaille Fields. 2. Unité CNRS/SMF/Aix-Marseille Université. 3. Unité CNRS/AMU/Centrale Marseille. 4. Session thématique d'un mois proposée par une équipe de recherche après appel à projet. 5. <https://www.cirm-math.com/cemracs.html> 6. Unité CNRS/Sorbonne Université. 7. <https://www.fr-cirm-math.fr/labex.html>



3 QUESTIONS À

Axel Cleeremans

Fondateur de l'association des lauréats ERC

Alors que l'Union européenne revoit à la baisse les budgets alloués à la recherche pour 2021-2027, la toute nouvelle Association of ERC Grantees souhaite devenir un porte-parole de la recherche fondamentale en Europe.

PROPOS RECUEILLIS PAR LAURENCE STENVOT

Qu'est ce qui a motivé la création de l'association ?

Axel Cleeremans¹. Tout a commencé avec une suggestion de Jean-Pierre Bourguignon² de créer une association autour du Conseil européen de la recherche qui rassemblerait l'ensemble des récipiendaires des bourses ERC. En 2017, nous avons commencé à prospecter avec un petit groupe de six personnes. Notre projet s'est finalement concrétisé le 24 septembre à l'occasion des EU Research and innovation days 2020. L'association sera officiellement opérationnelle à la fin de l'année. Entre 150 et 200 chercheurs nous ont déjà contactés pour devenir membres.

Quels en sont les objectifs ?

A. C. Tout d'abord, rassembler les 10 000 lauréats ERC qui représentent notamment sept prix Nobel et presque 2 000 brevets. Ensuite, devenir une voix pour l'ERC et la recherche fondamentale en Europe. Cela auprès du grand public, mais aussi des décideurs politiques. Les scientifiques veulent s'investir et représentent une « banque de l'esprit » qui ne demande qu'à être utilisée. Enfin, aider les jeunes chercheurs à postuler et mettre notamment l'accent sur les pays moins représentés au sein des lauréats tels que la Bulgarie ou la République Tchèque, par exemple. Cette association doit être la plus ouverte et collaborative possible pour rejoindre l'écosystème qui soutient la recherche fondamentale en Europe, comme le G6³ dont le CNRS fait partie.

Le futur programme-cadre Horizon Europe pour 2021-2027 à vu son budget se réduire, ce qui impacte grandement l'ERC...

A. C. Il est étonnant de voir que malgré la crise que nous traversons, certains pensent toujours que la recherche – et plus particulièrement la recherche fondamentale – est une forme de luxe dont on peut se passer. Nous ne pouvons nous permettre de stagner face à la concurrence internationale alors que l'ERC ne peut financer que 10 à 15 % des demandes. Il s'agit de l'un des premiers défis que notre association compte bien prendre à bras le corps.

1. Directeur de recherche au Fonds national de la recherche scientifique et professeur de sciences cognitives au département de psychologie de l'Université libre de Bruxelles.

2. Président par intérim du Conseil européen de la recherche. 3. Le G6 réunit le CNRS, le CNRS, le CSIC, l'Association Helmholtz, la Communauté Leibniz et la Société Max-Planck.

événements en virtuel, dont certains ont regroupé entre 150 et 200 participants, alors que le présentiel en attire en moyenne 70. Au-delà de la crise sanitaire, ce savoir-faire inscrit le Cirm dans une démarche écoresponsable et durable. » La pandémie a aussi fait exploser le nombre de vues sur sa chaîne YouTube : « Cette belle activité sur nos réseaux a été rendue possible grâce au catalogue de vidéos que nous construisons depuis 2014. Aujourd'hui plus de 1 500 films sont disponibles sur YouTube et enrichis sur notre bibliothèque audiovisuelle. Et nous travaillons actuellement avec l'Institut des hautes études scientifiques, l'Institut Henri Poincaré⁶ et le Centre international de mathématiques pures et appliquées au sein du LabEx Carmin⁷ pour créer une large bibliothèque de films de mathématiques (carmin.TV). » Ce nouvel outil aidera les mathématiciennes et mathématiciens à travers le monde, et notamment les pays d'Afrique, avec lesquels Pascal Hubert souhaite développer des passerelles pour accueillir de jeunes chercheurs.

Une ambition qui s'inscrit au sein des nombreux objectifs du directeur pour les années à venir : « Je souhaiterais aussi axer plus sur la pluridisciplinarité des mathématiques. Ces dernières sont en effet au carrefour d'autres sciences telles que l'informatique, les neurosciences, la biologie et bien plus encore ! » La diffusion scientifique sera également au cœur des futures ambitions du centre : « Nous avons lancé des projets depuis quelques années tels que des stages d'une semaine pour des lycéennes, avec le projet "Les cigales", pour inciter les carrières scientifiques au sein d'un public féminin sous-représenté en mathématiques. Nous devons accentuer ce type de programme et rappeler que les mathématiques sont accessibles à toutes et tous, et vivantes ! » II

▲ Les tableaux noirs installés dans le parc du centre permettent de résoudre des équations au soleil.



Hélène Fischer reçoit le prix Jean Perrin

Le 9 octobre, le Prix Jean Perrin, qui récompense des personnalités œuvrant pour la transmission de la culture scientifique auprès de la société, a été remis par la Société française de physique à Hélène Fischer, physicienne de l'Institut Jean Lamour et spécialiste du nano-magnétisme et de l'électronique de spin. Elle est notamment à l'origine de l'exposition « Magnétique » inaugurée en novembre 2019 au Palais de la Découverte, à Paris.

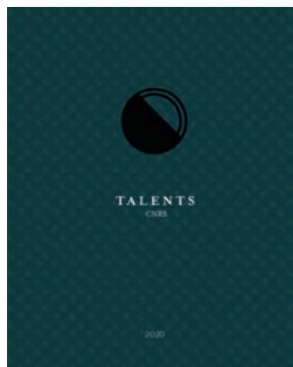


©CEDRIC JACQUOT

13

C'est le nombre de projets qui ont un partenaire français parmi

les 34 retenus dans le cadre de l'appel ERC Synergy Grant 2020, dont les résultats ont été publiés le 5 novembre... Ces 13 projets impliquent tous des chercheurs et chercheuses du CNRS ou relevant d'unités mixtes.



Découvrez les Talents 2020 du CNRS

Tous les portraits des lauréats 2020 des Talents du CNRS (médaille d'or, médailles de l'innovation, d'argent, de bronze, de cristal et du cristal collectif) sont en ligne.

www.cnrs.fr/talent/index

L'Académie des sciences dévoile ses lauréats

L'Académie des sciences a révélé les noms des 66 lauréats 2020 de ses différents prix, dont plus de 50 sont liés au CNRS. Parmi eux, **Marie Manceau**, directrice de recherche au CNRS, qui dirige une équipe au Centre interdisciplinaire de recherche en biologie, a ainsi reçu le prestigieux prix Richard Lounsbery pour ses travaux sur la formation, au cours du développement de l'embryon, des motifs qui parent les animaux sauvages. **Pierre-Louis Curien**, directeur de recherche émérite CNRS à l'Institut de recherche en informatique fondamentale, s'est vu attribuer le Grand Prix Inria-Académie des sciences pour ses recherches sur les langages de programmation.

www.academie-sciences.fr



©PATRICK JAMET/COLEÈRE DE FRANCE



©INRIA / PHOTO B. FOURNIER

Des innovateurs pour la santé

Organisé par la Région Île-de-France, le Prix des Innovateurs en santé 2020 a pour objectif de promouvoir des chercheuses et chercheurs de moins de 45 ans et leurs équipes. Parmi les trois lauréats de cette première édition, on trouve deux scientifiques du CNRS : **Amanda Karine Andriola Silva**, chargée de recherche CNRS au sein du laboratoire Matière et systèmes complexes à l'université de Paris, pour ses travaux dédiés à la production et l'ingénierie des vésicules extracellulaires qui s'appliqueront notamment sur le traitement des fistules digestives ; et **Raphaël Rodriguez**, directeur de recherche CNRS à l'Institut Curie pour ses travaux sur la compréhension de la biologie du cancer à l'échelle atomique et moléculaire.



©D.R.



©STÉPHANE VAIQUERO / INSTITUT CURIE

GRAND FORMAT



*Une enquête sur les réactions de la société
aux attentats, une sélection des plus belles
photos de la science et une analyse de la
nouvelle loi pour la recherche.*



Rassemblement en hommage à Samuel Paty, le 18 octobre 2020 place de la République à Paris.

Comment la société réagit-elle aux attentats ?

Alors que le pays s'apprêtait à commémorer les victimes des attentats du 13 novembre 2015, la France a de nouveau été frappée par le terrorisme. La laïcité peut-elle être menacée par des actes comme l'assassinat de Samuel Paty ou l'attaque dans la basilique de Nice ? Les attentats aggravent-ils les divisions dans notre société ? Éléments de réponse avec des sociologues, politologues ou spécialistes des religions.

DOSSIER RÉALISÉ PAR MATTHIEU STRICOT, GRÉGORY FLÉCHET ET SOPHIE FÉLIX

La laïcité au centre des débats

Cinq ans après la vague d'attentats qui a frappé la France, l'assassinat de Samuel Paty le 16 octobre dernier a remis la question de la laïcité au cœur des grands sujets de société. Mais ces débats ont parfois tendance à confondre les questions autour de la liberté d'expression, de la radicalisation ou de l'islamisme avec la laïcité dans sa définition juridique. Que signifie-t-elle et d'où vient-elle ? Pour l'historien et juriste Patrick Weil, directeur de recherche au CNRS, rattaché au Centre d'histoire sociale des mondes contemporains¹, « la laïcité, c'est avant tout du droit. La loi de 1905 contient deux articles premiers, qui affirment la liberté de conscience comme absolue, la liberté de manifester sa foi ou de ne pas en manifester, sous réserve de dispositions d'ordre public. Et enfin, pour assurer que cette liberté soit égale pour tous, la séparation de l'État et des Églises garantit la neutralité des autorités publiques ».



“La laïcité française rend l’État responsable de la garantie de la liberté de conscience tout en cherchant à émanciper les citoyens de l’assignation proprement religieuse.”

Si la liberté de conscience, respectée dans l'ensemble des démocraties occidentales notamment, n'est pas une particularité française, notre laïcité conserve un caractère exceptionnel sur plusieurs points. D'abord, du fait de l'affirmation de la séparation entre Églises et État. « Au Royaume-Uni par exemple, il y a une foi plus reconnue que d'autres : la religion anglicane². En France, comme aux États-Unis, il n'y a pas de culte officiel reconnu ni financé par l'État. Cette spécificité assure l'égalité entre le croyant et le non-croyant », précise Patrick Weil. Ensuite, sur le plan sémantique. Dans le contexte anglo-saxon, on utilise plutôt le mot *secularism* qui décrit la séparation sociopolitique entre les deux sphères de l'État et du religieux, à l'instar de la laïcité, mais aussi le processus de détachement vis-à-vis des valeurs religieuses qui se fait progressivement dans une société donnée.

« La laïcité américaine (1791) ou la laïcité mexicaine (1860), sont bien plus anciennes que la française (1905) », relève l'historienne Valentine Zuber, directrice d'études à l'École pratique des hautes études et membre associée du



À lire :
Politiques de la
laïcité au XX^e siècle,
P. Weil (dir.), PUF,
2007, 634 p.

Groupe Sociétés, Religions, Laïcité³. Les trois se basent sur une séparation entre l'administration de l'État et celle des Églises. Leurs différences ? « La séparation américaine met l'accent sur la nécessité absolue de la préservation de la liberté religieuse face à l'ingérence excessive de l'État, alors que la séparation mexicaine cherche plus à préserver l'État de toute ingérence religieuse dans ses prérogatives régaliennes. La laïcité française est à mi-chemin, puisqu'elle rend l'État responsable de la garantie de la liberté de conscience tout en cherchant à émanciper les citoyens de l'assignation proprement religieuse », précise-t-elle.

Laïcité neutre ou de combat, un débat historique

Toutefois, le terme de laïcité ne fait pas toujours consensus, y compris sur la scène française. Depuis le XIX^e siècle, les tenants d'une laïcité de neutralité se sont opposés aux défenseurs d'une laïcité d'émancipation, plus combative. « Tout a commencé par le premier acte révolutionnaire, qui a définitivement détaché les sujets de leur seule appartenance religieuse en en faisant des citoyens libres et égaux en droit. Les grandes lois de laïcisation qui ont suivi à la fin du XIX^e siècle – celles sur l'hôpital, les cimetières, la justice et l'enseignement – ont fondé un service public laïc dont les fonctions étaient jusque-là généralement prises en charge par les Églises », raconte Valentine Zuber.

Mais parallèlement, deux conceptions de l'État n'ont cessé de s'affronter : l'une, monarchiste et catholique, l'autre démocratique et républicaine. Et, au sein même du camp républicain, différentes conceptions s'opposaient encore sur la meilleure manière de gérer les relations entre l'État et les religions. « Pour certains, il était nécessaire de garder un contrôle strict sur l'administration des institutions religieuses et le contenu des croyances professées, poursuit l'historienne. Considérant qu'elles devaient

être divisées afin que leur pouvoir de nuisance soit véritablement affaibli, le Premier ministre Émile Combes avait présenté un projet de loi qui contraignait les différents cultes à obtenir une autorisation administrative particulièrement pointilleuse. » Il y avait, d'autre part, des républicains plus libéraux en matière de liberté religieuse. Ces derniers, comme le socialiste Jean Jaurès, le spiritualiste Ferdinand Buisson ou le républicain modéré Aristide Briand, souhaitaient que l'on aboutisse à un divorce net, et si possible par consentement mutuel.

« Cela passait par la définition d'une différenciation entre les domaines d'action respectifs des institutions étatiques et religieuses, en faisant de ces dernières des institutions essentiellement privées, qui auraient vocation à se gérer par elles-mêmes et à s'autofinancer, explique Valentine Zuber. Pour les “combistes”, cette vision revenait à menacer d'affaiblir l'État, car il n'y aurait alors plus aucun levier concret pour tenter de contrôler leurs éventuels agissements antirépublicains. Malgré leur opposition, les partisans d'une laïcisation plutôt libérale l'ont finalement emporté, avec le



Carte postale encourageant la séparation de l'Église et de l'État, 1905.

© BRIDGEMAN IMAGES



Exposition « Le Rire de Cabu » organisée à l'Hôtel de Ville de Paris fin 2020, en hommage au dessinateur et caricaturiste assassiné lors de l'attentat contre *Charlie Hebdo*.

© COME SITTNER/REA

vote de la loi de séparation des Églises et de l'État, en 1905. » Pour Patrick Weil, « le débat historique a été clos à ce moment-là, et la loi peut désormais être interprétée par les juges. Cela peut être le juge administratif si une autorité publique est mise en cause pour non-application de la loi. Ou le juge pénal lorsque, par exemple, des pressions sont exercées sur des personnes qui portent atteinte à leur liberté de conscience ».

Des crispations récurrentes

Malgré cette loi, les débats autour de la laïcité ont continué à susciter régulièrement la polémique. Comme en 1959, quand la négociation de la loi Debré – qui a permis le subventionnement d'écoles privées, majoritairement confessionnelles, rétablissant ainsi une relation entre les Églises et l'État –, a créé un véritable séisme politique. Comme aussi au début des années 1980, lorsqu'une mobilisation rassemblant plusieurs centaines de milliers de personnes dont évêques et personnalités politiques, obligea François Mitterrand à renoncer à la loi Savary qui visait la création d'un grand service public de l'éducation unifié et laïc. Ou encore à la fin de cette même décennie lorsque l'islam commença à se faire plus visible dans l'espace public avec l'affaire des « foulards à Creil⁴ », en 1989. « Alors que l'on présupposait la sécularisation définitive, l'irruption de signes d'appartenance

à l'islam a créé une crispation qui est allée crescendo au cours des années 1990, à la faveur de phénomènes internationaux comme la révolution islamique en Iran, en 1979, et l'expansion du Front islamique du salut, en Algérie », note le politologue et islamologue Haoues Seniguer, directeur adjoint de l'Institut d'études de l'islam et des sociétés du monde musulman⁵ et chercheur au laboratoire Triangle : action, discours, pensée politique et économique⁶.

« Le voile a été promu par les courants islamistes identitaires, notamment les Frères musulmans. Toutefois, si des femmes décident de l'arborer avec une motivation politique, il est nécessaire de rappeler que d'autres le portent pour des raisons spirituelles », nuance-t-il. Par ailleurs, « alors que la première génération de musulmans en France, se considérant comme invités, vivaient leur religion dans la discrétion, leurs enfants et petits-enfants, qui sont Français et se considèrent comme tels, revendiquent plus souvent ouvertement leur appartenance à l'islam », explique Haoues Seniguer. La confusion règne car cette plus grande visibilité de l'islam est souvent amalgamée avec une certaine progression du conservatisme religieux, auquel se mêlent les concepts d'islamisme et de djihadisme ».

Alors l'islam pose-t-il vraiment de nouveaux défis à notre chère laïcité ? Patrick Weil rappelle que « l'Algérie était prévue comme territoire d'application de la loi 1905, même



À lire :
L'Islamisme décrypté,
H. Seniguer,
L'Harmattan, coll.
« Bibliothèque de
l'iReMMO », 2020,
216 p.

1. Unité CNRS/ Univ. Panthéon Sorbonne 2. En tant que souveraine du Royaume-Uni, la reine Elisabeth II porte le titre de Gouverneur suprême de l'Église d'Angleterre 3. Unité CNRS/ EPHE. 4. En 1989, trois collégiennes de Creil, dans l'Oise, sont expulsées des cours car elles refusent d'enlever leur voile en classe. 5. Unité CNRS/ EHESS 6. Unité CNRS/ ENS Lyon/Univ. Lumière Lyon 2/ Univ. Jean Monnet/ Sciences Po Lyon.

si le gouvernement ne l'a jamais appliquée. L'islam était donc considéré comme tout à fait compatible avec la laïcité », assure-t-il. Pour Valentine Zuber aussi, la législation existante est absolument suffisante à la bonne gestion des différents cultes présents sur le territoire. « Des associations cultuelles ont été créées par des communautés boudhistes ou bien se réclamant des Témoins de Jéhovah. Il n'y a pas de raison que les communautés musulmanes, sous leurs multiples formes, ne puissent pas s'insérer dans ce cadre légal ».

Qu'en est-il alors des velléités militantes ? « Je pense qu'il y a toujours une tentation pour les mouvements "convictionnels" – et pas seulement religieux, car j'y inclus volontiers les libres penseurs ou la franc-maçonnerie – d'agir directement sur le politique. Si on interdit aux organisations qui respectent la liberté des autres et agissent dans le respect de l'ordre public de participer au débat citoyen, n'aboutirons-nous pas à un appauvrissement du débat démocratique ? », s'interroge-t-elle. D'ailleurs, Haoues Seniguer remarque, dans le discours des acteurs musulmans, que « quasiment



À lire :

La Conversion et ses Convertis. Production et énonciation du changement individuel dans le monde contemporain, J.-Ph. Heurtin et P. Michel (dir.),
Politika.io/Centre Maurice Halbwachs, à paraître.

aucun ne réclame une refonte de la loi de 1905. Même pas les courants islamistes français légalistes, comme Musulmans de France (ex UOIF). Il y a un pouvoir d'attractivité de la laïcité, car elle défend une liberté de conscience et de culte plus grande que celle qui existe dans certains pays majoritairement musulmans ».

Méprise sur la liberté d'expression

Cela n'a pas empêché la laïcité de se retrouver au cœur des débats cet automne, après que la terreur djihadiste a frappé l'école républicaine. L'assassinat du professeur Samuel Paty, après qu'il eut montré des caricatures de Mahomet publiées dans *Charlie Hebdo* lors d'un cours d'enseignement moral et civique sur la liberté d'expression, marque une nouvelle étape dans la série d'attentats qui frappent la France depuis 2012. « Hélas, le terrorisme islamiste peut frapper n'importe qui, a fortiori des cibles à haute valeur symbolique telles que les enseignants, présentés comme des ennemis de l'islam à la solde d'un pouvoir laïc et mécréant », note l'islamologue, qui rappelle la dénonciation de cet attentat par l'écrasante majorité des organisations musulmanes de France. Mais indépendamment de l'acte terroriste, des tensions ont été signalées au sein de l'Éducation nationale par les acteurs sociaux et poli-

Les élèves d'une école primaire de Bischwiller, dans l'est de la France, observent une minute de silence, le 2 novembre 2020, en hommage au professeur d'histoire Samuel Paty.

©PATRICK HERTZOG / AFP



tiques depuis plusieurs années, allant de cas de prosélytisme à la cantine jusqu'à la contestation, pour des motifs religieux, de savoirs disciplinaires comme l'enseignement de la Shoah, de la place de l'Église au Moyen Âge ou de la liberté de caricaturer.

Concernant cette dernière, Haoues Seniguer se veut clair : « *Les problèmes ne sont pas liés à la laïcité mais à une méprise sur la liberté d'expression* ». En France, comme dans tous les États de droit, cette liberté d'expression est encadrée par des lois qui la limitent dans certains cas : elle ne nous permet pas d'aller jusqu'à la promotion de la haine raciale, sexiste ou religieuse, ni d'attenter à l'ordre public. En dehors de ces cas particuliers, le droit légitime de tout critiquer librement, y compris les expressions religieuses. Une liberté qui peut mal passer dans certains milieux religieux conservateurs.

Défiance et réseaux sociaux

Pour le démographe et sociologue Jean-François Mignot, chercheur associé au Groupe d'étude des méthodes de l'analyse sociologique de la Sorbonne⁷, la défiance d'une partie de la jeunesse musulmane serait aujourd'hui une réalité empirique. S'appuyant sur des enquêtes de l'Insee, de l'Ined ou de l'Ifop, il explique que les opinions divergent entre jeunes musulmans et jeunes non-musulmans : « *On trouve des écarts abyssaux sur presque toutes les questions, notamment morales – comme l'acceptabilité de l'homosexualité ou l'obligation de la virginité au mariage – mais aussi en matière de liberté d'expression. Dans La Tentation radicale, ouvrage fondé sur une enquête réalisée en 2016 auprès de 7 000 lycéens dans quatre régions de France métropolitaine, on remarque que la part d'élèves qui déclaraient ne pas condamner totalement les auteurs des attentats contre la rédaction de Charlie Hebdo était de 14 % chez les élèves sans religion, de 17 % chez les élèves chrétiens et de 45 % chez les élèves musulmans. Et nous avons observé que cet écart ne s'expliquait presque aucunement par la situation familiale ou socio-économique des élèves, ni même par le sentiment d'être discriminé. Comment l'expliquer ? Les mécanismes ne sont pas clairs, et je les ignore largement* », avoue le chercheur.

Une chose est sûre : aujourd'hui, les réseaux sociaux viennent accentuer les dissensions. « *Ils transforment trop souvent les confrontations en clashes, toujours plus violents, qui menacent la bonne tenue du débat d'idées*, remarque Valentine Zuber. *Pis, ils permettent, sous couvert d'un anonymat protecteur et désinhibant, d'exprimer des choses qui devraient pouvoir être poursuivies pénalement, comme des appels haineux et à la violence jusqu'au meurtre.* »

Les caricatures, icônes sacrées de la République ?

Pour autant, l'historienne, qui intervient régulièrement avec l'Observatoire de la laïcité auprès de publics scolaires, ressent chez ces derniers une demande accrue de plus grand respect porté par les institutions aux convictions de chacun : « *Après l'horrible assassinat de la rédaction de Charlie Hebdo, les caricatures sont presque devenues des*

“Les réseaux sociaux permettent d'exprimer des choses qui devraient pouvoir être poursuivies pénalement, comme des appels haineux et à la violence jusqu'au meurtre.”

icônes de la République. Or, elles blessent vivement la conscience de certains de nos concitoyens qui, loin d'y voir une critique légitime, les reçoivent comme des humiliations supplémentaires. Le nouveau sacré républicain serait donc de pouvoir rire de tout, au risque de choquer une partie de nos concitoyens dans leur sensibilité la plus intime ? Cela entre pourtant directement en contradiction avec le principe de fraternité porté par notre devise, à côté de la liberté et de l'égalité. Que ferons-nous si cela devait inciter certains d'entre eux à rejeter en bloc notre système libéral et nos valeurs communes que nous voudrions pourtant tellement qu'ils endossent ? » s'interroge Valentine Zuber, pour qui « *cette réserve prudente ne doit pas nous encourager à nous autocensurer, mais plutôt à chercher à persuader, par l'emploi d'une pédagogie qui veillera à toujours s'adapter au public visé. Celle-ci doit passer par l'écoute respectueuse des opinions divergentes, en donnant la parole aux élèves afin de pouvoir construire, en retour, une réponse ferme, rationnelle et surtout convaincante.* »



À lire :

La Tentation radicale. Enquête auprès des lycéens, O. Galland et A. Muxel (dir.), PUF, 2018, 460 p.

Laïcité à l'école : un manque d'outils ?

Haoues Seniguer abonde en ce sens : « *La liberté d'expression est fondamentale pour l'oxygénation de nos démocraties. Il ne faut évidemment pas y renoncer. Mais il y a sans doute eu une pédagogie déficiente dans la manière de présenter la liberté de caricaturer* ». Une idée fait son chemin : l'enseigner de manière historique et comparative. « *D'autres religions y ont eu affaire, tout comme des hommes politiques, rappelle l'islamologue. Cela permettrait de relativiser le sentiment, chez certains, qu'on n'en voudrait qu'à l'islam.* »

Le malaise éducatif sur ces questions tient aussi au manque de formation des enseignants sur une mission aussi complexe et peut-être à redéfinir. « *On leur demande d'être les hussards noirs d'une laïcité combative alors qu'il faudrait plutôt en faire les patients pédagogues d'une laïcité réellement inclusive* », préconise Valentine Zuber. « *Les problèmes viennent du manque d'outils adaptés à l'enseignement de la laïcité, pour que ses principes soient bien compris. S'ils l'étaient, je parie qu'au lieu d'être ignorés voire rejetés, ils pourraient susciter l'adhésion de tous les élèves, quelle que*

7. Unité CNRS/ Sorbonne Université.

“On n'enseigne pas le droit à l'école. Or, c'est toujours par le droit qu'il faut répondre.”

soit leur confession ou leur absence de croyance, corrobore Patrick Weil. Il y a aussi une méconnaissance des règles d'intervention quand il y a une violation de la liberté de conscience ou d'exercice du culte dans le cadre de la loi, comme le port de signes religieux ostentatoires. »

L'association Bibliothèques sans frontières, présidée par le chercheur, a créé une web-série, « Questions/Réponses sur la laïcité⁸ » pour répondre aux questions que se posent les élèves. Exemple : pourquoi Dieudonné a-t-il été condamné devant les tribunaux et pas *Charlie Hebdo* ? « On n'enseigne pas le droit à l'école. Or, c'est toujours par le droit qu'il faut répondre », estime Patrick Weil.

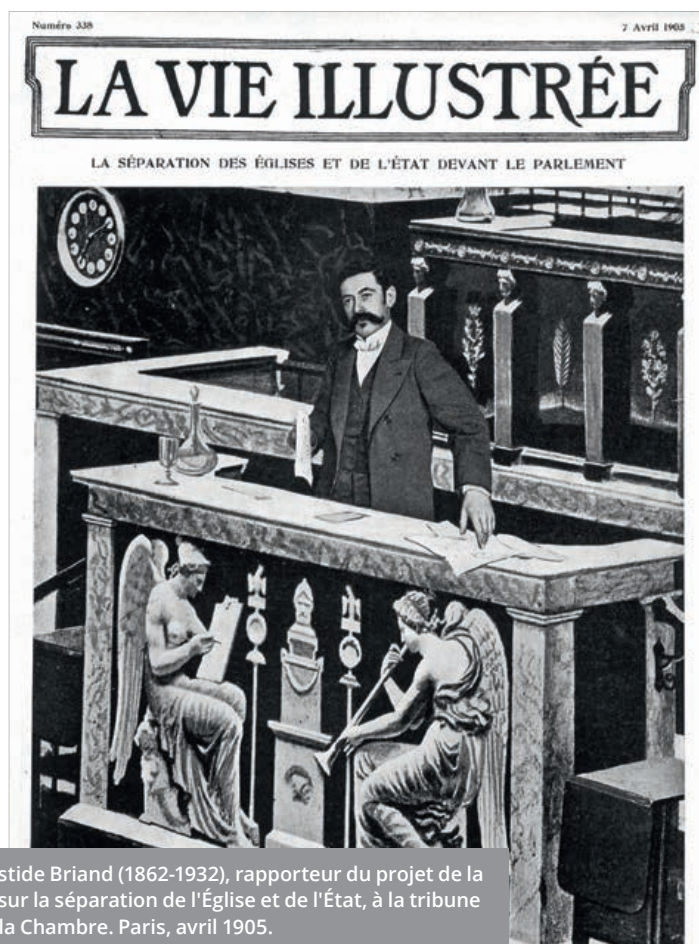
« Principes républicains » et déficit du politique

Le choc provoqué par le meurtre de Samuel Paty a renforcé la détermination du gouvernement à défendre son projet de loi « confortant les principes républicains ». Celui-ci a notamment pour objectif d'inciter les associations loi 1901 se réclamant du culte musulman à se transformer en rentrant dans le cadre des associations cultuelles loi 1905, plus faciles à contrôler. Selon Haoues Seniguer, le flou entre les deux statuts s'explique par le fait que les musulmans ont longtemps été en difficulté pour avoir des lieux de culte. « On leur a parfois prêté des salles en fermant les yeux sur ce qu'il s'y passait. Je comprends, dans le contexte actuel, que le président Macron souhaite clarifier cela, assure l'islamologue. Néanmoins, je vois une limite à ce type de projet : les profils des derniers acteurs radicalisés passés à l'acte violent sont des personnes arrivées il y a très peu de temps sur le territoire national. On ne répondra pas à cette menace par la surenchère législative ou réglementaire. »

D'autant que, comme le rappelle le politologue Patrick Michel, directeur de recherche au CNRS et directeur du Centre Maurice Halbwachs⁹, environ un Français sur deux ne s'identifie à aucune religion. « Chez les musulmans aussi, les non-pratiquants sont majoritaires. » Le chercheur, qui a travaillé en Europe de l'Est sur la façon dont pouvait se développer un processus de sortie du communisme à travers le religieux, axe sa réflexion non pas sur la religion proprement dite, mais sur les usages de cette dernière, notamment sur le terrain politique. « L'influence des réseaux islamistes dans les banlieues tient à leur capacité à

remplir des fonctions qui étaient autrefois remplies par le parti communiste. Si, dans Le Catéchisme du Révolutionnaire de Serge Netchaïev, vous remplacez les termes “Révolution” par “la cause d'Allah” et le terme “camarade” par le terme “frère”, vous obtenez un texte qui pourrait parfaitement être signé par une organisation islamiste radicale. C'est le rejet du monde existant qu'il faut prendre en compte, pas le registre utilisé. Le religieux intervient aujourd'hui pour combler un déficit du politique », observe-t-il.

Prenant en compte l'ensemble de ces paramètres, peut-on considérer la laïcité comme menacée en France ? « Non, car seuls des groupes minoritaires s'y opposent réellement, rétorque Haoues Seniguer. En revanche, la perception de la laïcité se retrouve fragilisée par la surenchère identitaire, de part et d'autre. » À l'heure où le vivre-ensemble devient un enjeu de taille pour notre société, ces tensions représentent un véritable défi. ■ M.S.



Aristide Briand (1862-1932), rapporteur du projet de la loi sur la séparation de l'Église et de l'État, à la tribune de la Chambre. Paris, avril 1905.

8. <https://questions-reponses-laicite.fr> 9. Unité CNRS/ENS Paris/EHESS.



Cérémonie de recueillement en mémoire de Samuel Paty, enseignant de Conflans-Sainte-Honorine assassiné par un terroriste le 16 octobre 2020 (Versailles, Yvelines, 19/10/2020).

© LAURENT GRANDGUILLOT/REA

« Nos réactions vont à l'encontre de bien des idées reçues »



© GUILLAUME BRAUSTEIN

SOCIOLOGIE

Gêrôme Truc analyse les répercussions du terrorisme dans la société à l'aune de travaux collectifs lancés après les attentats de 2015.

Depuis plus de quinze ans, vous étudiez les réactions sociales aux attentats. Avec la politiste Florence Faucher, vous avez coordonné *Face aux attentats*, paru en octobre. Quelle était l'ambition de cet ouvrage collectif ?

Gêrôme Truc ¹. Il s'agissait de fédérer un ensemble de travaux en sciences humaines et sociales sur les attentats de 2015 et 2016, dont certains menés dans le cadre de l'appel Attentats-Recherche financé par le CNRS ². Ces recherches se focalisent sur des aspects peu explorés jusqu'ici, à savoir l'événement terroriste en lui-même et son impact psychologique, social et politique. Nous avons d'ailleurs besoin

de la collaboration entre sociologues, politistes, psychologues et spécialistes des médias pour comprendre pleinement toutes les répercussions d'une attaque terroriste et la façon dont une société y fait face. C'est ce que propose ce petit livre qui se destine à un large public.

Cinq ans après ces événements tragiques, quels enseignements peut-on tirer de leur impact sur la société française au travers de ces travaux ?

G. T. Ces résultats remettent en cause un certain nombre d'idées reçues comme le fait qu'il suffit d'être citoyen du pays frappé par une attaque terroriste pour se sentir concerné. En réa-

1. Chargé de recherche à l'Institut des sciences sociales du politique (CNRS/Univ. Paris Nanterre/ENS Paris-Saclay). 2. Voir le blog « Face au terrorisme, la recherche en action » sur lejournal.cnrs.fr

“Une étude remet en question un lieu commun très répandu, à savoir que face un danger immédiat, l'être humain ne connaîtrait que le « sauve-qui-peut » et le « chacun pour soi ».”

lité, le processus sociologique est plus complexe que cela, et met en branle bien d'autres facteurs. Il y a aussi cette idée très ancrée selon laquelle les attentats islamistes feraient nécessairement le jeu de l'extrême droite, ce qui est loin d'être aussi mécanique et évident.

C'est ce que montre aussi l'étude de Guillaume Dezecache sur les rescapés du Bataclan... Que révèle le travail de ce chercheur en sciences cognitives sur le comportement de ceux qui se retrouvent directement confrontés à une attaque terroriste ?

G. T. Son étude remet en question un lieu commun très répandu, à savoir que face un danger immédiat, l'être humain ne connaîtrait que le « sauve-qui-peut » et le « chacun pour soi » car il serait égoïste par nature. Or la plupart des rescapés du Bataclan que Guillaume Dezecache et ses collègues ont interrogés leur ont au contraire expliqué avoir eu eux-mêmes ou observé chez d'autres des gestes d'entraide ou de coopération durant l'attentat. Ces comportements ont du sens du point de vue d'une stratégie de survie. Dans certaines circonstances, nous avons en effet davantage intérêt à nous soutenir mutuellement et à coopérer qu'à agir égoïstement pour rester en vie.

La répétition des attentats islamistes à laquelle nous assistons depuis plusieurs années contribue-t-elle à accentuer les divisions au sein de la société française ?

G. T. On sait grâce au sociologue américain Randall Collins qu'une attaque terroriste, en même temps qu'elle

déclenche un réflexe de solidarité au sein de la société, attise des tensions. Ce sont néanmoins les deux faces d'un même processus. Une répétition des attaques de manière trop rapprochée s'avère par conséquent problématique pour la cohésion du pays. C'est ce que montre très bien l'étude de Laurie Boussaguet et Florence Faucher sur la façon dont le pouvoir exécutif français a géré les crises successives, en janvier et novembre 2015, puis en juillet 2016, lors de l'attentat de Nice. Il bénéficie au départ d'une forme d'union sacrée, avec la marche républicaine du 11 janvier, mais se trouve de plus en plus fragilisé à mesure que les attaques se répètent. Le rôle du pouvoir exécutif dans ces



À lire :

Face aux attentats,
F. Faucher et G. Truc
(dir.), PUF, coll.
« La Vie des Idées »,
octobre 2020, 108 p.

circonstances est pourtant primordial car, au-delà de la dimension sécuritaire, c'est aussi à lui qu'il revient d'incarner l'unité nationale pour éviter justement que les divisions ne prennent le dessus. On l'a encore vu au moment de l'assassinat de Samuel Paty. Alors que les réseaux sociaux s'enflamment et que l'extrême droite récupère immédiatement l'événement de manière très virulente, le président de la République se rend le soir même sur les lieux de l'attentat pour y tenir un discours d'unité. Ce faisant, il contribue à « cadrer » l'événement, ce qui est déterminant pour la suite du processus de réaction sociale à l'attentat.

Le livre revient également sur le traitement médiatique des attentats. Quel rôle jouent les médias dans notre manière d'appréhender ces événements ?

G. T. Ils jouent un rôle essentiel ! Ce à quoi nous réagissons, lorsque nous sommes confrontés à un attentat, au-delà de ceux qui en sont directement victimes ou témoins, est ce que nous

Tous les journaux français consacrent leur une aux attentats du 13 novembre à Paris (15 novembre 2015).



en percevons au travers des médias. Selon les images que l'on nous en montre et les termes employés pour le qualifier et le mettre en récit, notre réaction ne sera pas la même. Il a été établi que la couverture médiatique des attentats en Occident tend depuis les années 1990 à faire de plus en plus de place aux victimes et aux réactions de la société civile. Là aussi, ce fut très clair après l'assassinat de Samuel Paty. Ce mode de traitement des attentats place les médias dans une situation ambivalente, puisqu'ils se retrouvent à rendre compte de l'émotion collective en même temps qu'ils l'alimentent.

Dans un des chapitres, Claire Sécail et Pierre Lefébure s'intéressent au traitement en direct des actes terroristes à la télévision. Que montrent leurs recherches à ce sujet ?

G. T. Depuis les attaques du 11 septembre 2001 aux États-Unis et l'essor des chaînes d'information en continu, le suivi en direct des attentats terroristes est devenu la norme. Or ce traitement « à chaud » de l'événement est propice à des dérapages. En janvier 2015, c'est par exemple BFM TV qui révèle pendant la prise d'otage de l'Hyper Cacher que des gens sont cachés dans la chambre froide du magasin. Le 14 juillet 2016, au soir de l'attentat de Nice, c'est France Télévisions qui interviewe un homme à côté de la dépouille de sa femme. À chaque fois, ces dérapages suscitent des interventions du CSA et de nombreux débats au sein de la profession. Mais malgré cela, les chercheurs montrent qu'il y a peu de chances pour que ces dérapages cessent et que des « bonnes pratiques » se généralisent. Cela tient à des facteurs structurels tels que la division du travail au sein des rédactions, les impératifs propres au direct et la forte mobilité des carrières journalistiques qui ne facilite pas la transmission des savoir-faire.

Dans les jours qui suivent un attentat islamiste, certains médias alimentent aussi l'idée que ces attaques feraient le jeu de l'extrême droite. Dans quelle mesure

ces prises de position médiatiques influencent-elles la société ?

G. T. Cela fait partie des idées reçues que j'évoquais au début. Les attentats islamistes offrent ce qu'on appelle en science politique une « fenêtre d'opportunité » aux entrepreneurs de la cause d'extrême droite pour faire avancer leurs idées. On a des chaînes d'information en continu qui remplissent à moindre coût du temps d'antenne avec des émissions de débats pour lesquelles il leur faut des invités aux idées bien arrêtées et aux positions simplistes. Leur objectif n'est pas du tout d'aboutir à des synthèses nuancées, mais à des clashes, qui susciteront ensuite de l'indignation et du buzz en ligne. C'est un écosystème très favorable aux extrêmes. Pourtant, dans le même temps, Vincent Tiberj montre dans le dernier chapitre du livre que, depuis les années 1990, la tolérance progresse au sein de la population française. Notre société tend en fait à devenir de plus en plus ouverte. C'est une dynamique de fond, liée au renouvellement des générations, que les attentats n'enrayent apparemment pas. Les Français, dans leur ensemble, ne font donc pas

CYRIL FRESILLON/CHUENRS PHOTOHÉQUE



Les registres de condoléances ouverts au lendemain des attentats du 13 novembre ont fait l'objet d'une recherche par Hélène Frouard sur l'impact de ces événements.

d'amalgames entre les terroristes et la masse des musulmans. Vous constaterez qu'il n'y a d'ailleurs pas dans notre pays aujourd'hui d'émeutes anti-musulmans, comme il pouvait y avoir des émeutes anti-Italiens en réaction aux attentats anarchistes, l'assassinat du président Sadi Carnot par exemple, à la fin du XIX^e siècle. La société a, fort heureusement, évolué depuis cette période.

Parmi les résultats présentés dans votre livre, il y a aussi ceux du projet REAT³ que vous avez coordonné. Comment avez-vous procédé pour mener cette recherche visant à analyser les répercussions des attentats dans la société française ?

G. T. Il y a plusieurs volets, dont le principal consiste à analyser le contenu des messages déposés dans les mémoriaux éphémères apparus sur les sites des attentats du 13 novembre 2015, qui ont été collectés par les Archives de Paris. Ce travail révèle que d'un point de vue social, la réaction à un tel événement n'engage pas simplement un sentiment de com-



À lire :
Les mémoriaux du 13 novembre, S. Gensburger et G. Truc (dir.), Éditions de l'EHESS, octobre 2020.

3. La Réaction sociale aux attentats : sociographie, archives et mémoire. <https://reat.hypotheses.org/le-projet-reat>

mune appartenance. C'est plutôt une question de sentiment de proximité vis-à-vis des victimes qui est en jeu, et fait que chacun se sent plus ou moins concerné. La commune appartenance nationale est un facteur parmi d'autres. Il y a aussi le fait de connaître personnellement les lieux frappés, d'habiter ou d'avoir habité à proximité, ou dans la ville frappée, d'y connaître ou pas des gens, d'avoir le même âge ou le même profil sociologique que les victimes, etc. Certains ont ainsi réagi au 13 novembre en tant qu'amateur de rock, parent ou musulman, et pas simplement en tant que Français. Plutôt qu'une société qui réagirait face à l'attaque « comme un seul homme », ce que l'on voit ainsi prendre forme, c'est une pluralité de publics touchés à divers titres, et qui forment ensemble une communauté de deuil aux frontières imprécises. Tout cela doit nous amener à admettre que la société française est aujourd'hui beaucoup plus pluraliste qu'on ne veut bien le croire, sans que cela implique forcément que le lien social s'y désagrège.

Ce pan de votre travail a aussi donné lieu à une autre publication, *Les mémoriaux du 13 novembre*, codirigée avec la sociologue Sarah Gensburger.

G. T. Nous avons combiné l'analyse du contenu collecté dans les mémoriaux avec une étude *in situ* de ces mémoriaux et de leurs publics. En parallèle, nous avons mené une réflexion sur leurs usages patrimoniaux. Pour aboutir à cet ouvrage unique en son genre, illustré par plus de 400 photographies, nous avons travaillé main dans la main avec les Archives de Paris. Un chapitre y est également dédié aux registres de condoléances ouverts à la suite des attentats par la mairie du 11^e arrondissement de Paris, que l'historienne Hélène Frouard a étudiés dans le cadre d'un projet spécifique, lui aussi financé par le CNRS. Il s'agit d'une source de première importance pour comprendre l'impact de l'événement à une échelle plus locale, mais non moins essentielle. **II**



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



RECHERCHE Le 18 novembre 2015, le CNRS lançait l'appel à projet Attentats-Recherche. Fabrice Boudjaaba, directeur adjoint scientifique à l'Institut des sciences humaines et sociales, dresse le bilan de ces cinq années de travaux.

La recherche toujours mobilisée pour comprendre

L'assassinat du professeur Samuel Paty et le nouvel attentat de Nice nous ont rappelé à quel point la recherche est essentielle pour éclairer les nombreux éléments liés à une attaque terroriste.

Fabrice Boudjaaba ¹. Oui en effet. Depuis 2015, l'irruption de formes d'extrémisme violent au cœur de l'Europe a suscité de nombreuses interrogations sur les conditions et les modalités d'émergence, à la fois collectives et individuelles, des comportements de radicalisation. Au-delà de la

sidération, ces questions sont un objet de connaissance, des processus que l'on cherche à comprendre, sans les excuser. Un autre rôle de la recherche, et du CNRS en particulier, est d'alimenter la réflexion de la société et des acteurs de terrain grâce à des apports théoriques et empiriques qui peuvent constituer des aides à la décision.

Comment ces recherches se sont-elles organisées ?

F. B. C'est Alain Fuchs, alors président du CNRS, qui a lancé – à peine cinq



©CYCÉRON

Une personne souffrant de stress post-traumatique suite aux attentats passe une IRM fonctionnelle dans le cadre du projet Remember (programme 13-Novembre).



Une jeune femme se recueille devant la salle de concerts du Bataclan, le 13 novembre 2019.

jours après les attaques à Paris – l'appel à projet Attentats-Recherche. De format inédit et géré par la Mission pour l'interdisciplinarité du CNRS², il a connu un vif succès : plus de 250 chercheurs ou enseignants-chercheurs ont déposé un projet et 66 d'entre eux ont été retenus et financés, pour un montant total de plus de 800 000 euros.

Sur quelles thématiques la recherche a-t-elle avancé ces cinq dernières années ?

F. B. Parmi les projets retenus, il y avait des spécialistes de la radicalisation mais aussi par exemple des chimistes, qui ont développé un dispositif portable pour désamorcer certains systèmes explosifs, ou des informaticiens qui travaillent à faciliter la détection de la radicalisation sur le Web. On trouve aussi le projet REAT (lire page 29) ou le programme transdisciplinaire 13-Novembre qui étudie les effets traumatiques des attentats sur les individus sur le long terme. Porté par le CNRS et l'Inserm, il intègre en particulier une enquête sous l'angle neurologique qui s'intéresse aux dynamiques cérébrales de la mémoire³. D'autres se sont interro-

gés sur les réactions des forces de sécurité, comme Polar (Policiers et archéologues face au trafic de biens culturels) qui a ainsi contribué à faire émerger un consortium européen associant les polices nationales de plusieurs pays autour des questions de pillages d'œuvres d'art, canal de financement des activités terroristes. Enfin, l'appel a aussi incité des acteurs non académiques, comme la Gendarmerie nationale ou la Direction du renseignement militaire du ministère des Armées, à se tourner vers le CNRS pour initier des collaborations qui ont abouti à des conventions de partenariat.

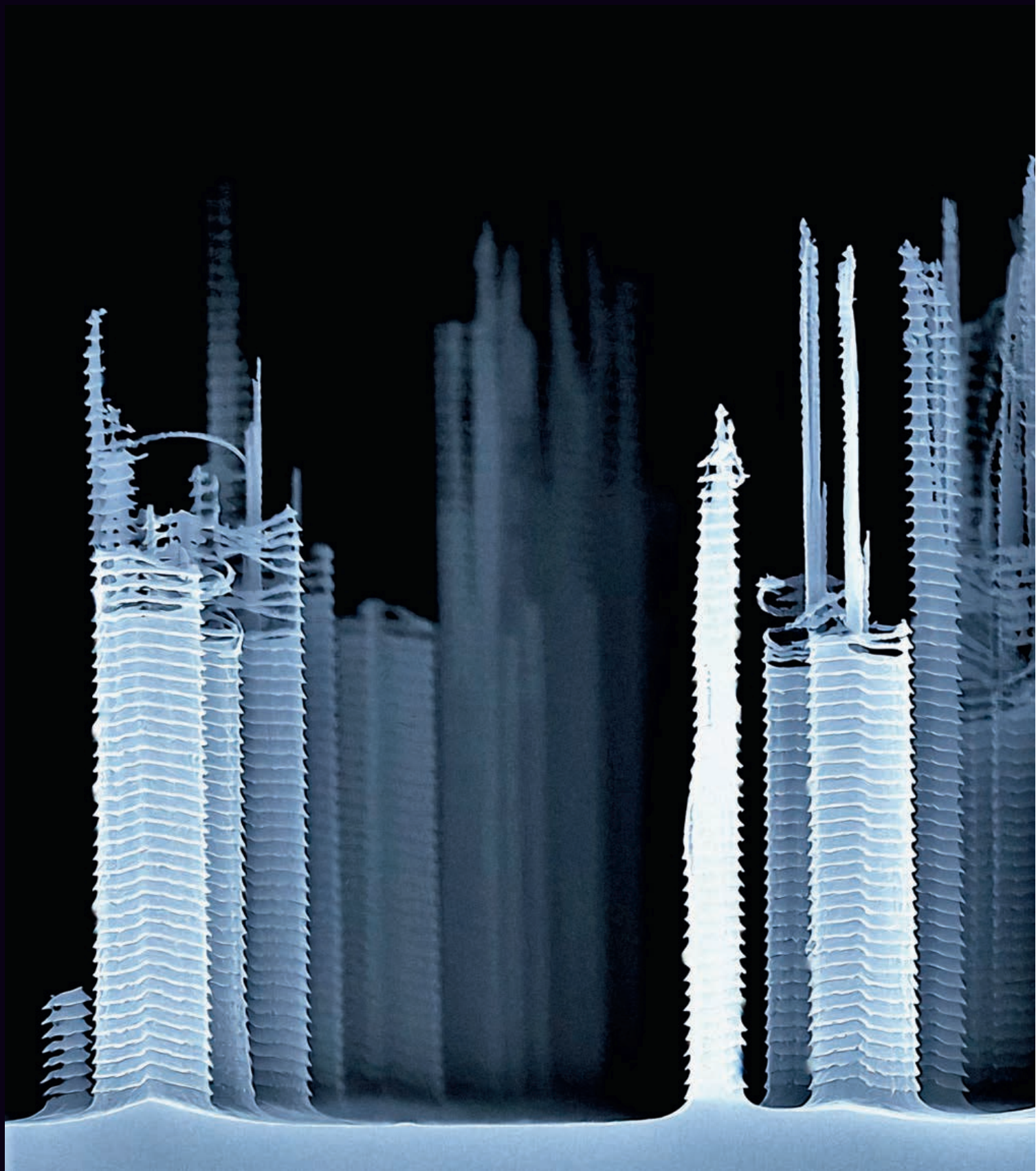
Cet appel a-t-il aussi permis de structurer la recherche autour des radicalisations ?

F.B. Oui, à plusieurs niveaux. Par exemple, les jeunes chercheurs et chercheuses qui étudient les pratiques et sociétés musulmanes sont souvent sollicités depuis 2015 pour parler de l'islam sous l'angle du djihadisme et des radicalisations, ce qui peut les mettre mal à l'aise. Le CNRS a donc créé un Réseau thématique

prioritaire « Islams et chercheurs dans la cité⁴ », qui leur permet de se doter d'outils pour faire face et pouvoir concilier leurs recherches et les demandes de la société, des médias et des acteurs publics. Le CNRS s'est également investi dans l'Institut d'études de l'Islam et des sociétés du monde musulman, qui au-delà de l'aspect recherche offre par exemple des actions de formation à destination de professionnels comme les policiers, les magistrats ou les administrations pénitentiaires. En juin 2016, deux journées de colloque ont été organisées au CNRS avec des scientifiques américains et russes spécialistes de ces questions. Enfin, un conseil scientifique sur les processus de radicalisation, le Cosprad, a été créé en mai 2017 pour favoriser l'articulation et le dialogue entre scientifiques et décideurs publics de différentes administrations (Justice, Intérieur, Défense).

Aujourd'hui le travail continue. Si l'interprétation des phénomènes de radicalisation reste discutée, il est important que le débat public reste nourri de connaissances à opposer à des prises de position souvent non ou mal informées. ■

1. Directeur de recherche CNRS au Centre de recherches historiques (CNRS/EHESS). 2. Devenue depuis la Mission pour les initiatives transverses et interdisciplinaires du CNRS (Miti). 3. Voir « La mémoire du 13 novembre se construit peu à peu » sur [lejournal.cnrs.fr](http://www.reseau-icc.fr) 4. <http://www.reseau-icc.fr>



La science sous l'objectif

Organisé pour la deuxième année par le CNRS avec l'Acfas, son partenaire canadien, le concours La preuve par l'image récompense des images issues de travaux de recherche dans tous les domaines scientifiques. Voici une sélection des prises de vue mises à l'honneur cette année.

TEXTE ANNE-SOPHIE BOUTAUD

Retrouvez l'intégralité des photos sur www.concours-preuve-image.fr



Grand prix du jury Skyline

► **PIERRE ALBERT**
© P. Albert/LN2/IMS

Ces gratte-ciels fantomatiques ont été créés au cours d'une expérience de micro-électronique, à la suite d'une gravure par plasma sur un échantillon de silicium. Ici la plaque de silicium n'a pas eu l'homogénéité attendue : la présence d'un contaminant dans le matériau a entraîné un défaut de fabrication, laissant apparaître ces cannelures semblables à des étages.



Vague de sédiments

► ANTOINE MATHIEU
© A. Mathieu/Legi

Lors d'événements extrêmes, de grandes quantités de sable sont transportées en suspension sur de longues distances. Cette simulation numérique idéalisée montre le mouvement chaotique de grains de sable où les particules en suspension ont laissé leur empreinte lors de leur passage dans le fluide.



Gouttes pointues

► FRANÇOIS BOULOGNE
© F. Boulogne, A. Salonen/LPS

Lorsque l'on dépose une goutte d'eau liquide sur une surface glacée, le front de gel se propage du bas vers le haut pour former une pointe à son sommet. La différence est frappante entre une goutte d'eau pure, à gauche, et une goutte d'eau contenant un tensioactif, à droite.

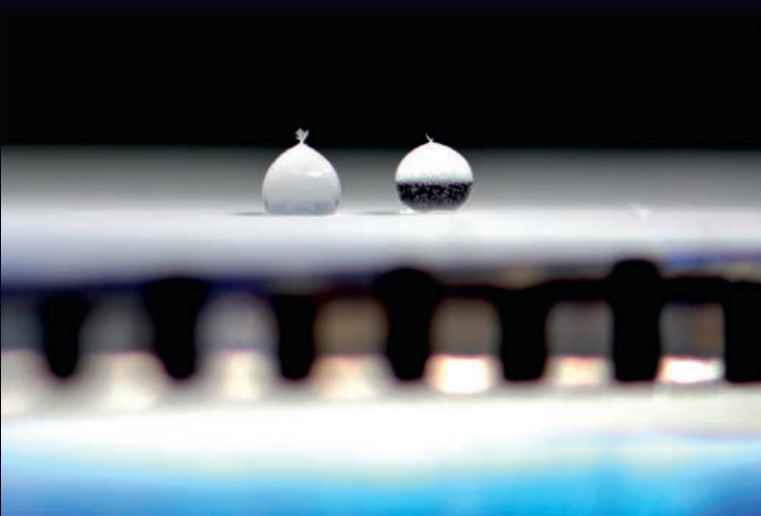


Prix coup de cœur

Les larmes d'une mère

► ERWAN AMICE
© E. Amice/Lemar

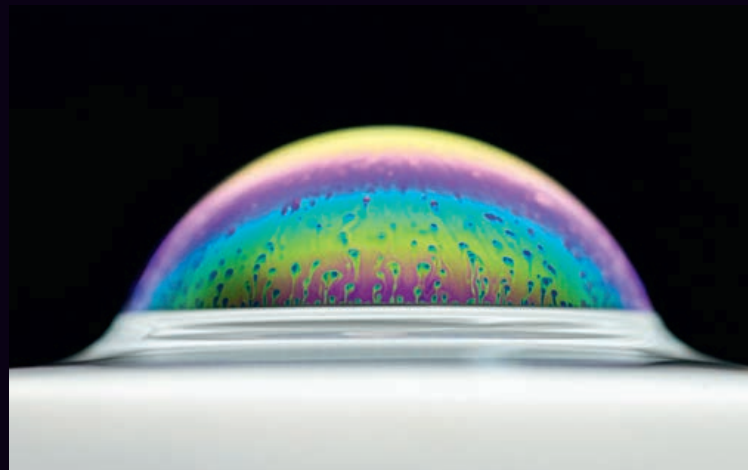
Sur les glaces flottantes de l'archipel du Svalbard, cette femelle morse de l'Arctique se laisse porter par le courant. Dans cette région où les températures augmentent deux fois plus vite que dans le reste du monde, le morse fait face à la fonte de son habitat.



(Sur)vie crépusculaire

► FRÉDÉRIC ZUBERER
© F. Zuberer/Criobe

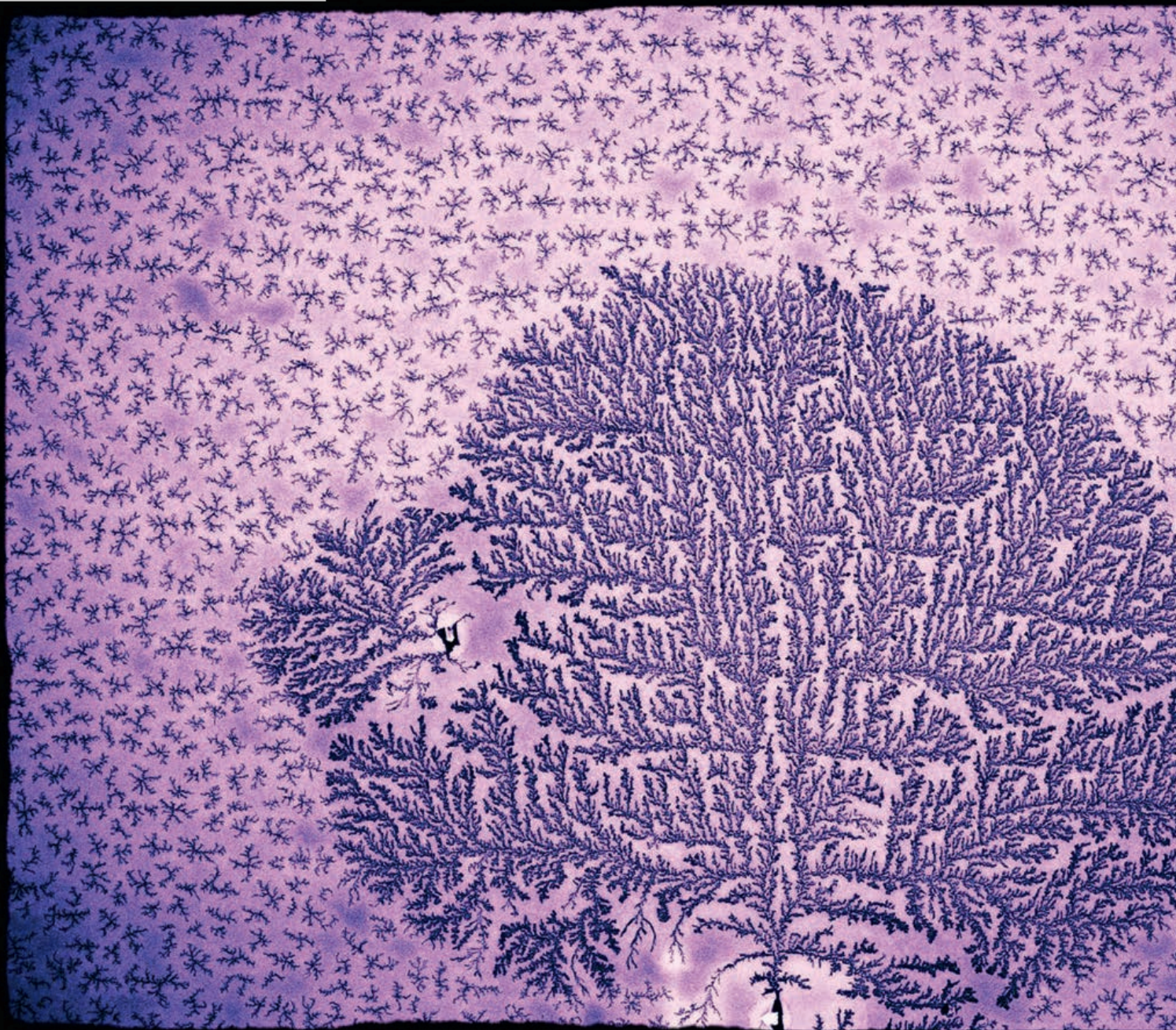
En Polynésie française, dans l'archipel des Gambier, les scientifiques ont récolté un corail, le *Leptoseris hawaiiensis*, à près de 172 mètres de profondeur. Cette découverte montre que certains coraux de surface migrent vers le fonds des océans, y trouvent refuge et s'y développent.



Splendeurs et misères d'une bulle de savon

► MARINA PASQUET
© M. Pasquet/LPS/S. Guichard

Les irisations changeantes à la surface de cette bulle de savon nous renseignent sur les infimes variations de son épaisseur : plus les couleurs s'intensifient, plus elle s'amincit. Si elles tirent sur un jaune intense, comme ici au sommet, l'éclatement est proche...

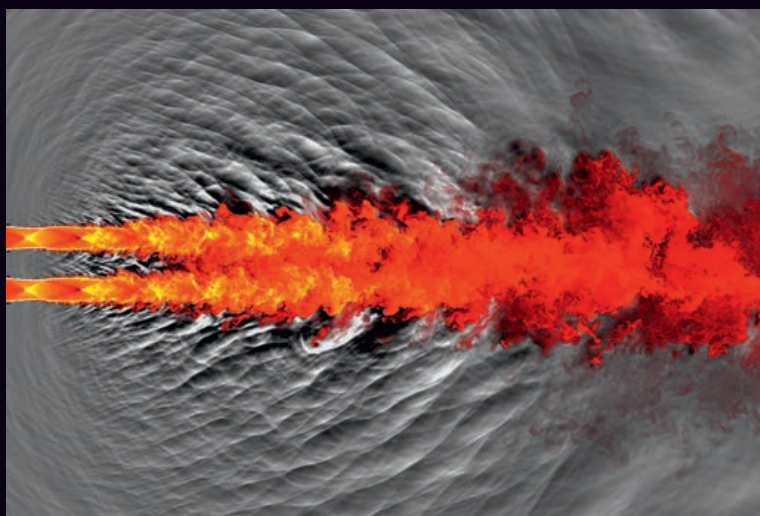


Vacarme acoustique

► PIERRE PINEAU

© P. Pineau, C. Bogey/LMFA

Sur cette image, obtenue grâce à des simulations numériques, les scientifiques sont parvenus à reproduire fidèlement les mécanismes à l'œuvre lors du décollage d'un lanceur spatial. On peut voir, en orange, les jets de gaz chauds, expulsés à l'allumage des moteurs.



Constellation planctonique

► LAURENT INTERTAGLIA

© L. Intertaglia/OOB

Le plancton marin est à la base de toute la chaîne alimentaire océanique. Cette image nous offre un aperçu microscopique, quelques millimètres, de l'extraordinaire diversité de la vie planctonique présente dans la baie de Banyuls, en Méditerranée.



Le savon fou et la fée laser

► RÉMI MEYER

© R. Meyer/Femto-ST

Que se passe-t-il lorsque l'on injecte un laser multicolore dans un film de savon de quelques centaines de nanomètres d'épaisseur ? La lumière du laser se ramifie au contact du film de savon et les différentes composantes colorées se séparent pour former un bouquet bariolé.



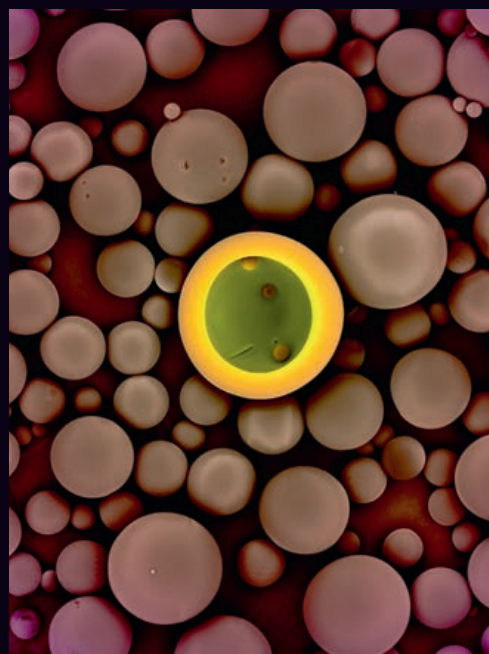
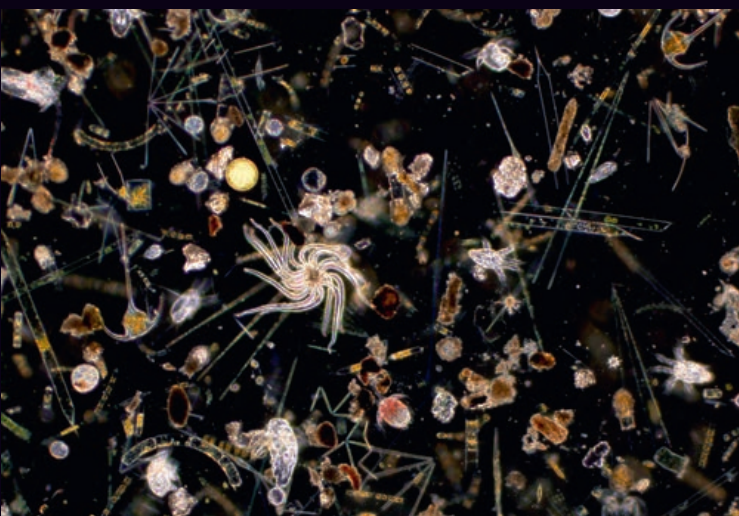
Prix du public

Floraison nanométrique

► MERIEM BOUCHILAOUN

© M. Bouchilaoun/LN2

Lors de la fabrication d'un microprocesseur, une couche de résine photosensible a été déposée avant gravure sur ce composant en arséniure de gallium, de la taille d'une pièce de monnaie. On voit ici que des résidus de résine semblent avoir mystérieusement bourgeonné, évoquant la forme des sakuras, les cerisiers ornementaux japonais.



Émoticone

► BERTRAND REBIÈRE

© B. Rebière/ICGM

À l'inverse de ses homologues, cette petite bille de polyméthacrylate de méthyle (PMMA) - sorte de verre organique à l'instar du Plexiglas, d'environ un micromètre de diamètre - n'a pas réussi son test : défectueuse, elle s'est affaissée sur elle-même.



Loi de programmation : ce qu'elle va changer pour la recherche

POLITIQUE DE RECHERCHE En novembre, le Parlement a adopté le projet de loi de programmation de la recherche (LPR). Enquête sur les évolutions que devrait entraîner cette loi sur le financement des projets, l'emploi et les carrières dans la recherche.

DOSSIER RÉALISÉ PAR SOPHIE CARLIER ET SOPHIE FÉLIX

« Comment garantir que les projets les plus novateurs soient financés au bon niveau ? Comment rester compétitifs à l'échelle internationale ? Comment convertir les découvertes scientifiques en innovation ? » C'est avec ces trois questions que, le 1^{er} février 2019, lors de la cérémonie des 80 ans du CNRS, le Premier ministre Édouard Philippe dessinait les enjeux d'une loi de programmation pour la recherche dont il annonçait l'élaboration. « Ces questions impliquent d'interroger nos habitudes pour essayer de dessiner le visage futur de la recherche », poursuivait-il, annonçant la constitution de trois groupes de travail consacrés respectivement à la recherche sur projet, au financement compétitif et au financement des laboratoires ; à l'attractivité des emplois et des carrières scientifiques ; et enfin à l'innovation et la recherche partenariale.

Un peu moins de deux ans plus tard, la crise sanitaire ayant un peu allongé les délais, le texte vient d'être adopté avec une programmation budgétaire de 25 milliards d'euros supplémentaires cumulés sur dix ans.

Contexte et enjeux

En 2000, avec la stratégie dite de Lisbonne, les États de l'Union européenne se fixaient un objectif de 3 % des dépenses dédiés à la recherche – dont 1 % de dépenses publiques. Or, les dernières tendances mondiales de dépenses en matière de recherche, selon l'Organisation de coopération et de développement économiques (2018), le montrent : avec une part stable de 2,2 % dédiés à la recherche, la France ne progresse pas. Elle est même doucement en train de se faire distancer : les États-Unis sont à 2,8 %, l'Allemagne est à plus de 3 % et continue de progresser, la Chine rattrape la France et la Corée continue une courbe ascendante à 4,5 %.

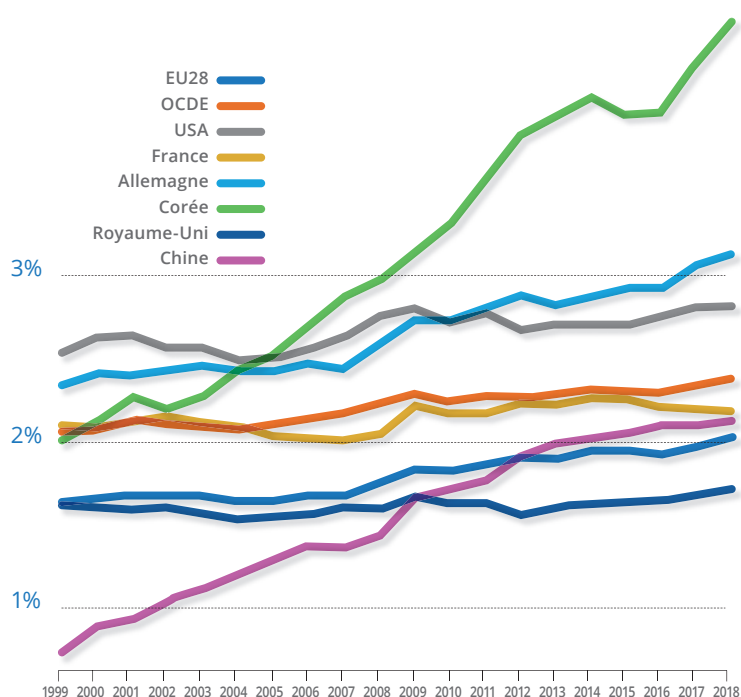
« Une loi ambitieuse est nécessaire : le bilan des dix années écoulées ne peut satisfaire personne, c'est en contradiction avec tous les discours sur l'importance de la science, surtout si l'on se compare avec les autres pays à vocation scientifique », commente Antoine Petit, président-directeur général du CNRS. Traduction concrète : au cours de la

dernière décennie, le CNRS lui-même a perdu 3 000 postes sur la seule subvention pour charge de service public¹, hors ressources propres donc – 1 000 fonctionnaires, 2 000 contractuels – « soit 11 % de ses emplois », chiffre le PDG. Dans le même temps, les instituts ont perdu 13 % de leur budget, et les directions fonctionnelles 15 %. En conséquence, dans les laboratoires, les chercheurs et chercheuses témoignent de leurs difficultés à mener à bien leurs recherches. « Je passe une partie croissante de mon temps à chercher de l'argent au lieu de faire mon métier », affirme Ika Paul-Pont, chercheuse en biologie marine, médaille de bronze 2019 du CNRS, qui travaille sur la pollution plastique des océans au sein du Laboratoire des sciences de l'environnement marin² à Brest. Elle résume la situation d'un adjectif : « *dysfonctionnelle* ».

Comme elle le déclarait devant les députés début septembre, pour la ministre de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation Frédérique Vidal, l'objectif de la LPR est de « marquer la fin d'un cycle, celui du

Part de la DIRD* en % du PIB

*Dépense intérieure de Recherche et Développement



Source : OCDE

À l'Assemblée nationale, le projet de loi a été ratifié par 188 voix pour et 83 voix contre.

1. Ces crédits, réservés aux opérateurs de l'État, sont destinés à couvrir les dépenses liées à l'exploitation courante (personnels et fonctionnement) en contrepartie de la réalisation de missions confiées par l'État. 2. Lemar (CNRS/Ifremer/IRD/Université Bretagne occidentale).

“La loi prévoit un investissement supplémentaire de 25 milliards d’euros dans la recherche sur dix ans.”

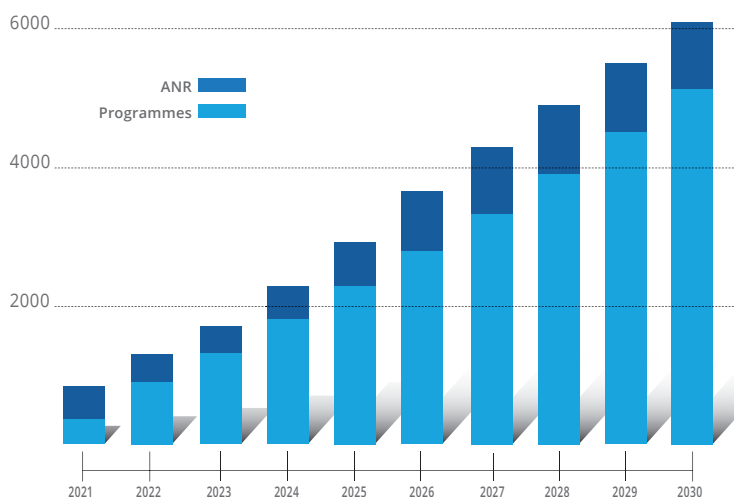
tarissement du financement de la recherche, et ouvrir un nouveau chemin qui permettra de faire émerger une nouvelle génération de chercheurs et enseignants-chercheurs au service d’une ambition renouvelée pour notre pays ».

Trajectoire budgétaire

À cette fin, la loi prévoit un investissement supplémentaire de 25 milliards d’euros dans la recherche sur dix ans. Pour autant, cette perspective ne suffit pas à apaiser les inquiétudes. En cause, cette trajectoire budgétaire qui court sur deux mandats au-delà de l’actuel et concentre l’effort sur les dernières années. « En 2019, le Comité national de la recherche scientifique³ avait analysé qu’il fallait 6 milliards d’euros de plus pour les trois ans à venir afin d’atteindre les 1 % de dépenses publiques pour la recherche : l’effort prévu est largement en deçà de ce qu’il faut pour rester dans la cour des grands. On est si mal que ce ne sont pas les 350 millions d’euros prévus en plus pour 2021 qui vont changer la donne »,

Évolution prévue* du budget français à 2030 (M€)

*dans la loi (les montants ANR incluent le plan France relance)



Source : texte de loi (version de la Commission mixte paritaire du 09/11).



Le Premier ministre Édouard Philippe a annoncé l'élaboration de la loi lors de la Convention des directeurs d'unité, le 1^{er} février 2019, à la Mutualité (Paris).

alerte Dorothée Berthomieu, présidente du Conseil scientifique du CNRS, relayant une critique partagée par les membres du conseil et par le Comité national de la recherche scientifique. En juin, puis en septembre, le Conseil économique, social et environnemental (Cese) émettait lui aussi de sérieuses réserves sur la programmation budgétaire qu’il estimait ne pas être « à la hauteur des défis considérables auxquels notre pays doit faire face ».

« On peut toujours faire la politique du toujours plus : s’il y avait eu encore plus d’argent et plus vite, nous serions encore plus contents. Mais il ne faut pas oublier que c’est la première fois depuis très longtemps qu’on va avoir des moyens pour la recherche », indique Antoine Petit qui souligne : « il ne faut pas faire semblant qu’il pouvait exister un plan B pouvant être mis en œuvre au cours de l’actuel quinquennat. Le fait qu’il s’agisse d’une loi pluriannuelle me semble être une dimension importante qui permettra d’offrir des perspectives sur le long terme aux chercheurs et aux chercheuses comme aux organismes. »

La sénatrice Laure Darcos (LR), co-rapporteuse pour la loi au Sénat, défendait une trajectoire ramassée sur sept ans. Tout en rappelant « de façon très pragmatique » que « la loi existe et cela fait vingt ans qu’on l’attendait ! » Plus largement, elle précise que, quoi qu’il en soit, le calendrier législatif « concourt à ce que tout soit finalisé au même moment : le protocole d’accord sur les carrières, signé par une majorité de syndicats, le projet de loi de finance 2021 et le plan de relance ». Ce qui devrait permettre « de bénéficier des premiers effets budgétaires dès 2021 et donc en 2022 pour les résultats des premiers appels à projet de l’Agence

3. Instance collective composée du conseil scientifique, des conseils scientifiques d’institut, des sections spécialisées dans chacune des disciplines, et des commissions interdisciplinaires. 4. Dans le cadre des Programmes d’investissements d’avenir (PIA), l’action Programmes prioritaires de recherche (PPR) vise à construire ou consolider des leaderships français de recherche axés sur des



©XAVIER PIERRE/CNRS

nationale de la recherche (ANR) – à moins que de premiers programmes prioritaires de recherche⁴ ne soient lancés de façon très rapide. »

ANR : taux de succès et préciput

À l'image du Cese, qui préconise dans son avis « *de rééquilibrer les financements* » en « *articulant des financements de base en volume suffisant avec des financements sur projet* », la question du rapport entre les deux a concentré discussions et désaccords. Pour autant, dans une tribune parue dans *Le Monde*, cinq professeurs au Collège de France, parmi lesquels Françoise Combes⁵ et François Héran⁶, soulignent que selon eux, « *loin de détourner les scientifiques de leur mission, la recherche par projets est au cœur de leur métier* ». Aussi, si elle pointe « *des faiblesses que la discussion parlementaire devrait corriger* » et notamment le fait que « *les 25 milliards d'euros promis ne suffiront sans doute pas à respecter l'engagement d'un investissement dans la recherche publique à hauteur de 1 % du PIB* », la tribune salue sans réserve « *les dispositions du projet de loi qui étendent les objectifs et les moyens de l'ANR de manière à relever fortement les taux de réussite* ».

Un des objectifs revendiqués de la loi consiste en effet à redonner des moyens à l'ANR « *de façon à ce qu'elle réponde aux standards internationaux* », résume Antoine Petit. Suivant le texte, les taux de succès, qui avaient chuté jusqu'à 10 % il y a cinq ans pour remonter en 2020 à 16 %, devraient à terme être de l'ordre de 30 %. « *Cela va changer complètement la manière de travailler* », s'attend Alain Schuhl, directeur général délégué à la science du CNRS,

qui estime que désormais « *un bon projet sera financé en deux ans, ce qui va modifier la manière dont les projets seront déposés : les chercheurs devraient y consacrer moins de temps* ».

« *Il était temps de mettre fin à l'exception française d'un faible "préciput", cette part des crédits obtenus par les équipes lauréates que l'on réserve aux frais de fonctionnement de l'établissement abritant leurs recherches* », relèvent également les professeurs du Collège de France. Le complément financier versé par l'ANR pour prendre en charge les frais indirects des projets, aujourd'hui à 19 %, devrait selon les textes atteindre 40 % en 2025, en plus du montant du projet. Tout n'est pas encore défini dans la répartition du préciput, comme le pointe Laure Darcos qui attendait un amendement du gouvernement « *pour le requalifier de manière plus précise* ». « *On aimerait une meilleure définition, sans forcément en graver les proportions dans le marbre* », regrette-t-elle. « *On suppose la répartition et l'incidence qu'elle pourra avoir* », poursuit-elle tout en soulignant que ces financements « *devraient aussi donner de la marge aux laboratoires et aux chercheurs* ».

En l'état des discussions, explique Antoine Petit, 5 % doivent être versés aux laboratoires des équipes lauréates du projet ANR, 11 % aux universités, écoles et organismes gérant le projet et 14 % à ceux hébergeant le projet, « *ce qui devrait permettre d'aider au financement de leur propre politique scientifique* ». Dans un dernier temps, en 2025, il est prévu qu'une dernière part du préciput (10 %) serve à alimenter la politique scientifique à l'échelle des sites, même si la définition de ces derniers reste à éclaircir. « *Chaque fois qu'une équipe dans un laboratoire obtient un financement de l'ANR, c'est l'ensemble du laboratoire qui lui a permis de remporter le projet qui peut en bénéficier via le* »

...

Des données sur les carrières féminines

L'égalité entre les femmes et les hommes dans la recherche « n'a pas été au cœur des préoccupations en amont », pointait en septembre le Haut conseil pour l'égalité. La députée Céline Calvez (LREM) et la sénatrice Laure Darcos (LR) ont fait adopter un certain nombre de mesures : désormais le HCERES aura ainsi pour mission de collecter les données sur les indicateurs d'égalité dans les établissements de façon à pouvoir offrir un panorama des évolutions en la matière. ■

enjeux socio-économiques ou sociétaux majeurs. 5. Astrophysicienne au Laboratoire d'études du rayonnement et de la matière en astrophysique et atmosphères (PSL/CNRS/Sorbonne Université/Université de Cergy-Pontoise). 6. Sociologue, anthropologue et démographe, il est aussi président du Conseil d'orientation de l'Établissement public du palais de la Porte-Dorée.



Salle blanche de la centrale de technologie Memento (Institut Femto-ST, Besançon, Franche-Comté).

Le plan France relance : « de nouvelles perspectives pour la recherche »

Trois piliers, 70 mesures, 100 Md€ dont une part permettra de financer des projets de R&D : avec l'annonce début septembre des grandes lignes du plan de relance, « *de nouvelles perspectives s'ouvrent pour la recherche, qui représentent des opportunités extrêmement intéressantes à saisir pour les laboratoires* », déclare le directeur général délégué à l'innovation (DGDI) du CNRS, Jean-Luc Moullet. Il appelle à « *être très attentifs* » au déploiement des différents volets du plan de relance, notamment aux mesures thématiques sur la biodiversité, la décarbonation de

l'industrie, la filière hydrogène, les technologies quantiques... ainsi qu'aux mesures sectorielles, notamment dans les secteurs de l'automobile, l'aéronautique, le spatial ou la santé. Ces mesures « *ne ciblent pas exclusivement la R&D, mais elles intègrent une dimension R&D forte, ce qui est normal car la relance de l'économie nationale passe aussi par des objectifs ambitieux en termes de recherche et développement* ». Le quatrième PIA, doté de 20 Md€ qui est inclus dans ce plan de relance, est un autre « *gros*

morceau » de financement pour la recherche. En outre, parmi les mesures annoncées, figure une nouveauté « *qui s'adresse spécifiquement à la R&D* », met en avant Jean-Luc Moullet : un dispositif de préservation de l'emploi dans la R&D privée, doté de 300 M€, pensé pour maintenir les compétences des personnels de R&D des entreprises, et qui permet à des laboratoires publics d'accueillir ces personnels pour un à deux ans, afin de conduire un projet de collaboration de

recherche. Les salariés concernés seront ainsi mis à disposition des laboratoires par l'entreprise et financés à 80 % par l'État. Les détails de la mesure restent encore à préciser, à l'image des termes pour le partage de la propriété intellectuelle générée dans ce cadre. Le DGDI souhaite « *une mesure simple à mettre en œuvre* ». Il ajoute que « *cette mesure spécifique, comme c'est le cas de nombreuses actions du plan France relance, est une très belle opportunité pour le CNRS de tisser des liens plus étroits avec les entreprises sur la base de projets concrets, conduits dans l'intérêt de tous* ». ■



...

préciput », expliquait ainsi la ministre Frédérique Vidal devant les députés en octobre, évaluant à terme à 450 millions d'euros, les financements « remis dans la recherche de base à travers la revalorisation du préciput ».

Revalorisation des primes

Une dimension conséquente de la loi est consacrée aux carrières. En 2021, les chargés de recherche et maîtres de conférences nouvellement recrutés ne pourront être rémunérés en dessous de deux Smic (contre 1,4 Smic aujourd'hui) et bénéficieront d'un accompagnement de 10 000 euros pour démarrer leurs travaux, comme le stipule le texte qui prévoit de revaloriser, progressivement, de 30 % la rémunération des doctorants et d'augmenter de 20 % le nombre de thèses financées dans tous les champs disciplinaires. À horizon dix ans, le gouvernement table sur un objectif de « 100 % de doctorants en formation initiale financés ».

Par ailleurs, 92 millions d'euros supplémentaires par an pendant sept ans doivent être consacrés aux revalorisations sous forme de primes, pour atteindre à terme une augmentation annuelle de 644 millions d'euros par rapport à la situation actuelle. Les chercheurs « sont les cadres A de la fonction publique qui ont le système indemnitaire le moins favorable à l'heure actuelle », rappelle Antoine

“ En 2021, les chargés de recherche et maîtres de conférences nouvellement recrutés ne pourront être rémunérés en dessous de deux Smic (contre 1,4 Smic aujourd'hui) ”

Petit qui souligne que le protocole signé entre le gouvernement et trois organisations syndicales majoritaires va faire l'objet de discussions avec les partenaires sociaux pour en déterminer la mise en œuvre au sein de chaque établissement. « Ces discussions porteront notamment sur ce qui concerne la prime d'encadrement doctoral et de recherche (PEDR), avec comme paramètres à débattre le nombre de bénéficiaires et les montants individuels, ou encore les fonctions éligibles à la prime pour les tâches collectives, et là encore les montants individuels pour chacune », précise le PDG du CNRS.

CDI de mission scientifique

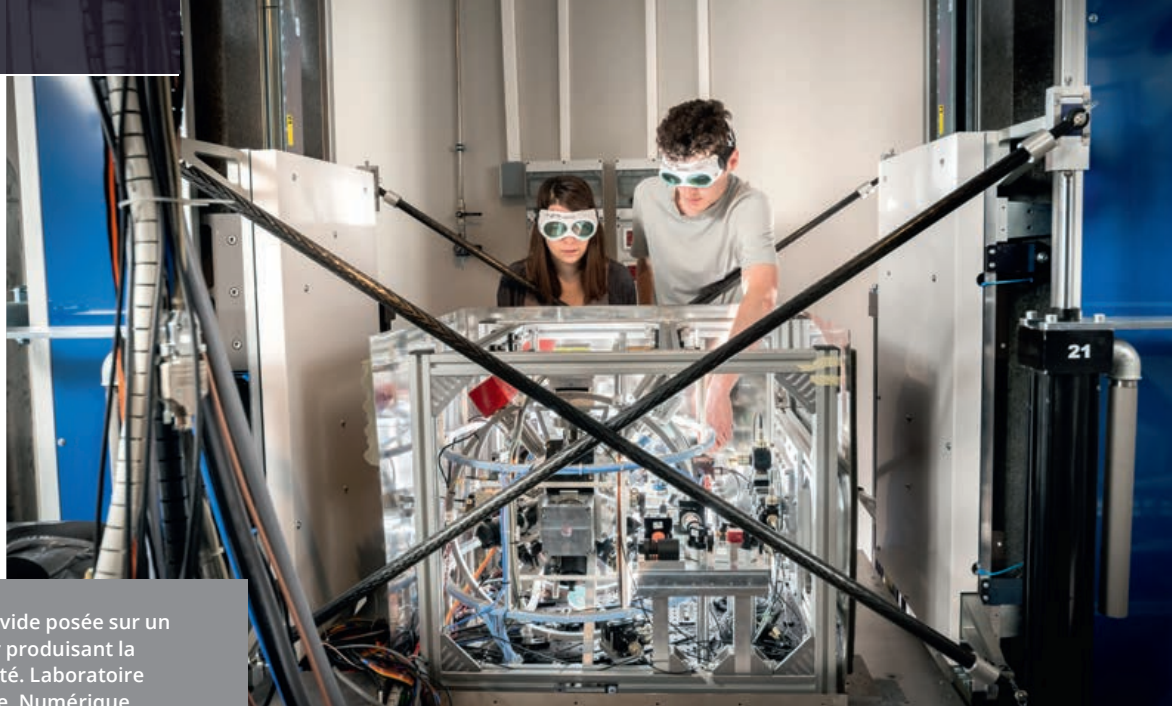
Dans le registre des carrières, les mesures qui ont le plus fait parler d'elles sont l'introduction d'une expérimentation du recrutement sans qualification par le Conseil national des universités⁷ pour les maîtres de conférences et, surtout, l'introduction de deux nouveaux statuts : les chaires de professeur junior et les CDI de mission. Des mesures de gestion de carrières « qui ne relèvent pas à proprement parler de la programmation financière » visée par la loi, fait remarquer Christine Musselin, sociologue au Centre de sociologie des organisations⁸, « étonnée de la place qu'elles prennent dans le texte ».

Avec le CDI de mission scientifique, le texte introduit un nouveau type de contrat de travail qui permet de recruter sur ressources propres des personnels contractuels pour la durée d'un projet ou d'une opération de recherche susceptible de se dérouler sur une période supérieure à six ans, la limite d'ancienneté possible en CDD dans la fonction publique. Conclu après un appel public à candidatures, il doit permettre « d'allonger les contrats actuels pour les faire coïncider avec des projets de recherche de longue durée », fait valoir Antoine Petit. Il rappelle aussi que « le statut d'Établissement public à caractère scientifique et technologique du CNRS, auquel je suis profondément attaché, ne permet pas de recruter des CDI ou des fonctionnaires sur ressources propres. Ces CDI de mission offrent des perspectives plus favorables que les CDD actuels aux collègues qui en bénéficieront, même s'ils sont, par nature, moins pérennes ».

La ministre Frédérique Vidal défend le projet de loi au Sénat (Commission mixte paritaire, séance publique du 20 novembre 2020 matin).



7. La qualification par le CNU est aujourd'hui une étape nécessaire pour pouvoir postuler aux corps de professeurs des universités et de maîtres de conférences. 8. Unité CNRS/Sciences Po Paris.



Enceinte à vide posée sur un simulateur produisant la microgravité. Laboratoire Photonique, Numérique, Nanosciences, Talence (Gironde).

qu'un CDI ». Ils visent aussi à répondre à la demande des laboratoires de ne pas devoir se séparer de collègues ayant développé les compétences nécessaires au projet. « *Cela ne répond pas au problème* », pour Ika Paul-Pont, déçue par la mesure dont elle a un temps pensé qu'il s'agissait de « *réels CDI* » qui lui permettraient de « *ne plus passer son temps à former des gens qui s'en vont* », ce qui constitue pour elle « *une perte de temps et d'énergie* ». Elle plaide ainsi pour « *remettre de l'argent dans la pérennisation des postes, tous métiers confondus* ».

Chaires de professeur junior

Plus débattue encore, la mise en place de chaires de professeurs juniors, inspirées des *tenure tracks* anglo-saxonnes. Il s'agit d'offrir à des scientifiques, sélectionnés après un appel à candidatures largement ouvert, un contrat doté d'un environnement financier attribué par l'ANR – 200 000 euros en moyenne, prévoit le ministère –, et permettant d'accéder, à l'issue d'une période maximale de six ans, à une titularisation dans le corps des professeurs des universités ou des directeurs de recherche. Le Sénat « *n'a pas souhaité aller contre les nouveaux types de contrats mais mieux les encadrer pour qu'il n'y ait pas de disproportion par rapport aux contrats actuels* », expose Laure Darcos : le Sénat plaide pour limiter à 15 % le seuil maximal de recrutement annuels autorisés pour les chaires de professeur junior – contre 25 % initialement – quand le texte final les limite à 20 % maximum des recrutements dans le corps des directeurs de recherche, et 15 % maximum dans celui des professeurs d'université. La sénatrice y voit une façon « *d'attirer de nouveaux chercheurs qui n'auraient pas eu le courage de se lancer dans le processus de titularisation et de qualification et seraient restés à l'étranger* », tout en faisant en sorte « *que ces "contrats TGV" restent epsilon* ».

Christine Musselin, qui entend l'argument d'attractivité de la mesure, s'appuie toutefois sur l'expérience d'un dispositif similaire à Sciences Po, pour inviter à la prudence,

face à l'introduction de « *modalités de gestion de postes et de carrières totalement différentes* » : quand le système actuel permet de progresser de maître de conférences à professeur par concours où plusieurs candidats postulent pour un même poste, cette fois « *la décision dépend uniquement de ce que le candidat a accompli pendant six ans de mise à l'épreuve* ». La différence du budget de démarrage peut de plus générer un sentiment d'inégalité « *si elle n'est pas fondée sur des écarts de performance scientifique ou pédagogique* ».

Étant donné que « *l'acceptabilité de ce dispositif dans les universités est loin d'être uniforme* », le CNRS envisage de travailler avec les universités intéressées par « *une opération sur mesure* », explique Antoine Petit : un système où « *le chercheur ou la chercheuse démarre sa carrière au CNRS et la poursuit comme professeur des universités, avec une charge d'enseignement progressive à débattre entre les deux établissements, le CNRS et l'université, co-responsables de la décision de recrutement* ». Cela peut permettre notamment de préparer la relève dans certains laboratoires ou disciplines où une grande proportion de professeurs vont être amenés prochainement à prendre leur retraite.

Députés et sénateurs ayant trouvé un accord sur le texte en commission le 9 novembre, il a été adopté par l'Assemblée nationale le 17 novembre puis par le Sénat le 20 novembre. II

POUR TOUT CONNAÎTRE DE L'ACTUALITÉ
DU CNRS EN FRANCE ET À L'INTERNATIONAL :
RECHERCHE, INNOVATION, PRIX, NOMINATIONS,
ABONNEZ-VOUS À LA LETTRE DU CNRS.

www.cnrs.fr/fr/les-newsletters-du-cnrs

EN ACTION



*Les scientifiques repensent l'avenir
de la Méditerranée, rebattent les cartes
géographiques et revisitent
les théories sur les écosystèmes.*

ILLUSTRATION : NAZARIO GRAZIANO POUR CNRS LE JOURNAL

Mistrals, un souffle pour la recherche en Méditerranée

SOCIÉTÉS



TERRE



ENVIRONNEMENT En dix ans d'existence, le programme Mistrals a permis à plus de 1 000 scientifiques de 23 pays d'étudier l'environnement et les changements globaux en Méditerranée. Bilan de ses nombreux travaux, voués à perdurer sous d'autres noms et formes.

PAR MARTIN KOPPE

À l'interface de trois continents, berceau de l'agriculture avec le Croissant fertile (au Moyen-Orient), la Méditerranée tient une place centrale à la fois dans l'Histoire et pour l'avenir de l'humanité. La région est cependant particulièrement fragile et les températures y augmentent plus vite que la moyenne mondiale. Les enjeux sont tels que plus d'un millier de chercheurs, issus d'une trentaine de pays, se sont réunis au sein du programme Mistrals (*Mediterranean integrated studies at regional and local scales*, études intégrées de la Méditerranée aux échelles régionales et locales). Fondée en 2010 par le CNRS, cette action coordonnée de recherche touche cette année à sa fin, l'occasion d'offrir un vaste état des lieux sur la Méditerranée.

« L'idée de créer un grand "chantier Méditerranée" organisant les recherches françaises a émergé en 2005, lors d'une prospective scientifique de l'Institut national des sciences de l'univers (Insu) du CNRS, situe Cyril Moulin, directeur adjoint de l'Insu et responsable de Mistrals depuis 2017. Cette initiative a par la suite trouvé un écho politique favorable avec la création, largement impulsée par la France en 2008, de l'Union pour la Méditerranée, afin d'accroître les collaborations entre les pays européens et méditerranéens. » En plus du CNRS et de l'Institut de recherche pour le développement (IRD), cinq organismes de recherche publique français¹ se sont impliqués dans la structure dès sa création.

Mistrals comprend différents programmes thématiques, répartis sur cinq grands axes : climat, environnement et sociétés, cycle de l'eau et événements extrêmes, pollution et contaminants, systèmes écologiques et biodiversité et, enfin, impacts du changement climatique au XXI^e siècle. Un groupe d'experts internationaux, le MedECC (*Mediterranean experts on climate and environmental change*), s'est d'ailleurs constitué en parallèle de Mistrals pour étudier spécifiquement ces impacts dans la région Méditerranée.

Cycle de l'eau et phénomènes extrêmes

Parmi les questions majeures pour l'avenir de la Méditerranée, figure en bonne place le cycle de l'eau. Ce point a d'ailleurs été au centre des deux premiers programmes de Mistrals, HyMex et MerMex. Si le sud-est de la France connaît des sécheresses et des pluies torrentielles de plus en plus fortes, la rive sud de la Méditerranée est bien plus touchée. « Une partie de l'alimentation en eau du sud du Maroc venait de la fonte des neiges des sommets de l'Atlas, explique Cyril Moulin. Or il n'en reste quasiment plus rien depuis plusieurs années. » Les décideurs ont anticipé en bâtissant des barrages pour relâcher l'eau petit à petit, mais cela a entraîné des impacts importants sur les cours d'eau et les oueds en aval. Le programme Sicmed a permis de montrer qu'au Maghreb, les barrages ont complètement chamboulé le débit des rivières et leurs apports en sédiments, modifiant le trait de côte et la biodiversité marine.

Centré sur les évolutions biogéochimiques qui opèrent au sein de la Méditerranée, MerMex fait suite à une série de projets régionaux concentrés autour du golfe du Lion. « Dès 2005, Météo-France a commencé à réunir des chercheurs travaillant sur des phénomènes météorologiques extrêmes, tels que les épisodes cévenols, afin de mieux les anticiper », explique Xavier Durrieu de Madron, directeur de recherche

1. L'Agence de transition écologique (Ademe), le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA), l'Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer (Ifremer), l'Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (Inrae) et Météo-France. 2. Cefrem (CNRS/Univ. de Perpignan via Domitia).



► Vue satellite de la mer Méditerranée bordée par trois continents : l'Europe au Nord, l'Afrique au Sud et l'Asie à l'Est.

au CNRS, au Centre de formation et de recherche sur les environnements méditerranéens². Mêlant physique, chimie et biologie, MerMex étudie la réponse des milieux marins à ces phénomènes, ainsi qu'au changement climatique et aux activités humaines en général.

Changement climatique et biodiversité

D'autres campagnes ont ciblé la convection en mer. Une eau très dense se forme en hiver dans certaines parties de la Méditerranée et s'écoule jusque dans les profondeurs. Ce mouvement ramène des sels nutritifs vers la surface, entraîne une forte croissance du plancton, réoxygène les eaux profondes et, enfin, participe aux échanges de chaleur

entre la mer et l'atmosphère. Or le changement climatique risque fort de réduire l'apparition d'eau dense, ce qui dérèglerait encore plus la région. Ce genre de rétroactions, où le changement climatique s'amplifie lui-même, est au cœur des préoccupations de Mistrals. Yves Tramblay, chargé de recherche IRD au laboratoire HydroSciences de Montpellier³, a ainsi coordonné l'action transversale ImpactCC. « Nous savons déjà que la Méditerranée se réchauffe plus vite que le reste de la planète, affirme le chercheur. Nous devons cependant mesurer les impacts dans différents domaines, comme les ressources en eau, les événements extrêmes, la biodiversité, l'agriculture, les milieux marins, etc. »

La Méditerranée comprend plusieurs milliers d'îles, dont environ trois cents sont habitées, parfois depuis la Préhistoire, ce qui favorise l'apparition d'espèces endémiques. Le programme BioDivMex, issu du Centre d'écologie fonctionnelle et évolutive (Cefe)⁴ et de l'Institut méditerranéen de biodiversité et d'écologie marine et continentale⁵, se focalise ainsi sur la biodiversité et ses interactions avec les humains depuis des millénaires. « La Méditerranée est un des principaux foyers des plantes cultivées à travers le globe, souligne Yildiz Aumeeruddy-Thomas, directrice de recherche CNRS au Cefe et co-coordinatrice de BioDivMeX. Blé, seigle, orge, avoine, raisins, olives, lavande, figues ou encore amandes en sont originaires, ainsi que les moutons, les chèvres et les ânes. Toute une agrobiodiversité que nous devons entretenir et protéger. »

“Nous savons déjà que la Méditerranée se réchauffe plus vite que le reste de la planète. Nous devons cependant mesurer les impacts dans différents domaines.”

3. Unité CNRS/Univ. de Montpellier/IRD. 4. Unité CNRS/Univ. de Montpellier/Univ. Paul Valéry Montpellier/EPHE/IRD. 5. Unité CNRS/Univ. d'Avignon/IRD/Aix-Marseille Université.



©CNRS/CHETIT JACOB, 2013

► Ce ballon pressurisé permet d'observer en temps réel le transport et l'évolution des particules aérosols (CharMex).

BioDivMex s'est intéressé aux pratiques et aux variétés locales, autant de ressources techniques et génétiques pouvant inspirer de nouveaux modèles agricoles face au changement climatique.

Des polluants qui circulent

Pour traquer la pollution atmosphérique en Méditerranée, le programme CharMex vise à améliorer notre compréhension des interactions entre pollution atmosphérique et climat. « Nous nous intéressons aux zones de convergence, où la pollution se mélange à des émissions naturelles, explique Agnès Borbon, chargée de recherche CNRS au Laboratoire de météorologie physique ⁶. L'ensoleillement de la région facilite les réactions chimiques, produisant ainsi des aérosols secondaires parfois nocifs. Nous combinons des stations au sol et des moyens mobiles, dont un avion de recherche, pour suivre en temps réel le transport et l'évolution de ces particules. » Ces travaux ambitionnent de remonter jusqu'aux sources des polluants atmosphériques.

« Dans le cadre de MerMex et d'ATP&C (Action transversale pollution et contaminants), nous avons entre autres étudié le milieu pélagique de la colonne d'eau et l'interface terre-mer, détaille de son côté Jacek Tronczyński, chercheur Ifremer au sein de l'unité Biogéochimie et écotoxicologie du département Ressources biologiques et environnement. Nous regardons les apports de contaminants via les grands fleuves,

► Ce radar mobile déployé sur le plateau des Cévennes permet de suivre l'évolution des systèmes précipitants et d'estimer les pluies correspondantes (HyMeX).



©JIMMY ZWIEBEL/ADAP/CNRS PHOTOHÉQUE

comme le Rhône, et leur devenir dans le golfe du Lion. » Hydrocarbures, polychlorobiphényles (PCB), mercure et autres métaux traces, microplastiques, et même des matériaux radioactifs artificiels comme le césium 137, un large spectre de contaminants a été retrouvé jusque dans le plancton et les sédiments.

À partir de la collecte et du traitement de grosses quantités de plancton, les chercheurs démontrent que, même sous l'eau et au large, une bonne partie de la pollution est apportée par l'atmosphère. Ces substances sont issues de feux de forêt, des activités agricoles ou encore du transport maritime. Les nombreux compartiments de l'écosystème méditerranéen ne sont ainsi pas du tout étanches, et les contaminants circulent de l'un à l'autre. « Même pour certains contaminants historiques, comme les PCB interdits depuis une quarantaine d'années, les niveaux de pollution restent importants », avertit Jacek Tronczyński.

Des archives du climat méditerranéen

Mais en plus des problématiques liées à la pollution actuelle et aux changements futurs, Mistrals a également consacré un volet à l'étude du climat ancien et à la façon dont les hommes s'y sont adaptés. « *PaleoMex met la situation contemporaine en perspective*, affirme Laurent Lespez, professeur à l'université de Paris-Est-Créteil et membre du Laboratoire de géographie physique : environnements quaternaires et actuels ⁷. Les oscillations climatiques sont récurrentes depuis le dernier âge glaciaire, et nous avons scruté leur impact sur l'environnement des sites archéologiques. » Le chercheur s'est intéressé au site protohistorique de Dikili Tash, en Grèce. Il est situé à proximité d'une vaste tourbière qui fournit des archives du climat via des indicateurs biologiques tels que le pollen, et permet de voir plus de huit mille ans de conséquences du changement climatique sur les populations locales. « Nous nous sommes demandé si les variations climatiques ont entraîné l'effondrement de civilisations en Méditerranée, détaille Laurent Lespez. Nous avons constaté leur impact, mais aussi des capacités d'adaptations insoupçonnées. Même quand l'archéologie ne décèle plus de traces d'habitation, les milieux sont en fait toujours exploités. »

« Mistrals a réuni des équipes et créé des réseaux thématiques de chercheurs qui sont ainsi plus à même de monter de nouveaux projets, se réjouit Yves Tramblay. Une véritable communauté s'est constituée. » Reportées à cause de la pandémie de Covid-19, certaines campagnes de recherche se dérouleront cependant l'année prochaine. Malgré son vaste panel de disciplines, Mistrals reste fortement tourné vers la société : « Les décideurs, politiques ou privés, ont besoin de s'approprier des travaux scientifiques avant de trancher des projets d'aménagement, insiste Cyril Moulin. Mistrals tente de leur donner des éclairages sur toutes les conséquences, positives et négatives, que peuvent avoir des mesures d'adaptation au changement climatique. »

6. Lamp (CNRS/Univ. de Clermont-Auvergne). 7. Unité CNRS/Univ. Panthéon-Sorbonne/Univ. Paris-Est Créteil Val-de-Marne.



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

En bref

Un outil pour calculer l'empreinte carbone des labos

Comment mieux prendre en compte l'impact de la recherche sur l'environnement ? Comme le souligne Alain Schuhl, directeur général délégué à la science du CNRS, « *il s'agit de trouver le bon équilibre entre nos pratiques et la quête d'une recherche éthique et responsable, tout en maintenant une recherche d'excellence aux frontières de la connaissance.* » Conjointement avec la Conférence des présidents d'université (CPU), le CNRS incite donc aujourd'hui les laboratoires dont il est tutelle à mettre en place une réflexion sur l'impact de leurs activités. C'est en effet au niveau

de chaque unité, au regard de la spécificité des recherches qui y sont menées, que seront trouvées les solutions permettant de poursuivre une recherche de qualité tout en intégrant l'urgence des situations. La première étape pourrait consister à mesurer, analyser et réduire leurs émissions de gaz à effet de serre. Pour cela, les directeurs et directrices des laboratoires sont invités à utiliser l'outil GES1point5. Développé par Labos 1point5, un collectif de plus de 2 000 chercheuses, chercheurs et personnels du monde de la recherche, cet outil permet de mesurer et



© CYRIL FRÉLON / LORIA / CNRS PHOTOTHÈQUE

caractériser l'empreinte carbone d'un laboratoire. Cette démarche globale fait écho aux engagements pris par le CNRS depuis cinq ans pour répondre aux 17 objectifs de développement durable définis (ODD) par les Nations unies en 2015.

<https://labos1point5.org/ges-1point5>

► L'outil GES 1point5 permet par exemple de mesurer les émissions des serveurs informatiques.

► Elaine Chew au piano mécanique.



© DANIEL BOYEDA

Le piano qui jouait comme un virtuose

Un piano capable de jouer seul une ballade de Chopin ? Non seulement cet instrument existe, mais il peut reproduire un morceau note pour note en mimant les intentions du pianiste. Grâce à lui, les scientifiques du laboratoire Sciences et technologies de la musique et du son¹, Elaine Chew et Corentin Guichaoua, tentent notamment de percer les mystères de l'interprétation musicale à travers le projet Cosmos, financé par l'ERC. Des travaux à découvrir en vidéo sur le site de CNRS le Journal et sur lemonde.fr <http://cosmos.ircam.fr/> <http://lejournal.cnrs.fr/pianovirtuose>

Le Monde

¹ Unité CNRS/Sorbonne Université/ Ircam/Ministère de la Culture.

VIVANT



NUMÉRIQUE



INGÉNIERIE Une équipe parisienne met au point une capsule dotée d'intelligence artificielle qu'il suffira d'avalier afin d'obtenir des images et des cartographies 3D de l'intestin. Une nouvelle ère dans le dépistage du cancer colorectal est en train de s'ouvrir.

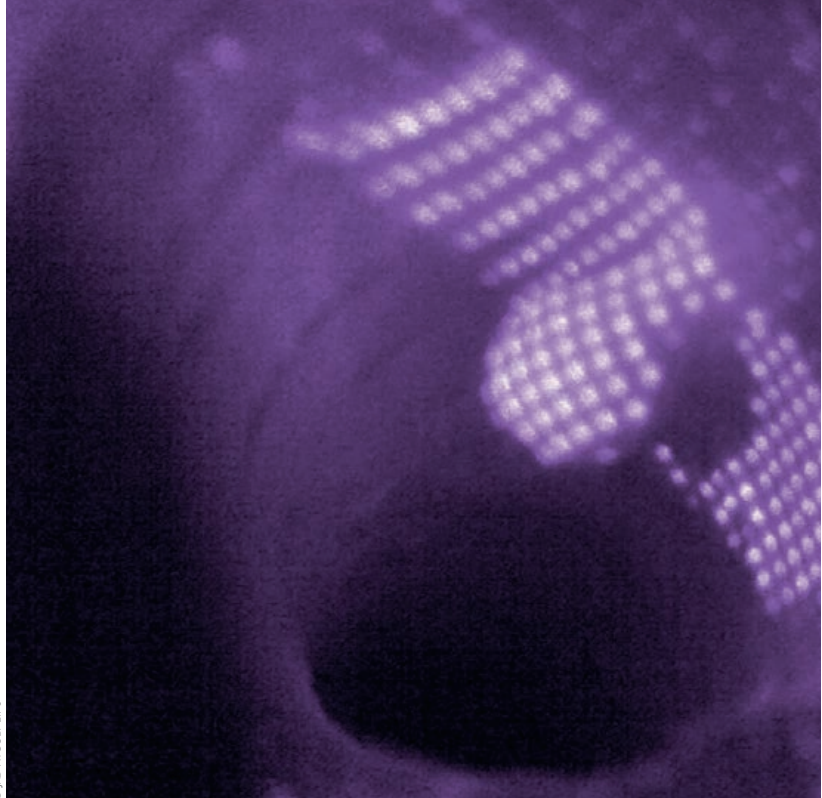
PAR SEBASTIÁN ESCALÓN

Subir une coloscopie sous anesthésie n'a rien d'une partie de plaisir... Pour en éviter les désagréments aux patients, les médecins pourront bientôt leur proposer d'avalier une petite merveille technologique : une capsule endoscopique dotée d'une caméra et d'un système d'imagerie 3D. De la taille d'une grosse olive, cette sonde autonome appelée Cyclope transitera par le système digestif. Elle y réalisera une cartographie détaillée du côlon et de l'intestin. Si des anomalies comme des polypes s'y logent, la capsule saura les détecter.

Rappelons qu'en France, le cancer colorectal est le deuxième cancer le plus meurtrier. Son dépistage est recommandé pour toutes les personnes âgées de 50 à 74 ans, tous les deux ans. Plus de 40 000 nouveaux cas par an sont détectés et avec le vieillissement de la population, ce nombre devrait augmenter dans le proche avenir. Toute innovation pour faciliter le dépistage, voire la prise en charge, serait donc plus que bienvenue.

Le développement de la capsule Cyclope est mené par Andrea Pinna, Amine Rhouni, Bertrand Granado et Orlando Chuquimia, chercheurs au Laboratoire d'informatique de Paris 6 (LiP6)¹. Le projet, qui vient de rejoindre le programme de prématurité de CNRS Innovation, devrait constituer un grand pas en avant dans la conception d'outils de dépistage intelligents. « Les capsules endoscopiques existent depuis les années 2000, explique Bertrand Granado. Elles sont

© JAD AXOLUB/LIPS



Une capsule pour cartographier l'intestin

principalement utilisées pour explorer l'intestin grêle, auquel on ne peut pas accéder par coloscopie. Le problème est que leurs images sont de faible résolution et que le gastro-entérologue qui les analyse est obligé de regarder tout le film pour y détecter d'éventuelles anomalies. Cela demande beaucoup de temps. »

Chasse aux polypes

Deux défauts que Cyclope promet de résoudre. La capsule sera dotée d'une caméra d'un mégapixel et d'un système d'éclairage LED qui produiront des images haute définition. Mais, surtout, elle portera un système d'imagerie permettant de cartographier l'intérieur du côlon avec une précision proche de 90 %. Pour cela, la capsule projettera un motif laser sur la paroi de l'intestin. C'est à partir de la déformation de ce motif sur les

volumes du tube digestif que Cyclope pourra reconstituer les reliefs.

Ceci devrait constituer une petite révolution en matière de diagnostic. En effet, les meilleurs marqueurs pour le cancer colorectal sont les polypes, ces excroissances de la paroi du côlon qui peuvent dégénérer en tumeurs cancéreuses. Or, les caméras utilisées lors des coloscopies traditionnelles produisent des images planes. De ce fait, le gastro-entérologue en charge de l'examen a parfois du mal à évaluer la taille des polypes, et donc leur dangerosité. Avec les images 3D de Cyclope, le spécialiste saura immédiatement quels sont ceux à extirper d'urgence. Mais ce n'est pas tout. Les systèmes d'intelligence artificielle de Cyclope lui permettront de reconnaître les images où des polypes apparaissent et de ne transmettre que celles-ci. Un gain de temps et

1. Unité CNRS/Sorbonne Université.

► La projection du motif laser par Cyclope permet de visualiser les déformations sur les parois de l'intestin.



© COLLECTION CHRISTOPHE

d'effort majeur qui n'a rien d'anecdotique du point de vue de la santé publique. En France, 1,3 million de coloscopies sont réalisées chaque année. Environ 80 % d'entre elles ne révèlent rien d'anormal. Des capsules intelligentes comme Cyclope épargneront aux gastro-entérologues l'analyse d'un million d'examens négatifs par an ! Cela permettra de multiplier les tests de dépistage sur l'ensemble de la population à risque.

De plus, l'utilisation des capsules endoscopiques évitera les risques associés aux coloscopies classiques. Elle ne requiert pas, en effet, d'anesthésie et le risque de rétention ou de déchirement du tissu intestinal est proche de zéro, même chez les patients âgés et fragiles. La capsule Cyclope, que l'utilisateur pourra ingérer chez lui, sera expulsée sans entrave une douzaine d'heures plus tard. Entre-temps, les images envoyées par la sonde seront recueillies par un récepteur placé à la ceinture. Une facilité d'utilisation qui, elle aussi, peut contribuer à généraliser les examens coloscopiques.

Le voyage fantastique

« Je fais parfois l'analogie entre ce projet et le film *Le Voyage fantastique* », confie Bertrand Granado. Le scientifique fait référence au film de

science-fiction sorti en 1966, où, un sous-marin et son équipage sont miniaturisés et envoyés en mission à l'intérieur du corps d'un savant dans le coma. « *La différence est, qu'ici, on remplace l'équipage par de l'intelligence artificielle.* » Ce qui en 1966 était de la pure science-fiction est maintenant en phase de recherche et développement. À présent, les chercheurs du LiP6 font face à un double défi technologique. Tout d'abord, ils doivent miniaturiser au maximum l'appareil d'imagerie. Tous les éléments de la capsule : source laser, lentille de convergence, caméra, unité de traitement, appareil de transmission des données, ainsi que deux piles bouton, doivent être contenus dans un cylindre de 3 cm de long et de 1,1 à 1,4 cm de diamètre.

Ensuite, les scientifiques doivent optimiser la consommation d'énergie afin que la sonde dispose de douze heures d'autonomie, le temps du transit intestinal. Pour atteindre ces objectifs, qui tiendront lieu de preuve de concept, les chercheurs se donnent dix-huit mois. « *On pourra ensuite présenter le projet à des industriels ou postuler à des projets européens* », anticipe

► Scène du film *Le Voyage fantastique* réalisé par Richard Fleischer en 1966.

Bertrand Granado. Dans deux ans, un prototype pourrait être prêt à être testé sur des modèles animaux.

Ce projet n'est qu'un avant-goût de ce que nous réservent les médicaments intelligents. « *On peut imaginer une capsule dotée d'un réservoir contenant un médicament qui pourrait être délivré directement sur des zones affectées, des parties ulcérées par exemple. Ou encore, une capsule avec un bras robotique capable d'exciser des polypes et de ramener des échantillons de tissus* », affirme Bertrand Granado. Certes, ces développements dignes d'une mission martienne ne sont pas pour tout de suite. Mais le nombre de fonctions de ces sondes médicales ne peut que s'accroître. Tout comme pourrait s'accroître leur champ d'application. « *Ces dispositifs seraient très utiles dans les pays en développement qui manquent de spécialistes. En effet, ces capsules permettent de faire facilement du diagnostic à distance. Elles pourraient aussi servir lors de missions spatiales de longue durée.* » Ainsi, c'est véritablement une médecine nouvelle, aux possibilités illimitées, que les capsules autonomes comme Cyclope sont en train d'ouvrir. II

Existe-t-il un point de non-retour dans les écosystèmes ?

VIVANT



SOCIÉTÉS



ÉCOLOGIE Y a-t-il vraiment, dans les écosystèmes, un seuil de perturbations au-delà duquel le milieu se détériore brutalement ? Cette idée est remise en question par un groupe d'écologues, qui affirment que les écosystèmes se dégradent en réalité bien avant.

PAR LAURE CAILLOCE

C'est le paradigme sur lequel sont bâties la plupart des politiques environnementales, qu'il s'agisse de préserver la qualité des lacs et rivières, de surveiller la fragmentation des zones forestières ou l'acidification des milieux océaniques : l'idée qu'il existe pour chaque type de perturbation un seuil à ne pas dépasser, au risque de voir se dégrader brutalement l'écosystème concerné, voire d'assister à sa disparition pure et simple.

« L'Europe, par exemple, fixe des seuils de concentration maximale pour les nutriments dans les eaux de rivière (azote, phosphate, nitrites...) ; au-delà de ces limites, on considère que la rivière

est en train de s'asphyxier, illustre José M. Montoya, écologue à la Station d'écologie théorique et expérimentale de Moulis¹, qui cosigne dans *Nature Ecology and Evolution* une étude sur les effets de seuils et points de basculement². Dans les forêts tropicales, on calcule des pourcentages de masse forestière en deçà desquels les autres espèces, plantes, animaux..., ne peuvent subsister. »

Avec ses collègues, le chercheur s'est posé la question : si l'idée de seuils à ne pas dépasser facilite la gestion environnementale, est-ce qu'elle correspond pour autant à une réalité écologique ? Et s'il n'y avait pas de points de basculement, mais une dégradation beaucoup plus progres-

sive des écosystèmes ? « C'est une intuition que beaucoup d'écologues ont depuis longtemps, mais qu'il était difficile de vérifier jusqu'à présent, faute d'une puissance de calcul suffisante pour mener une analyse de grande ampleur », confie José Montoya.

4 600 écosystèmes passés au crible

Munis des outils aujourd'hui à leur disposition, les chercheurs ont donc décidé de se lancer dans une vaste étude statistique : ils ont trouvé dans la littérature scientifique et passé au crible 4 600 études d'écosystèmes dans lesquels des dégradations étaient observées du fait des changements globaux. « On est remonté 45 ans en arrière et on a choisi toutes les études qui mesuraient d'un côté la pression environnementale exercée et, de l'autre, la réponse des écosystèmes à travers leurs différentes fonctionnalités (fixation du CO₂ atmosphérique, biomasse totale des plantes, pollinisation...). Pour chaque étude, on a calculé la dynamique de l'écosystème et de



© LUOMANGETTY IMAGES

1. Unité CNRS/Université Paul-Sabatier. 2. « Thresholds for ecological responses to global change do not emerge from empirical data », H. Hillebrand, I. Donohue, W. S. Harpole et al., *Nature Ecology and Evolution*, août 2020.

En bref



► Parler de point de basculement a-t-il du sens en écologie ? La forêt amazonienne perd sa capacité à fixer le CO₂ atmosphérique dès le premier arbre coupé...

quelle manière l'ampleur de la réponse était liée, ou pas, à la force de la pression environnementale exercée », détaille José Montoya.

Précision : pour pouvoir parler de point de basculement, il faut qu'à un moment donné, une perturbation de petite intensité provoque une réponse très importante de l'écosystème. « C'est comme la tasse que l'on pousse du doigt sur la table, sans qu'il ne se passe rien... jusqu'à ce qu'on arrive au bord de la table et que la dernière poussée provoque la chute de la tasse sur le sol », illustre le chercheur.

Nouveau regard sur la conservation

Résultat : ce point de basculement n'a pu être observé que dans 5 % seulement des études passées au crible. Dans les autres, aucun seuil n'a pu être calculé à partir duquel l'écosystème changeait brutalement d'état. « On ne dit pas que les effets de seuil n'existent pas. On peut par exemple en retrouver dans les récifs coralliens, où à partir d'une certaine augmentation de température et d'une disparition des poissons herbivores, le corail s'efface au profit des prairies d'algues, précise José

Montoya. Mais dans la plupart des écosystèmes, ce qu'on observe, c'est une détérioration progressive du milieu, avec son lot de conséquences dès l'apparition des premières perturbations : disparition de certaines espèces, ou de certaines fonctionnalités de l'écosystème. »

Exemple : perdre des plantes dans un écosystème, c'est perdre dès la première plante qui disparaît la capacité de fixer du CO₂ atmosphérique ; le mécanisme est proportionnel, et n'est pas compensé par d'autres espèces dans l'écosystème.

Pour le chercheur, il est important de prendre en compte ce changement graduel des écosystèmes pour mieux envisager leur conservation. Ne plus réfléchir en termes de basculement permettrait également de réintroduire l'idée de diversité des milieux : ainsi, aucune rivière ne se ressemble, et ce qui n'a pas d'effet dans l'une sera potentiellement nocif dans l'autre. « Si l'on veut conserver la truite de montagne, la qualité de l'eau doit être maximale, et les niveaux de concentration maximum tolérés ne suffiront pas », illustre l'écologue. II

DONNÉES

Suite à sa feuille de route sur la science ouverte publiée en 2019, le CNRS a mis en place en novembre un plan « Données de la recherche » pour inciter les scientifiques à rendre leurs données accessibles et réutilisables. Le document est à consulter sur le site de l'organisme :

www.cnrs.fr/sites/default/files/pdf/Plaquette_PlanDDOR_Nov20.pdf

PARTENARIATS

Le CNRS poursuit sa politique de partenariats avec les territoires et les universités. Fin novembre, l'organisme a ainsi signé une convention de coopération pour les cinq ans à venir avec la Région Bretagne afin de « travailler ensemble sur des problématiques communes » et une convention quinquennale de partenariat avec l'université de Strasbourg pour accroître la visibilité et le rayonnement international de la recherche menée dans les laboratoires alsaciens.

SPATIAL

Le 17 novembre, l'échec du lancement VV17 a entraîné la perte du satellite Taranis. Une dure nouvelle pour les équipes qui se sont consacrées depuis plusieurs années à cette mission... Celle-ci, que nous vous présentions dans notre numéro précédent, avait pour but d'étudier les phénomènes lumineux qui se produisent au-dessus des orages. Une *task force* a rapidement été mise en place en vue de faire des propositions pour une mission Taranis 2.

MÉDIATION

Malgré le contexte, le CNRS a donné rendez-vous au grand public pour la Fête de la science en octobre dernier. De manière intimiste d'une part, avec des « visites insolites » lors desquelles des groupes restreints ont pu découvrir des lieux uniques de la recherche, comme à l'Observatoire situé au sommet du puy de Dôme, ou à bord du bateau océanographique *Néomysis*. De manière virtuelle d'autre part, avec une chasse au trésor consacrée à la robotique française en direct sur Facebook et YouTube, dans le cadre de la série d'événements FutuRobot. <https://www.cnrs.fr/fr/cnrsinfo/le-cnrs-la-rencontre-du-public>

VIVANT  NUMÉRIQUE 

BIOLOGIE Les cellules embryonnaires communiquent pour prendre des décisions et passer de l'œuf fécondé à un embryon à la forme bien définie. Des chercheurs viennent de mettre en évidence la diversité de leurs échanges, entre cris et chuchotements.

PAR LAURE CAILLOCE



Les cellules embryonnaires se parlent pour s'organiser

Comment se forme un animal à partir d'un simple œuf fécondé ? Le problème agite les biologistes depuis des siècles déjà. Il est d'autant plus ardu qu'il implique un double processus : en même temps que les cellules se différencient en cellules de muscle, de peau, etc., elles s'organisent dans l'espace de manière à constituer un embryon à la forme bien définie. Mais comment les cellules des embryons s'y prennent-elles pour produire la forme larvaire caractéristique de l'espèce considérée ? « Depuis un siècle déjà, on sait que les cellules embryonnaires

doivent communiquer entre elles pour arriver à un tel résultat, explique Patrick Lemaire, embryologiste au Centre de recherche en biologie cellulaire de Montpellier¹. Elles ne peuvent décider toutes seules du destin qui les attend... Et ce, même chez les ascidies, des organismes marins où l'embryogenèse précoce est si reproductible d'un individu à l'autre – on peut nommer une cellule et la retrouver exactement au même endroit chez tous les individus ! – que l'on avait initialement pensé que chaque cellule héritait d'une portion précise de l'œuf qui, contenant toutes les instructions pour le devenir de la cellule,

l'affranchissait du besoin de se concerter avec ses voisines. »

Mais les cellules embryonnaires se parlent-elles de la même manière dans toutes les espèces ? C'est la vaste question à laquelle l'étude que le biologiste a cosignée cet été dans *Science*² apporte un développement inattendu.

Les signaux chimiques : les mieux connus

Les signaux les plus étudiés pour la communication cellulaire sont les signaux chimiques, très bien conservés au cours de l'évolution. Chez les

1. Unité CNRS/Université de Montpellier. 2. "Contact area-dependent cell communications and the morphological invariance of ascidian embryogenesis", *Science*, vol. 369, n° 6500, juillet 2020.



© HEIDI & HANS-JÜRGEN KOCH / MINDEN PICTURES / BIOSPHOTO

► Embryon de Rainette des Caraïbes, visible à travers son œuf transparent.

fameuses ascidies, qui présentent l'avantage de ne compter que quelques centaines de cellules aux stades embryonnaires précoces (contre quelques dizaines de milliers chez la mouche ou la souris, par exemple). Ils ont marqué les cellules avec des protéines fluorescentes et ont utilisé un microscope nouvelle génération à feuille de lumière pour scruter leur comportement. « Dans notre dispositif, la membrane devient fluorescente, on est donc capable de suivre la position, la forme, les divisions, mais aussi les contacts de chaque cellule avec ses voisines », explique Patrick Lemaire. C'est une première : jamais la totalité des cellules d'un embryon n'avaient été suivies sur un temps long auparavant.

Une communication par contact chez l'ascidie

Le résultat de ces observations, complété par le travail de modélisation réalisé notamment en partenariat avec des chercheurs d'Inria, a mis au jour un fonctionnement étonnant. « Nous avons montré que les cellules

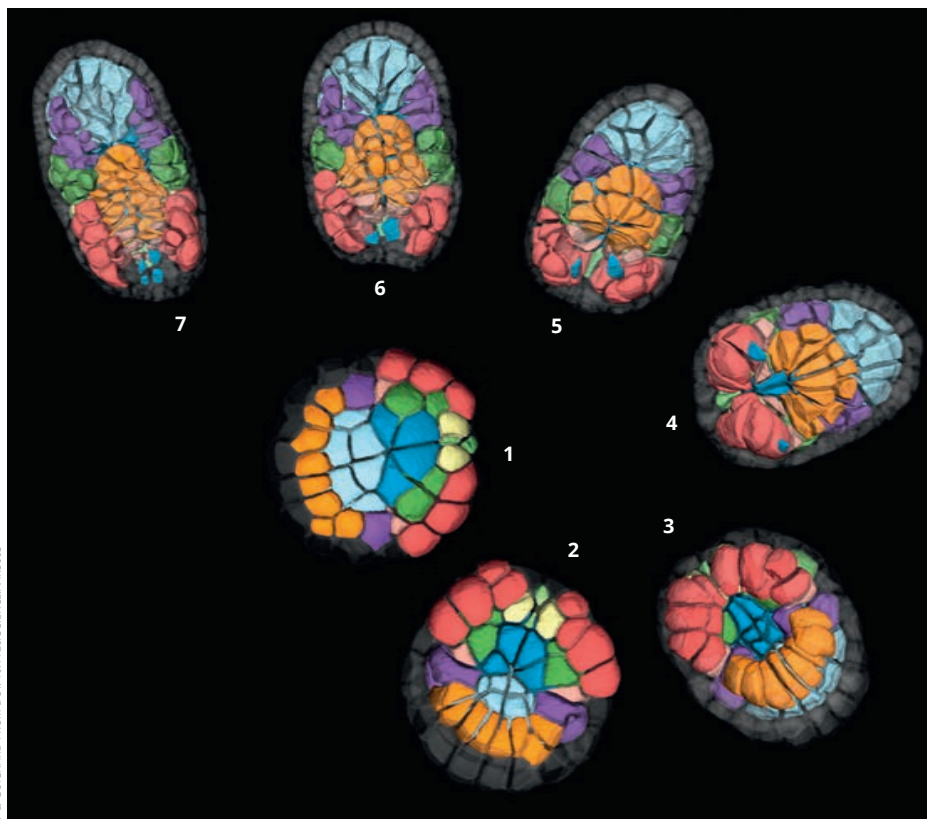
► Modélisation du développement de la larve d'ascidie *P. Mammillata*. Les couleurs correspondent au tissu que les cellules embryonnaires vont former.

embryonnaires des ascidies bougeaient très peu les unes par rapport aux autres, contrairement à ce que l'on peut observer chez les vertébrés, raconte Patrick Lemaire. Plus surprenant, cette immobilité s'accompagne d'une conservation quasi parfaite des surfaces de contact entre cellules voisines, la variation enregistrée d'un individu à l'autre étant inférieure à 20 %. » Statiques, les cellules embryonnaires ont opté pour un mode de communication à courte portée : les cellules se parlent en lisant la surface des cellules avec lesquelles elles sont en contact direct – elles « chuchotent », pour poursuivre l'analogie proposée par les chercheurs.

Ces résultats suggèrent que la dynamique des mouvements cellulaires varie beaucoup entre animaux – bien plus qu'on aurait pu l'imaginer –, et semble fortement liée à la portée des signaux que les cellules échangent entre elles. En étendant le répertoire des mécanismes de communication cellulaire, ils ouvrent de nouvelles perspectives sur la compréhension des stratégies d'auto-organisation des formes vivantes. II

vertébrés, ces petites protéines sécrétées par les cellules voyagent sur des distances pouvant atteindre jusqu'à sept diamètres cellulaires – une communication adaptée au comportement très dynamique des cellules embryonnaires de ces animaux, promptes à migrer et à changer de place entre voisines. « Les signaux qu'elles échangent, qu'on pourrait caractériser de cris, ont une longue portée, explique Patrick Lemaire. Dans cette communication à distance, c'est la concentration locale de la protéine qui va permettre aux cellules qui reçoivent le message de choisir leur destin – c'est-à-dire quel type de cellule elles vont devenir, pour former quel type de tissu. »

Ce type de communication à distance est-il un principe général de l'embryogenèse ? Pour le savoir, les scientifiques se sont penchés sur les



© L. GUIGNARD FROM DOI: 10.1126/SCIENCE.AAR5663

Nouvelle donne pour les cartes



D.R.

TERRE

NUMÉRIQUE

GÉOGRAPHIE

Un nouveau standard international de description

cartographique vient d'être adopté. Le géographe Erwan Bocher nous explique les enjeux de cette évolution.

PROPOS RECUEILLIS PAR MATHIEU GROUSSON

Vous avez rejoint l'Open Geospatial Consortium (OGC) autour de l'idée d'un nouveau standard international pour la cartographie. Pour bien comprendre l'enjeu de votre travail, pouvez-vous nous expliquer ce qu'est conceptuellement une carte et ce que l'on en attend ?

Erwan Bocher¹ : Une carte est un objet qui transcrit des informations relatives à un territoire (topographie, population, température, niveau de la mer...) au terme d'un processus d'abstraction transformant des données provenant du réel en une série de symboles apposés sur un support représentant ce territoire.



© STONICPIX/ABAY

Dans une perspective d'aide à la décision, une carte est également un outil permettant de faire passer des messages. Par exemple, par un jeu de couleurs approprié, on peut représenter la concentration d'un polluant dans l'air de telle sorte que les zones où un certain seuil est dépassé apparaissent clairement. Cette transformation de données en symboles pertinents est tout l'enjeu d'un standard cartographique.

Et vous avez donc proposé un nouveau standard générique pour la cartographie ?

E. B. En effet, avec Olivier Ertz², professeur en géoinformatique, nous avons mené une réflexion théorique afin de proposer une évolution en profondeur du standard actuel, pour le rendre graphiquement plus expressif, mais aussi évolutif et appropriable par l'ensemble des communautés intéressées aux enjeux de l'interopérabilité en cartographie. Nous avons en fait complètement repensé la façon de construire et de partager une carte³.

Quel était précisément le problème avec le standard actuel ?

E. B. Avant le boom d'Internet, chaque communauté (géologues, climatologues, épidémiologistes...) disposait uniquement de sa propre information géographique et chacun élaborait ses propres cartes de son côté. Au début des années 2000, les outils se sont radicalement transformés et ont permis de partager très largement les données au sein d'infrastructures de données spatiales (IDS). On a alors assisté à une vaste entreprise de mutualisation des informations géographiques, largement encouragée par l'OGC. Concrètement, les grands acteurs de la géographie se sont réunis et nous avons assisté à la création des premiers serveurs géographiques pour le partage des géodonnées, dont le géoportail de l'Institut de géographique national (IGN).

Il existe de nombreux cas d'utilisation de ce que nous appelons « le partage des cartes ». Très simplifié, prenons celui d'un acteur d'une intercommunalité qui souhaite combiner sur une carte la représentation

1. Olivier Ertz est professeur au sein du Media Engineering Institute de la Haute École d'ingénierie et de gestion du canton de Vaud (HEIG-VD/HES-SO, Suisse). 2. Erwan Bocher travaille au Laboratoire des sciences et techniques de l'information, de la communication et de la connaissance (unité CNRS/ENI Brest/Univ. Bretagne Sud/Univ. Bretagne occidentale/Ensta Bretagne/IMT Atlantique-Institut Mines-Télécom). 3. Bocher, E. et Ertz, O. 2018. "A redesign of OGC Symbology Encoding standard for sharing cartography", *PeerJ Computer Science*, 4:e143.



du réseau des eaux usées d'une commune X avec celle d'une commune Y. Si le serveur cartographique X symbolise cela avec un trait brun de fine épaisseur et le serveur cartographique Y avec un trait violet et des symboles, alors l'assemblage des deux cartes offrira une composition visuelle non concordante et qui sera source de confusion avec d'autres éléments cartographiques. On comprend alors qu'il est utile de disposer d'un langage commun pour piloter de façon interopérable un ou plusieurs serveurs cartographiques d'une IDS selon une description personnalisée ou celle définie par une communauté d'utilisateurs pour un type de données (réseaux, météo, bruit).

Quelle a été votre démarche ?

E. B. Pour nous, il s'agissait de reconceptualiser un standard existant (OGC Symbology Encoding) autour des concepts de sémiologie graphique développés par Jacques Bertin (1918-2010, *Ndlr*). L'idée est de partir des données auxquelles on applique un style cartographique qui contient l'ensemble des descripteurs permettant de les représenter : points, lignes, surfaces, couleurs, éléments textuels... En l'état, la nouveauté que nous

proposons, baptisée Symbology Conceptual Core Model (SymCore) définit conceptuellement un ensemble de points d'extension de primitives cartographiques qui, utilisées par différentes communautés, ont pour objectif de fournir un langage commun pour construire des cartes.

Comment ce travail académique a-t-il été reçu ?

E. B. Suite à notre constat, nous nous sommes tournés vers l'OGC et avons proposé de coordonner cette réflexion. Au départ, le consensus n'était vraiment pas là : il a fallu convaincre ! Tout d'abord en recadrant les besoins sous-jacents. Par exemple, fin 2017, un vaste consortium impliquant les gouvernements des États-Unis et du Canada a décidé d'un projet de plateforme géographique faisant la synthèse de toutes les données sur l'Arctique. Or leurs experts ont réalisé qu'il était impossible de proposer des représentations complexes à partir du standard actuel. Ils se sont alors tournés vers l'OGC et ont eu vent de notre travail. Si bien qu'un rapport soutenu par le ministère des Ressources naturelles du Canada et l'US Army Geospatial Center, publié fin 2018, a confirmé la pertinence de notre approche. Après plusieurs années de travail sur fonds propres, le nouveau standard SymCore est finalement publié à l'automne 2020, avec un consensus fort.

L'enjeu est important ?

E. B. Ce travail affirme le CNRS comme un partenaire de recherche capable de mettre à contribution ses connaissances au bénéfice d'activités de standardisation dans le domaine de la cartographie à l'international. Nous espérons maintenir cette dynamique en activant des programmes de recherche dans ce but, en fédérant les disciplines scientifiques, des géographes aux informaticiens. Nous devons monter en puissance et trouver ainsi des financements. Car sans cartes, la donnée géographique n'a pas de sens ! **||**



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

En bref

Première mondiale dans l'espace

Le 6 novembre, le premier satellite propulsé à l'iode a été mis en orbite. Le moteur électrique destiné à de petits satellites a été développé par la start-up ThrustMe, cofondée et dirigée par Ane Aanesland, médaille de l'innovation du CNRS en 2019. Ces résultats sont le fruit de travaux menés au Laboratoire de physique des plasmas.

Une convention avec la Cour des Comptes

Le 16 novembre, Pierre Moscovici, Premier président de la Cour des comptes et Antoine Petit, président-directeur général du CNRS, ont signé une convention de coopération scientifique et culturelle visant à engager une démarche de dialogue et à identifier les domaines et les modalités de coopération entre les deux institutions. Première initiative commune : l'organisation du premier colloque scientifique de la Cour des comptes en partenariat avec le CNRS, le 8 décembre 2020, sur le thème « Recherche scientifique et action publique - Les sciences du numérique », en collaboration avec Inria.

Soutien à Software Heritage

Le CNRS a rejoint Software Heritage en tant que sponsor de platine en apportant un soutien de 100 000 euros par an à cette bibliothèque universelle de codes sources de logiciels. Initié par Inria et soutenu par l'Unesco, Software Heritage a pour objectif de collecter, préserver et rendre accessible à tous cette part du patrimoine de l'humanité.

Un nouveau laboratoire commun

Étudier des matériaux et systèmes en conditions extrêmes de température : telle est l'ambition de Canopée, nouveau laboratoire commun au CNRS, à Saint-Gobain et à l'université de Lorraine. Pierre Mutzenhardt, président de l'université de Lorraine, Benoît Bazin, directeur général adjoint de Saint-Gobain et Antoine Petit, président-directeur général du CNRS, ont officialisé sa création le 23 octobre dernier.

Dans le sillage des thons rouges

VIVANT



NUMÉRIQUE



BIOLOGIE MARINE Des chercheurs développent des instruments capables de suivre les déplacements de ces poissons ainsi que leurs paramètres physiologiques.

PAR MARTIN KOPPE

Pouvant atteindre plus de 600 kilogrammes, le thon rouge a su pourtant conserver un certain mystère sur ses migrations. Une collaboration va peut-être permettre d'en apprendre beaucoup plus sur cette espèce et offrir des données précieuses pour continuer à œuvrer à leur préservation. « *Le thon rouge de l'Atlantique a été surexploité à partir du milieu des années 1990, mais, depuis 2012, les stocks vont mieux* », explique Tristan Rouyer, chercheur Ifremer au Centre pour la biodiversité marine, l'exploitation et la conservation (Marbec)¹. Des systèmes de balise permettent de reconstruire les migrations des thons, mais ils coûtent cher et ne permettent pas d'aborder les aspects physiologiques des migrations.

Les chercheurs de l'Ifremer sont donc partis à la rencontre du Laboratoire d'informatique, de robotique et de microélectronique de Montpellier (Lirmm)². Leur collaboration a donné naissance à sept projets sur l'étude de la faune marine. Parmi les objectifs : réaliser une balise capable de mesurer des informations sur l'activité physiologique des thons, en plus de les géolocaliser, tout en étant beaucoup moins onéreuse. « *Avant nous n'avions que la géolocalisation de l'animal : on sait où il est, mais pas ce qu'il fait*, poursuit Serge Bernard, directeur de recherche CNRS au

▲ Banc de thons rouges de l'Atlantique (*Thunnus thynnus*) en Méditerranée.

Lirmm. *Est-ce qu'il chasse ? Est-ce qu'il se reproduit ? Pour cela, nous sommes partis sur l'idée d'un capteur à spectrométrie d'impédance.* » Ce principe, que l'on retrouve dans les balances capables de calculer la masse grasseuse, permet de relever l'activité musculaire, la croissance de l'individu ou l'importance de ses réserves de graisse.

Un système adapté aux mouvements et à la pression

Le capteur est un dispositif microélectronique de quelques millimètres carrés, connecté à des électrodes implantées sur quelques centimètres. Les défis étaient nombreux, à cause de l'activité des thons et de l'énorme pression qui règne à mille mètres de profondeur. « *L'électronique de nos marques doit réussir à s'accommoder d'un environnement agressif et mal connu*, explique Serge Bernard. *Nos électrodes sont en platine, un métal biocompatible, et installées sur un support extrêmement souple, ce qui permet de les insérer dans les muscles du thon sans le gêner. Nous prenons également en compte le fait que l'ensemble doit être mis en place très rapidement.* » Le système doit de plus être petit et léger pour pouvoir remonter à la surface une fois sa mission accomplie.

Si la pandémie de Covid-19 a empêché les tests grandeur nature prévus cette année, une campagne réalisée en 2019 avec cinq thons a déjà permis d'optimiser la capture et le marquage des thons, sans induire un stress trop important. « *Si la marque perturbe l'animal au point de changer son comportement naturel, alors on a tout faux* », insiste Serge Bernard. Lors de cette campagne, un des poissons marqués a quitté la Méditerranée en juillet pour traverser l'Atlantique, jusqu'à une des zones de pêche privilégiées des palangriers japonais, puis est revenu en Méditerranée. Ces trajets migratoires étaient connus par morceaux, mais ces travaux montrent enfin la boucle complète d'un reproducteur méditerranéen. À terme, outre la réduction des coûts, l'équipe souhaite rendre ses appareils *open source*, afin que la communauté internationale puisse s'en emparer pour étudier d'autres animaux. ■



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

1. Unité CNRS/Université de Montpellier/IRD/Ifremer.

2. Unité CNRS/Université de Montpellier.



LES IDÉES



*Où l'on redécouvre l'œuvre
d'un biologiste visionnaire, et l'on discute
des liens entre savants et politiques
lorsqu'un volcan s'éveille.*

ILLUSTRATION : NAZARIO GRAZIANO POUR CNRS LE JOURNAL

Les vies minuscules d'Édouard Chatton



VIVANT



ENTRETIEN

La biologiste

Catherine Jessus nous

fait partager dans un livre les incroyables dessins et le parcours d'Édouard Chatton, un chercheur hors normes du début du XX^e siècle, grand spécialiste de microbiologie.

PROPOS RECUEILLIS PAR LAURE CAILLOCE

Comment avez-vous découvert l'existence d'Édouard Chatton ?

Catherine Jessus ¹. J'ai fait sa connaissance à la station marine de Banyuls-sur-Mer, grâce à son directeur Vincent Laudet. Je suis tombée en admiration devant la collection de planches qu'il avait dessinées pour ses cours en amphithéâtre : des dessins de 1,60 x 1,10 m réalisés à la craie et au pastel sec, sur fond ocre ou noir, d'une stupéfiante beauté par leurs couleurs et leurs formes à la limite de l'art abstrait... Avec Vincent, nous avons très vite pensé à faire un livre avec ces véritables œuvres d'art.

C'est dans un deuxième temps seulement que je me suis intéressée au scientifique, et que j'ai compris que j'avais affaire à un chercheur exceptionnel, qui a fait des découvertes et mis au point des concepts qu'on utilise encore aujourd'hui au-delà même de son champ d'études, les protistes. Ce biologiste passé par l'Institut Pasteur,



À lire :

Les vies minuscules d'Édouard Chatton, Catherine Jessus et Vincent Laudet, CNRS Éditions, novembre 2020, 288 p., 29 €.

puis par les universités de Strasbourg et Montpellier avant de diriger la station de Banyuls-sur-Mer, a notamment été le mentor d'André Lwoff, Prix Nobel en 1965 avec Jacques Monod et François Jacob pour ses travaux en virologie. Sa correspondance avec Lwoff, notamment, et ses cahiers d'expériences conservés à Banyuls, m'ont permis de m'immerger dans ses travaux et sa vie, aussi bien professionnelle que privée.

Rappelez-nous ce que sont les protistes...

C. J. Les protistes sont des êtres vivants unicellulaires apparus sur Terre il y a plus d'1 milliard d'années – soit 2 milliards d'années après les bactéries. Comme les bactéries, les protistes sont formés d'une cellule unique, mais à la différence de celles-ci, la cellule qui les constitue contient un noyau renfermant l'information génétique. Ils sont les ancêtres des animaux et des plantes. Ils vivent dans les océans où ils forment la majeure partie du microplancton, mais aussi dans les eaux douces terrestres. Ils constituent le principal piège à carbone sur la terre, et la première source de l'oxygène que nous respirons.

À la fin du XIX^e siècle, quand Édouard Chatton a commencé à les étudier, la microbiologie démarrait son essor grâce à l'amélioration des performances des microscopes. Avec les protistes, c'est un nouveau monde qui s'ouvrait aux scientifiques et qu'il s'agissait de caractériser... Édouard Chatton a consacré sa vie entière à les observer, les décrire et les dessiner, dimanches et vacances compris, avec une passion et une rigueur qui font de lui un modèle de scientifique.



Quels concepts scientifiques d'exception a-t-il forgés ?

C. J. Chatton n'était pas seulement un observateur hors-pair, il avait un esprit de synthèse exceptionnel qui lui permettait d'avoir une vue d'ensemble de son sujet et d'en tirer des règles générales. Les exemples sont nombreux, mais si l'on ne doit en donner qu'un seul : c'est lui qui a dégagé et baptisé, en 1925, les deux catégories du vivant enseignées aujourd'hui à tous les collégiens. À savoir, les eucaryotes – les êtres dont les cellules contiennent un noyau – dont les animaux, les plantes et bien sûr les protistes font partie –, et les procaryotes, les êtres dénués de noyau, représentés par les bactéries et les archées.

C'est quelqu'un qui était aussi capable de s'affranchir des dogmes scientifiques de son époque et de les remettre en question, si les observations qu'il réalisait ne cadraient pas avec ceux-ci. Les exemples là encore sont nombreux. Les conversations qu'il avait avec Lwoff dans sa correspondance éclairent d'ailleurs les nombreux débats qui agitaient la biologie dans la première moitié du XX^e siècle.

¹. Catherine Jessus est chercheuse au Laboratoire de biologie du développement (CNRS/Sorbonne Université), où elle est à la tête de l'équipe Biologie de l'ovocyte. Elle a dirigé l'Institut des sciences biologiques du CNRS de 2013 à 2019.



© BIBLIOTHÈQUE DU LABORATOIRE ARAGO, SORBONNE UNIVERSITÉ

► Planches réalisées à la craie et au pastel sec par Édouard Chatton. En haut, la reproduction sexuée chez les plantes. En bas, la formation des gamètes mâles du lombric. ▲

Revenons aux planches qui constituent le cœur de votre ouvrage. Comment Chatton les a-t-il réalisées ? Était-il lui-même artiste ?

C. J. J'ai pu rencontrer ses deux petits-fils dans la maison de famille de Banyuls, qui m'ont raconté que l'homme nourrissait une vraie passion pour la peinture, et peignait lui-même à ses heures perdues. Dans sa bibliothèque, se trouvaient plusieurs ouvrages techniques sur le dessin, le pastel, la peinture à l'huile..., mais aussi des ouvrages sur Dürer qui le fascinaient et de Vinci. Clairement, il s'est fait plaisir en faisant ces planches de cours pour ses étudiants !

Vous avez « fréquenté » Édouard Chatton pendant plus d'un an et demi pour publier ce livre... Qu'en reprenez-vous pour votre propre vie de chercheuse ?

C. J. Cela m'a fait prendre conscience de l'importance de ralentir. Chatton passait énormément de temps à observer, ré-observer, et observer encore... Il ne tirait jamais de conclusions hâtives. Il me semble qu'aujourd'hui, nous avons un peu perdu ce sens du temps nécessaire à la science. ■



© BIBLIOTHÈQUE DU LABORATOIRE ARAGO, SORBONNE UNIVERSITÉ



Archéologie

Cet ouvrage, qui vient de recevoir le Grand Prix du livre d'archéologie 2020, rend hommage aux chercheuses qui ont joué un grand rôle dans l'exploration de l'Amazonie. En retraçant le parcours de dix-huit femmes scientifiques d'exception, l'auteur met également en avant les connaissances et le savoir parfois méconnu des tribus de la forêt, de l'art rupestre à l'architecture.

Amazonie, l'archéologie au féminin, Stéphen Rostain, Belin, 2020, 352 p., 24 €.

Sociologie

Comment s'aimer ? La religion rassemble-t-elle ? Les classes moyennes sont-elles en crise ? Comment comprendre le mouvement des « gilets jaunes » ? À quoi sert la prison ? À travers 50 questions telles que celles-ci, et autant de réponses rédigées par des sociologues, cet ouvrage conçu à l'occasion du dixième anniversaire de la revue *Sociologie* renouvelle notre regard sur la société contemporaine. Des analyses claires qui poussent à la réflexion et à la critique indispensable de nos préjugés.

50 questions de sociologie, Serge Paugam (dir.), PUF, 2020, 527 p., 25 €.



Culture scientifique

La formation d'une culture scientifique partagée par le plus grand nombre figure parmi les principaux enjeux de la démocratie. Aujourd'hui plus que jamais, elle apparaît comme une impérieuse nécessité citoyenne. La réédition de cet ouvrage coordonné par Jacques Haïssinski et Hélène Langevin-Joliot, dans un nouveau format numérique et enrichi, arrive à point nommé : après avoir exposé les principes et les méthodes de la science, il dévoile le socle des connaissances sur lequel peut se bâtir, à tout âge, une culture scientifique commune.

Science et Culture. Repères pour une culture scientifique commune, Jacques Haïssinski et Hélène Langevin-Joliot, Éditions Apogée, 2020, e-book, 12,99 €.



SOCIÉTÉS



TERRE

Le volcan, le savant et le politique

Par **Éric Humler**, professeur à l'université de Nantes, directeur scientifique du réseau RéVoSiMa¹ et président du comité des TGIR² du CNRS.

Mayotte, janvier 2019. Devant les yeux ébahis des chalands, se retrouvent sur les étals des marchés de curieux poissons, appartenant à la famille des *Macrouridea* (grenadier), une espèce qui vit dans les abysses bien au-delà des profondeurs atteintes par les pêcheurs. Une autopsie réalisée sur un spécimen récupéré mort à 35 kilomètres de la côte révèle que « les lésions mises en évidence sont celles d'une sursaturation gazeuse, comme celles rencontrées lors d'un accident de décompression... En fait le poisson ne serait pas mort d'intoxication... mais plutôt parce qu'il aurait fui un danger... ».

Cet épisode n'est en fait que le dernier en date d'une série qui a commencé huit mois plus tôt, plus exacte-

ment mardi 15 mai 2018 à 18 h 48 heure locale, avec la plus forte secousse sismique jamais enregistrée dans la zone des Comores. D'une magnitude de 5,8, elle est très largement ressentie sur toute l'île de Mayotte ainsi que dans d'autres îles des Comores et provoque immédiatement un vent de panique, suscitant des questions bien légitimes tout en alimentant toutes les théories imaginables, mêlant campagne de prospection pétrolière, monstre sous-marin et soubresauts d'un zébu enterré vivant.

Naissance d'un volcan sous-marin

Mais la secousse a aussi marqué le début d'une enquête scientifique haletante de plusieurs mois. Des

navires océanographiques bardés d'électronique et d'informatique partent ratissier les fonds sous-marins pour scruter la moindre anomalie à plus de 3 500 mètres de fond. De nouvelles stations sismologiques et géodésiques sont installées à terre et en mer pour compléter le maigre réseau existant.

Le coupable est enfin découvert en mai 2019 : il s'agit de la naissance, sous nos yeux, d'un volcan sous-marin de 5 kilomètres de diamètre et de 800 mètres de haut, localisé à 50 kilomètres à l'est de Mayotte...



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

1. Réseau de surveillance volcanologique et sismologique de Mayotte. 2. Très grands équipements scientifiques et grandes infrastructures.

► Le volcan sous-marin né en 2018 à l'est de l'île de Mayotte mesure un peu plus de 800 mètres de haut et culmine à 2 600 mètres de profondeur.

Certains séismes sont localisés sous l'île où des dégazages importants sont observés. On craint alors que des parties du flanc Est de l'île de Mayotte soient déstabilisées et on redoute même un tsunami. Les chercheurs sont mobilisés et accumulent des données géophysiques, géochimiques et géologiques qui permettront peut-être un jour, par exemple, d'anticiper une éruption volcanique. En attendant, il faut réagir vite pour suivre, traiter, analyser et mettre à disposition les avalanches de données et, parallèlement, trouver les budgets nécessaires pour pouvoir travailler.

Concilier science et politique

Agir vite ? En matière de risques telluriques (séisme, tsunami, éruption volcanique, glissement de terrain...), avec des acteurs potentiels répartis dans treize organismes de recherche, rattachés à huit tutelles ministérielles différentes, nous partons avec un sévère handicap ! En termes policés, on parle de « dispersion de la chaîne du risque tellurique ». Il n'y a pas d'autre solution que de lancer un appel général à la communauté nationale des sciences de la Terre, ce qui est fait à la fin du printemps 2019 : vingt-cinq spécialistes provenant de six universités, du CNRS, de l'Institut de physique de Globe de Paris, de l'Ifremer et du Bureau de recherches géologiques et minières répondent présents pour organiser la surveillance du quatrième volcan actif français.

La communication vers la population de nos découvertes est entre les mains de la Délégation interministérielle aux risques majeurs outre-mer et de la Préfecture de Mayotte. Là aussi, ce n'est pas une évidence pour les chercheurs, habitués à communiquer « spontanément ». Il est vrai cependant que le contexte social et politique est tendu... Conseillers du président de la République et du Premier ministre, ministres, directeurs de cabinet, préfets, députés et

Délégation interministérielle aux risques majeurs... au plus haut niveau, les réunions s'enchaînent alors.

À la demande du cabinet du Premier ministre, le Réseau de surveillance volcanique et sismologique de Mayotte (RéVoSiMa) est créé à l'automne 2019. D'une part, il est chargé de suivre l'évolution de la sismicité et des déformations de l'île en réalisant des mesures en continu sur terre, et épisodiques en mer. Des scénarios de dommages sismiques et d'impacts des potentiels tsunamis, ainsi que des outils d'estimation rapide des pertes en cas de secousse, sont par exemple développés et mis à disposition des acteurs locaux. D'autre part, il permet aux scientifiques de poursuivre leurs travaux *via* le déploiement de capteurs et le traitement des données acquises en mer et à terre, l'analyse et les modélisations nécessaires pour mieux comprendre les phénomènes.

La pandémie liée au coronavirus a remis au goût du jour l'ouvrage du sociologue allemand Max Weber, *Le Savant et le Politique* publié en 1919. L'auteur y définissait le métier de l'homme de science et celui de l'acteur politique. Dans sa préface à l'édition française publiée en 1959, Raymond Aron avait résumé la différence entre ces deux métiers de la façon suivante : « *La vocation de la science est inconditionnellement la vérité. Le métier de politicien ne tolère pas toujours qu'on la dise.* » Le savant (aujourd'hui le scientifique) n'apprécie guère les approximations, il veut de la rigueur et des certitudes. Force est de constater que le politicien, de son côté, doit agir dans l'urgence et décider dans l'incertitude. À défaut de solution hybride, soyons pragmatiques et gardons en tête le dialogue entre *L'Aveugle et le Paralytique* de Jean-Pierre Claris de Florian : « *J'ai mes maux et vous avez les vôtres. Unissons-les, mon frère, ils seront moins affreux.* » II



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

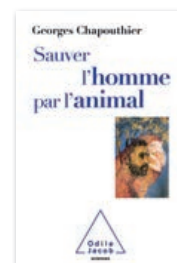
À lire



Lumières

Ce beau livre consacré à la lumière est le fruit de la rencontre entre trois sommités scientifiques venues d'horizons différents : Jean Audouze, astrophysicien, Costel Subran, spécialiste des lasers, et Michel Menu, physicien spécialisé dans l'étude des œuvres d'art. Parlant chacun du rôle de la lumière dans leur domaine respectif, ils rendent hommage à cet objet universel de recherche qui a valu, comme le rappellent les auteurs, des prix Nobel à quatre physiciens français... dont Gérard Mourou qui signe la préface. Un ouvrage clair et richement illustré aussi instructif qu'éclectique.

Lumières, Jean Audouze, Costel Subran et Michel Menu, préface de Gérard Mourou, EDP Sciences, novembre 2020, 240 p., 29 €.



Humanité

Comment rendre meilleur l'être humain, coupable d'atrocités sur ses congénères comme sur les animaux, et le débarrasser « de cette déficience en morale pratique qui le poursuit depuis le début de son histoire » ? En réveillant en lui le meilleur de ses émotions animales, répond le biologiste Georges Chapouthier. Un essai original et stimulant, véritable plaidoyer pour une société plus harmonieuse et enfin respectueuse des animaux.

Sauver l'homme par l'animal, Georges Chapouthier, Odile Jacob, novembre 2020, 240 p., 23,90 €

Intelligence artificielle

Cet ouvrage synthétique s'adresse aux personnes curieuses qui aimeraient en savoir plus sur l'intelligence artificielle, concept devenu omniprésent sans que l'on sache toujours ce qu'il recouvre vraiment. Les scientifiques du Groupement de recherche Intelligence artificielle du CNRS livrent ainsi une présentation utile et accessible à tous des concepts de l'IA, de son histoire, et de ses nombreux domaines d'application.

Intelligence artificielle, de quoi s'agit-il vraiment ?, Sébastien Konieczny et Henri Prade (GDR IA du CNRS), Cépaduès Editions, 2020, 104 p., 12 €



Ana Sodan, chercheuse au Laboratoire de mécanique et d'acoustique¹

“Je me souviens...”

PROPOS RECUEILLIS PAR ANNE-SOPHIE BOUTAUD

...de cette expérience, réalisée en 2018 dans le cadre de ma thèse. On me voit ici équipée de trois électrodes placées sur mon front. Grâce à ce dispositif expérimental de mesure, nous pouvions enregistrer l'activité du nerf auditif et ainsi tester les niveaux d'audition d'un sujet sans qu'il n'ait à répondre oralement. Notre objectif était de connaître cette mesure pour des personnes atteintes de surdité pro-

fonde et équipées d'un implant cochléaire, un petit appareillage permettant de pallier les dysfonctionnements de la cochlée, un organe de l'oreille interne. L'implant cochléaire est composé d'un micro, situé derrière l'oreille ; d'un processeur externe, qui capte le son et le convertit en signal électrique ; et d'un implant interne, placé sous le cuir chevelu, qui envoie ce signal jusqu'au nerf auditif qui, lui,

le transmet au cerveau. Mais il est encore parfois difficile, surtout chez l'enfant en bas âge, de savoir à quel moment les personnes équipées entendent le son ou quand elles le perçoivent trop fort. Nos premiers résultats étant prometteurs, nous poursuivons actuellement nos travaux jusqu'au cortex auditif afin d'obtenir des réglages encore plus précis.”

© CYRIL FRESILLON/LMA/CNRS PHOTOTHÈQUE

¹. Unité CNRS/Aix-Marseille Université/École centrale de Marseille.





de Denis Guthleben,
historien au CNRS

Louis Néel, un Nobel magnétique

Le 27 octobre 1970. Louis Néel préside la soutenance de thèse de Raymond Besson au laboratoire de chronométrie de Besançon. Tandis que le tout frais docteur ès sciences physiques partage avec les membres de son jury un pot bien mérité, le téléphone n'arrête pas de sonner. Agacé par le tintamarre, le jeune homme finit par décrocher le combiné, puis le repose, ému : il y a un Nobel dans la salle...

Depuis quelques années, le nom de Louis Néel circulait avec insistance dans les parages de Stockholm. Ses recherches sur le magnétisme des solides, marquées par des découvertes capitales depuis le milieu des années 1930, l'avaient plusieurs fois placé en bonne position sur la liste de l'Académie royale des sciences de Suède.

Chercheur et organisateur

La consécration du physicien est donc attendue par la communauté, et même ardemment souhaitée en France : là, Louis Néel n'est pas seulement reconnu comme un chercheur de renommée mondiale, mais aussi comme un organisateur hors pair, qui a participé à la mobilisation scientifique et aux premiers pas du CNRS en 1939-1940, et qui a ensuite bâti à Grenoble un pôle de recherche de rayonnement international.

“L'ouverture internationale de la science et la liaison entre recherche et industrie sont deux principes chers à Louis Néel.”

L'annonce produit néanmoins son petit effet : Raymond Besson, qui poursuivra une belle carrière à Besançon, a souvent relaté sa soutenance exceptionnelle... qui s'est achevée au Château de la Juive, une table bisontine réputée où Louis Néel, amateur de bonne chère, a invité ses collègues. Et le lauréat a bien fait de prendre quelques forces : l'emballage médiatique – à l'époque, déjà ! – n'a pas tardé à se déchaîner. Il l'a découvert dès le lendemain, en arrivant à Paris pour une réunion prévue de longue date

sur l'avenir des écoles d'ingénieurs : « À peine descendu de mon wagon à la gare de Lyon, j'aperçus, agglutinés à l'autre extrémité, une meute de journalistes en quête, pensais-je, de quelque star de cinéma. Mais c'était après moi qu'ils en avaient... »

De Colombey à Stockholm

Or une nouvelle chasse l'autre – à l'époque, aussi ! – et l'actualité ne tarde pas à lui offrir un peu de répit : le 9 novembre 1970, « la France est veuve » et les journalistes cessent de poursuivre le physicien pour se précipiter en masse à Colombey-les-Deux-Églises... Il peut ainsi préparer en toute quiétude la « lecture » qu'il doit donner à Stockholm le 11 décembre, sur « le magnétisme et le champ moléculaire local », mais aussi son discours de la veille, pour la cérémonie de remise du prix par Gustave VI – dont Louis Néel se souviendra surtout que face à lui, il était « très grand et très droit malgré ses 88 ans »...

Ce discours mérite qu'on s'y arrête : il est un chef-d'œuvre de concision, de clarté et d'humilité – à l'image de l'orateur. En quelques mots, Louis Néel parvient à rendre hommage à la physique française en général et à l'école française de magnétisme en particulier, en mentionnant quelques-uns de ses illustres prédécesseurs, Pierre Curie, Paul Langevin et Pierre Weiss, et en insistant sur la modestie de sa propre contribution : « Seules restaient inconnues les propriétés de la plus ancienne des substances magnétiques connues : la magnétite, ou pierre d'aimant, qui attire l'attention des curieux depuis quatre mille ans. J'ai eu la chance de combler cette lacune et d'expliquer ces propriétés, avec la notion de ferromagnétisme ».

Louis Néel parvient aussi à surprendre son auditoire en évoquant l'œuvre de Pierre de Maricourt, « auteur en 1269 du premier traité sérieux sur les aimants », parce qu'« en matière scientifique, on a souvent des prédécesseurs beaucoup plus anciens qu'on ne le pense ». Mais l'auteur de l'*Epistola de magnete* est surtout l'occasion pour le récipiendaire du Nobel d'insister sur deux principes qui lui sont chers : l'ouverture internationale de la science car « Pierre de Maricourt se faisait appeler aussi Pierre le Pèlerin » et « les savants passaient facilement d'une université européenne à une autre », ainsi que la liaison nécessaire entre la recherche et l'industrie, puisque « Pierre de Maricourt se préoccupait principalement des applications du magnétisme aux boussoles et aux compas de marine ».

En recevant la plus haute distinction scientifique, Louis Néel n'a assurément pas perdu le nord... ■

**POUR CONSTRUIRE LES MONDES DE DEMAIN,
NOUS AVONS BESOIN DE VOUS.**

**Du 3 décembre 2020 au 7 janvier 2021, le CNRS recrute
plus de 250 chercheurs et chercheuses.**



carrieres.cnrs.fr

© Frédérique Plas/CNRS Photothèque



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 !

SOUTENEZ LA RECHERCHE

FAITES UN DON À LA FONDATION CNRS



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

fondation-cnrs.org 